



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

Eu Sonar: uso de computação vestível para o auxílio a deficientes visuais

André Perotti Netto

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Curso de Computação — Licenciatura

Orientador
Prof. Dr. Marcus Vinicius Lamar

Brasília
2016

Universidade de Brasília — UnB
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação
Curso de Computação — Licenciatura

Coordenador: Prof. Dr. Pedro Dourado Rezende

Banca examinadora composta por:

Prof. Dr. Marcus Vinicius Lamar (Orientador) — CIC/UnB
Prof. Dr. Wilson Henrique Veneziano — CIC/UnB
Prof. Msc. Marcos Fagundes Caetano — CIC/UnB

CIP — Catalogação Internacional na Publicação

Netto, André Perotti.

Eu Sonar: uso de computação vestível para o auxílio a deficientes visuais
/ André Perotti Netto. Brasília : UnB, 2016.

163 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) — Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

1. Computação vestível, 2. Locomoção assistida para cegos,
3. Deficiente visual, 4. Inclusão Social, 5. Sistemas Embarcados,
6. Sonar, 7. Arduíno, 8. Android

CDU 004.4

Endereço: Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro — Asa Norte
CEP 70910-900
Brasília-DF — Brasil

Dedicatória

AOS INVISÍVEIS

"Green Is The Colour"

Heavy hung the canopy of blue
Shade my eyes and I can see you
White is the light that shines through the dress that you wore
Sunlight on her eyes but moonshine beat her blind everytime
Many is the bond between the hopefull and the damned
Heavy hung the canopy of blue
Shade my eyes and I can see you
She lay in the shadow of the wave
Hazy were the visions of her playing
Green is the colour of her kind
Quickness of the eye deceives the mind
(Roger Waters)

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, Mauro Netto e Rosangela Perotti, não só por tudo que fizeram mas pelo amor que puseram em tudo que fizeram; à minha esposa Elisabeth Hess e ao meu filho Levi pelas suas existências que comprovam a minha. E ao meu orientador Marcus Lamar pela confiança, coragem e dedicação.

Resumo

Neste trabalho, realizamos um estudo sobre o histórico da computação vestível e propomos um novo sistema baseado no uso de sensores e micromotores, para a detecção de obstáculos e correto direcionamento de pessoas com deficiência visual. Para isso, desenvolvemos um sistema que recebe dados através de comunicação sem fio via interface *bluetooth* de um dispositivo móvel equipado com GPS e bússola, usado para alertar e guiar o deficiente visual a seu destino por meio de vibrações. Testes de laboratório foram realizados a fim de comprovar a eficácia do sistema proposto, bem como identificar os principais problemas que podem advir da sua implementação prática. Um protótipo plenamente funcional foi construído e testado com usuários deficientes visuais, bem como usuários não-deficientes. Os resultados obtidos demonstram que o sistema proposto é promissor e pontos de melhoria são sugeridos .

Palavras-chave: Computação vestível, Locomoção assistida para cegos, Deficiente visual, Inclusão Social, Sistemas Embarcados, Sonar, Arduino, Android

Abstract

In this paper, we carried out a study on the history of wearable computing and propose a new system based on the use of sensors and micromotors, for the detection of obstacles and correct guiding of people with visual impairment. For this, we developed a system that receives data through wireless communication via Bluetooth interface for a mobile device equipped with GPS and compass, used to alert and guide the visually impaired to their destination through vibrations. Laboratory tests were conducted to prove the effectiveness of the proposed system and to identify the main problems that may arise from its practical implementation. A fully functional prototype was built and tested with visually impaired users as well as non-disabled users. The results show that the proposed system is promising and points of improvement are suggested.

Keywords: Wearable computing, blind locomotion assisted, Blindness, Social Inclusion, Embedded Systems, Sonar, Arduino, Android

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Introdução	1
1.2	Definição do Problema	2
1.3	Hipótese	2
1.4	Objetivo Geral	2
1.5	Objetivos Específicos	3
1.6	Estrutura da Monografia	3
2	Computação vestível	5
2.1	Computação Vestível	5
2.2	Histórico	5
2.3	Trabalhos Relacionados	24
2.4	Considerações Finais	28
3	Sistema Proposto	30
3.1	Hardware do Sistema Embarcado	31
3.2	Software do Sistema Embarcado	34
3.3	Software do Dispositivo Android	36
3.4	Considerações Finais	39
4	Resultados Obtidos	41
4.1	Testes de Laboratório	43
4.1.1	Testes dos Motores	43
4.1.2	Testes com Sensores de Ultrassom	56
4.1.3	Baterias	59
4.1.4	EuSonar	59
4.2	Testes com Usuário sem Deficiência Visual	63
4.3	Testes com Usuário com Deficiência Visual	64
4.4	Considerações Finais	65
5	Conclusão	67
5.1	Melhorias no Protótipo	68
5.2	Trabalhos Futuros	68
	Referências	70

Lista de Figuras

2.1	Relógio de bolso - Bisamapfeluhr [1].	7
2.2	Ábaco em um anel [2].	7
2.3	Primeiro relógio de bolso [2].	8
2.4	Pombo com câmera vestível [3].	9
2.5	Primeiros experimentos com realidade virtual usando o Sensorama Simulator [3].	10
2.6	Primeiros experimento com realidade aumentada conhecido como “Espada de Dâmocles” [4].	12
2.7	“Teclado acorder” (<i>Chord keyboard</i>) teclado criado para ser usado em computação vestível	13
2.8	Primeiro relógio com calculadora - HP 01 [4].	14
2.9	Sapato Eudaemonic [2].	15
2.10	Propaganda Sony walkman, primeiro vestível para música [3].	15
2.11	Mann com seu modelo de computador vestível [2].	16
2.12	Início da computação nômade com protótipo Winnebiko II [2].	17
2.13	Primeira visão de computação Ubíqua, Weiser’s Landmark na Xerox [5].	18
2.14	Visão do ponto de vista da ferramenta KARMA [6].	19
2.15	Primeiro vestível para transações utilizando ATM - mBracelet [3].	21
2.16	Primeiro vestível sendo vendido em escala industrial - ICD+Jacket [7].	22
2.17	Luva SignLanguageGlove [8].	23
2.18	Óculos projeto PAW [9].	24
2.19	Drishti em uso [10].	26
2.20	SpiderSense sendo testado [11].	28
2.21	Protótipo de leitura para cegos - Fingerread [12].	29
3.1	Visão geral dos componentes do projeto	30
3.2	Diagrama de blocos do hardware do sistema embarcado no boné	32
3.3	Diagrama físico do hardware do boné	33
3.4	Diagrama do módulo do motor de vibração	34
3.5	Diagrama de bloco do software embarcado no boné	35
3.6	Diagrama de bloco do aplicativo para Android	37
3.7	Azimute em relação aos outros eixos	38
3.8	Foto da tela do aplicativo para Android	39
4.1	protótipo do boné visto de cima	42
4.2	protótipo do boné visto lateralmente	42
4.3	As três variáveis que controlam as vibrações do motor	43

4.4	Variação da Razão cíclica	43
4.5	Variação do tempo entre os pulsos	44
4.6	Coleta dos dados com acelerometro	44
4.7	Procedimento do experimento de tempo de ligado	45
4.8	Comparação entre os motores para o teste de variação de tempo ligado. . .	46
4.9	Procedimento do experimento da quantidade de pulsos	47
4.10	Comparação entre os motores para o teste de variação de quantidade de pulso.	48
4.11	Procedimento do experimento da variação do PWM	49
4.12	Comparação entre os motores para o teste de variação de potencia (PWM). . .	50
4.13	Procedimento do teste de acionamento sequencial dos motores	51
4.14	Experimento comparativo entre as variações das potencias dos motores . .	52
4.15	Procedimento do teste de orientação pelos motores	54
4.16	Experimento comparativo da transferência gradativa da potência entre motores consecutivos	55
4.17	Procedimento do teste de acionamento aleatório dos motores	56
4.18	Comparação entre os os histogramas para as diversas medidas ligado. . . .	58
4.19	Rascunho do boné com os motores em destaque	60
4.20	Matriz de acionamento gerada para gabarito	62
4.21	Testes com usuários sem deficiência visual	65
4.22	Exercícios de mobilidade com deficientes visuais utilizando EuSonar.	66

Lista de Tabelas

4.1	Distância de 50 cm e campo amostral de 1000 leituras	57
4.2	Distância de 62 cm e campo amostral de 1000 leituras	57
4.3	Distância de 100 cm e campo amostral de 1000 leituras	57
4.4	Matriz de acionamento	61

Capítulo 1

Introdução

Existem muitos estudos sobre a cegueira, formas de prevenir, operações que diminuem certos tipos dessa deficiência e pesquisas envolvendo alta tecnologia que prometem que pessoas que nasceram cegas possam um dia enxergar. Todas elas são importantes para combater a deficiência de um dos sentidos mais eficientes para nós, humanos. Nesta pesquisa, demos um pequeno passo, e atacamos o problema de forma que os deficientes visuais não precisem esperar para obter uma ferramenta útil para a locomoção. A tecnologia de computação vestível, através do uso de roupas com sensores e micromotores, foram proposta para a detecção de obstáculos e correto direcionamento de pessoas com deficiência visual.

Neste capítulo mostramos a estrutura e organização do trabalho. Apresentamos o problema e a hipótese que defendemos, bem como os objetivos gerais e específicos.

1.1 Introdução

Este trabalho abordou algumas perspectivas e avanços da ciência da computação que criam possibilidades de soluções para problemas concretos de mobilidade de pessoas com deficiência visual. Nossas considerações perseguem as tecnologias que foram desenvolvidas com propósitos os mais diversos, além de projetos já pautados pela questão da mobilidade e locomoção. A fim de testar sua aplicabilidade, apresentamos a proposta de um sistema vestível, composto de sensores, um sistema integrado de Arduíno e motores de vibração que se comunicam via bluetooth com um sistema Android dotado de bússola e GPS. O sistema proposto visa auxiliar a identificação de obstáculos e produzir alertas, orientando o indivíduo em sua locomoção em diferentes ambientes, além de direcionar por meio de vibrações para um ponto específico, marcado previamente no *smartphone*. O produto final dessa pesquisa foi, além da metodologia em si, a construção de um protótipo funcional e a análise e avaliação do processo proposto e dos resultados alcançados. Pretende-se, então, colaborar para a melhoria da qualidade de vida das pessoas com deficiência visual, considerando os problemas vivenciados em Brasília e no Brasil.

1.2 Definição do Problema

A locomoção de deficientes visuais é dificultada por vários fatores que não foram levados em conta em construções públicas e privadas. A disposição de objetos sem nenhum tipo de alerta tátil, tais como orelhões, escapam da percepção de uma bengala branca e acabam por atingir a cabeça e membros superiores dos deficientes visuais. Existem inúmeros objetos que possuem essas mesmas características espaciais que não são captadas pela bengala e ferem, ou deixam a locomoção dos deficientes visuais mais arriscada.

Um deficiente visual precisa quase sempre de um tutor que o auxilie a aprender novos percursos. Para que um novo percurso seja aprendido ele deve ser repetido diversas vezes e isso faz com que esse processo necessite de bastante tempo e disposição de ambas as partes. Essa dificuldade diminui muito a quantidade de caminhos aprendidos e limita o aprendizado e a independência do deficiente.

O trabalho *“Designing a personal guidance system to aid navigation without sight: progress on the GIs component”* [13] traz uma descrição precisa sobre o problema que vamos trabalhar.

Não há substituto adequado para a visão. Apesar da existência de uma seleção de subsídios técnicos que compensam parcialmente a falta de acesso visual à informação ambiente (Golledge 1988 a), o cego ou deficiente visual, ao se locomover, precisa operar de uma posição severamente desfavorecida. Não só é o acesso a informações sobre o ambiente imediato ou proximal (o da próxima meia dúzia de passos) falta, mas, mais importante ainda, a informação geral de contexto e disposição espacial ou configuração do ambiente é muitas vezes não imaginada ou desconhecida.

Mesmo o cego competente em se locomover que estão bastante familiarizados com uma determinada rota pode perder o controle de sua localização e tornar-se desorientado ou perdido quando distraído por barreiras inesperadas, riscos imprevistos ou interrupções indesejadas. A recuperação de informações sobre a localização e orientação pode ser uma tarefa quase intransponível sem acesso a indicações circundantes apropriadas. Tal tarefa de recuperação torna-se ainda mais difícil quando o indivíduo se encontra em um espaço aberto relativamente homogêneo (por exemplo, campos de jogos, parques de estacionamento ou grandes shoppings de pedestres), onde a orientação e sinais de localização muitas vezes não estão disponíveis. Isso também pode ocorrer nos espaços interiores de grandes edifícios “sem barreiras” e às vezes sem indicações (por exemplo, instituições como bibliotecas, hospitais, edifícios públicos e museus) [14].

1.3 Hipótese

É possível construir um sistema computacional vestível, utilizando tecnologias abertas já disponíveis, para o auxílio à locomoção segura e orientação espacial automática de pessoas com deficiência visual, sem necessidade de avisos sonoros.

1.4 Objetivo Geral

Realizamos um estudo sobre computação vestível e sobre computação vestível aplicada a deficientes visuais. Projetamos e construímos um protótipo de um sistema vestível para

deficiente visual, que permitiu detectar objetos próximos que possam colidir com o usuário e permita direcioná-lo para uma localização específica, através de alertas vibratórios.

1.5 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, temos:

- Desenvolvemos um módulo de motor de vibração em circuito impresso;
- Criarmos um aplicativo que utilize GPS, bússola e envie via bluetooth sinais sobre a direção do destino;
- Criarmos protótipo utilizando Arduíno que emita alerta tátil quando um objeto próximo à cabeça do usuário for detectado;
- Criarmos software para Arduíno que receba comando via bluetooth e acione os motores;
- Montamos um sistema completo em um boné manteve o conforto e funcionalidade.

1.6 Estrutura da Monografia

Para registrar os passos desse processo de pesquisa e implementação, dividimos nossa exposição em quatro capítulos, além das considerações finais. Apesar de se tratar de assunto que demanda conhecimento de alguns pressupostos técnicos de programação e eletrônica, procuramos descrever minuciosamente as etapas dos experimentos para que estes possam ser reproduzidos e melhorados por interessados de várias áreas. Quando não pudermos nos aprofundar mais em uma explicação, proveremos as indicações bibliográficas necessárias para complementar nossa exposição.

Nesse sentido, neste primeiro capítulo, começamos com a definição do problema e da hipótese a ser demonstrada. Seguimos com o nosso objetivo geral e específicos. No segundo capítulo traremos um breve histórico sobre a computação vestível *wearable computing* e uma contextualização com trabalhos que englobam computação vestida, deficientes visuais e locomoção assistida.

No terceiro capítulo descrevemos a nossa proposta e implementação do protótipo, analisando os hardwares e softwares através de diagramas esquemáticos e de bloco.

No quarto capítulo apresentamos os principais resultados de testes feitos em laboratório, com usuários sem deficiência visual e com usuários com deficiência visual usando nosso protótipo. Este capítulo traz também um balanço das opiniões geradas sobre sua eficiência e sua real aplicabilidade, se atendeu ou não as expectativas. Alguns comentários sobre os problemas e desafios encontrados são, a título de registro, intercalados.

Ao término deste trabalho, no quinto capítulo, apresentamos algumas considerações finais com nossas críticas sobre o protótipo desenvolvido e possíveis melhorias no projeto.

Neste capítulo introduzimos o tema e tratamos sobre a estrutura do trabalho, definimos o problema de locomoção segura de deficientes visuais e apontamos como iremos atacar este problema através do objetivo geral e dos objetivos específicos.

No próximo capítulo, falaremos sobre computação vestível, começando com um breve histórico sobre computação vestível e finalizando com os trabalhos relacionados ao problema de locomoção de deficientes visuais.

Capítulo 2

Computação vestível

Foi necessária, como introdução geral, uma explicação dos conceitos usados neste trabalho com subsequente histórico sobre computação vestível e sua aplicação à locomoção segura de deficientes visuais. Apontaremos também alguns fatos relevantes, soluções empregadas, problemas encontrados e uma breve crítica dos trabalhos mais conhecidos e relevantes sobre o tema.

2.1 Computação Vestível

Em *The challenges of wearable computing*, Thad Eugene Starner [15], um dos pioneiros e entusiasta da computação vestível contemporânea, definiu computação vestível por meio dos esforços em chegar a um computador vestível hipotético ideal e responde a pergunta sobre o que são *wearables* (como geralmente são chamados os computadores vestíveis) da seguinte forma: “vários autores definiram computação vestível através das características que desejam alcançar. Por exemplo, Rhodes afirma que *wearables* devem promover portabilidade durante sua operação, permitir ter as mãos livres ou quase livres, poder chamar a atenção do usuário, mesmo quando não está sendo usado, rodar continuamente e tentar detectar o contexto atual do usuário. Enquanto Mann descreve os *wearables* como sendo algo constante e sempre pronto para uso, irrestringíveis, não monopolizadores da atenção, observável e controlável pelo usuário, atento ao ambiente, útil como uma ferramenta de comunicação e pessoal”. Continua fazendo uma reflexão de que muito desta filosofia remete ao conceito de *cyborg*, ou seja, uma simbiose homem-computador, pois *cyborg* implica em uma combinação de homem e máquina, cujas interfaces se tornaram naturais ao usuário.

2.2 Histórico

Como a definição de computação vestível é bem ampla, podemos contar sua história a partir do surgimento das lentes de óculos que trouxeram a ideia de se poder aumentar os sentidos humanos. É interessante vermos a computação vestível sob essa perspectiva de extensão dos sentidos, pois, mesmo com algumas variações em seus conceitos básicos, vemos como as necessidades mais comuns pautam a aplicação da ciência a recursos de sobreposição do ser humano em diferentes situações adversas, produzindo grandes mu-

danças que vão além da tecnologia em si, mudanças que fundam novas possibilidades e necessidades de nosso ser no mundo, ao ponto de se tornarem quase imperceptíveis com o passar do tempo.

O nosso histórico foi um retrospecto feito a partir de dois textos: um de Rhodes, que se intitula “*A brief history of wearable computing*” [4], e outro de Mann, contido em “*The Encyclopedia of Human-Computer Interaction – cap. 23*” [16]. A seguir, uma resenha de trechos interessantes destes dois textos a partir de uma tradução livre:

O registro mais antigo de uma invenção que pode ser considerada um vestível data do ano de 1268. Roger Bacon fez o primeiro comentário escrito sobre o uso de lentes para fins ópticos. No entanto, nesta época os óculos de leitura, feitos de quartzo transparente ou berilo, já eram usados na China e Europa.

Embora não se trate especificamente de computação vestível, a naturalidade com que esse invento se instaurou em nossas vidas, resolvendo dificuldades básicas para realização de uma série de atividades, exemplifica perfeitamente como a tecnologia vestível produz efeitos de evolução humana diante de condições estabelecidas aleatoriamente, pela genética, ou fatalmente, pelo avançar da idade. Seu valor é imensurável como uma das invenções que estabelecem barreiras sólidas na relação próxima que o homem tinha com a natureza mais elementar. E, no entanto, algumas contradições se fazem sentir no mundo de hoje, em que essa tecnologia, provavelmente milenar, ainda não está universalizada e seu baixo custo não resolve por si só o fato de comunidades em alguns países não contarem com este benefício que já se tornou uma condição para desenvolvimento de inúmeras atividades modernas básicas, como o aprendizado através da leitura, a direção de automóveis etc.

Continuando no mundo da ótica, foi mencionado em um sermão, feito por Giordano da Rivalto em 1306, o uso de óculos para leitura [17].

Partindo para outra invenção que, de certa forma, está sempre presente na vida moderna, evocamos um vestível de 1505 com nome de *Bisamapfeluhr*, mostrado na Figura 2.1. Ele é uma invenção considerada como o primeiro dispositivo portátil para cronometrar o tempo [3].



Figura 2.1: Relógio de bolso - Bisamapfeluhr [1].

Na dinastia Qing (1616-1911), foi desenvolvido o primeiro ábaco funcional em um anel, apresentado na Figura 2.2.

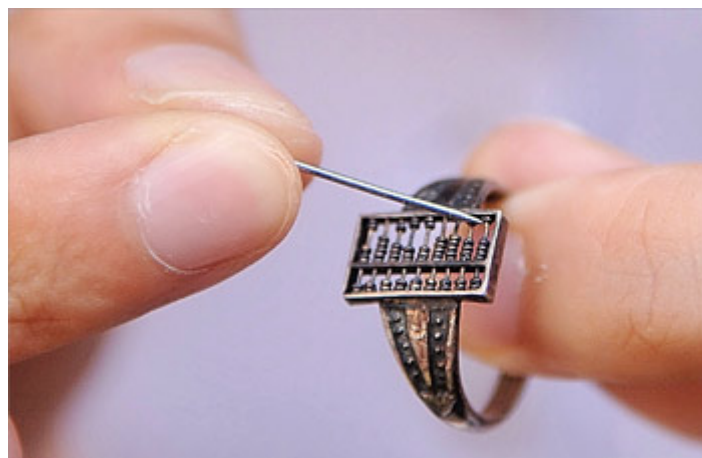


Figura 2.2: Ábaco em um anel [2].

Aqui já podemos apreciar um dos primórdios da computação vestível, ainda que não fosse sua forma digital, como conhecemos. Esse dispositivo muito antigo pressupõe um algoritmo que permite fazer as quatro operações aritméticas. Podemos dizer que ele foi completamente substituído por novas fórmulas tecnológicas, mas ainda pode ser utilizado, principalmente no oriente, ainda que seja por tradição, como método didático ou mesmo por carência de outros recursos.

Em 1665 Robert Hooke publica um texto impressionante, uma espécie de manifesto conclamando o aumento dos sentidos: “O próximo cuidado a ser tomado, em relação aos sentidos, é suprir suas enfermidades com instrumentos e, por assim dizer, adicionar

órgãos artificiais aos naturais e como os óculos têm promovido aumento de nossa visão, da mesma forma, não é improvável que possam ser encontradas muitas invenções mecânicas para melhorar os nossos outros sentidos da audição, olfato, paladar e tato [15].

Esse cientista experimental, contemporâneo de Isaac Newton, deixou diversas contribuições no desenvolvimento do telescópio, do microscópio, da junta universal e do relógio de corda portátil, assim como no aperfeiçoamento de barômetros, pluviômetros, anemômetros e de um relógio de pêndulo livre de perturbações marítimas que seria antecessor do cronômetro marítimo. Na esteira dessas contribuições, muitas outras serão prosseguidas na história da tecnologia portátil e das extensões dos sentidos humanos. Sua sensibilidade para o significado da tecnologia na potencialização das ações humanas é fundado na observação dos limites dessas mesmas ações, o que o situa na posição de cientista menos especulativo do que prático, ligado que era a uma perspectiva antropomorfizadora de seus estudos. Diante do salto científico proporcionado por Newton, Hooke se manteve um cientista menos célebre, mas podemos refletir sobre o senso das contradições que a ciência corre o risco de perder por se distanciar completamente das necessidades mais práticas e dos limites da vida humana.



Figura 2.3: Primeiro relógio de bolso [2].

Em 1762 John Harrison inventa o relógio de bolso, mostrado na Figura 2.3. Sessenta anos após a morte de Hooke, Harrison inventou o primeiro cronômetro que serviria para uma finalidade prática, um relógio de alta precisão, necessário para determinar a longitude de um navio. Quarenta e oito anos depois, em 1810, o relojoeiro Breguet desenvolveu para rainha de Nápoles o primeiro relógio vestível. Era um pequeno relógio de bolso fixado em um bracelete [4].

Houve, em 1884, uma apresentação de ballet com bailarinas usando na suas vestes lâmpadas que eram alimentadas utilizando baterias escondidas pelo vestido. Isso chamou muita atenção na sua época e foi noticiado em vários jornais [18]. Atualmente algumas pessoas utilizam roupas com LED's com finalidade estética.

No ano de 1907, o aviador Brasileiro Alberto Santos Dumont encomenda a criação do primeiro relógio de pulso. Santos Dumont, um dos primeiros pesquisadores em máquinas voadoras mais pesadas que o ar, encomendou ao famoso joalheiro Louis Cartier que fabricasse um pequeno relógio com uma pulseira para suas necessidades. O relógio de pulso permitiu-lhe manter as mãos livres para pilotar [4].

Ainda no ano de 1907, o Alemão Julius Neubronner instalou uma armação de alumínio no peito de um pombo e acoplou uma máquina fotográfica que de tempos em tempos tirava fotos, Figura 2.4. Esta ideia possibilitou que o exército alemão capturasse imagens fotográficas aéreas atrás das linhas inimigas. Atualmente, utiliza-se drones com essa mesma finalidade [3].

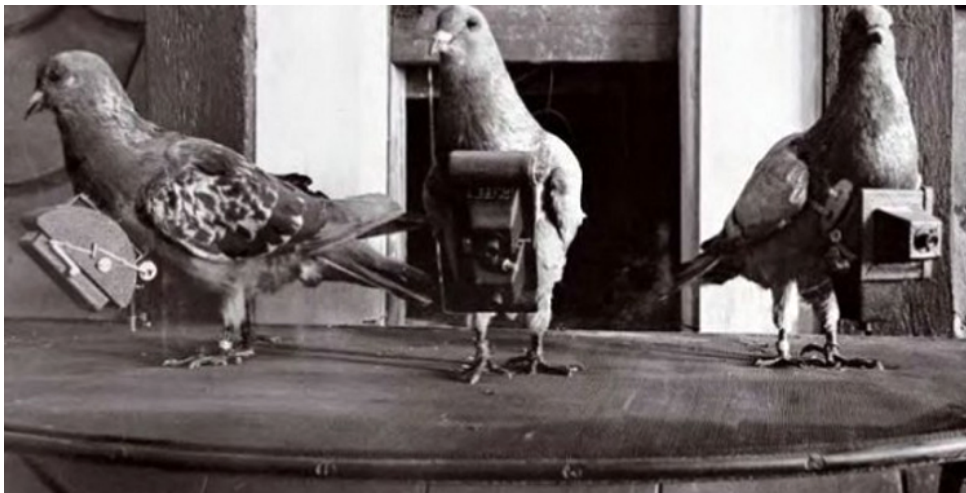


Figura 2.4: Pombo com câmera vestível [3].

No ano de 1945, o engenheiro estadunidense Vannevar Bush escreve sobre sua ideia, o "Memex", em seu artigo "*As We May Think*". Embora Bush pensasse que o Memex teria o tamanho de uma mesa e não seria vestível, é uma menção inicial da memória aumentada: "Considere um futuro dispositivo para uso individual, que é uma espécie de arquivo e biblioteca mecanizada e pessoal. Ele precisa de um nome, e um aleatoriamente inventado, vai ser "Memex". Um Memex é um dispositivo no qual um indivíduo armazena todos os seus livros, registros e comunicações, e que é mecanizado para que possa ser consultado com alta velocidade e flexibilidade. É um "suplemento íntimo que alargaria sua memória" [4].

Estamos falando de uma época em que os computadores de mesa ainda não existiam. Embora seu invento não tenha se concretizado, trata-se do registro de uma necessidade de armazenamento de arquivos a partir de necessidades individuais ou muito específicas, o que também é algo historicamente construído pela Modernidade. Esta noção e os dispositivos portáteis se coadunam de forma cada vez mais intrínseca neste momento dos pós-guerras, em meio a tensões que envolvem espionagem e lutas entre projetos nacionais e modos de produção.

Quinze anos depois em 1960 o diretor de fotografia, que muitos consideram o pai da realidade virtual, Morton Heilig, criou o que chamou de "arcade experiência imersiva". A intenção foi combinar cinema com realidade virtual. Heilig patenteou sua tela de televisão estereofônica acoplada à cabeça conhecida como HMD *Head Mounted Display*. A seguir,

um texto que acompanha sua patente de 1962, sobre o “*Sensorama Simulator*” (Patente dos EUA 3.050.870 #), mostrado na Figura 2.5: um simulador de realidade virtual com guidão, *display* binocular, assento vibratório, alto-falantes estereofônicos, ventilador de ar frio, e um dispositivo perto do nariz que gerará odores que se encaixam à ação no filme [19].



Figura 2.5: Primeiros experimentos com realidade virtual usando o Sensorama Simulator [3].

A noção de “realidade aumentada” se encaixa neste invento, bem em meio à Guerra Fria e à disputa ideológica que se dava por via dos meios de comunicação, principalmente na indústria cinematográfica. Esses eventos não são necessariamente associados, mas também não são desprezíveis. Com essa noção, podemos vislumbrar a antecipação de alguns paradigmas do Pós-modernismo, sem dúvida, mais expressivos após a queda do Muro de Berlim e o chamado fim das utopias, teoricamente associado ao fim da história. O paradigma da realidade aumentada está fundado no princípio de que a informação é um bem supremo e a especulação sobre isso não será refreada, chegando, em nossos dias, a investimentos fabulosos. No entanto, a relativização dos dados objetivos, o cruzamento de informações a partir de necessidades cada vez mais específicas e subjetivas pode ir de encontro aos interesses de sanar necessidades ainda não satisfeitas e que dizem respeito àqueles limites não superados.

Aqui, imaginando o excesso de estímulos sensoriais produzidos por tecnologias empregadas para a apreciação de um filme de alto orçamento, parece chocante pensar na falta de amparo e nos problemas primários e cotidianos enfrentados por uma pessoa com alguma deficiência em um país como o Brasil. Por outro lado, essas questões não são colocadas para demonizar nenhum tipo de tecnologia, o que não faz sentido. Apenas são necessárias na medida em que tais contradições existem e representam conflitos ideológicos no tratamento e investimento em tecnologia de modo geral, a ser desenvolvida no sentido meramente especulativo, isto é, da técnica pela técnica, ou no sentido de responder e se desenvolver em benefício comum.

Ainda em 1960 Manfred Clynes cunha a palavra "*Cyborg*" Manfred Clynes e o co-autor, Nathan Kline, são os primeiros a cunhar a expressão "*Cyborg*" em uma história chamada "*Cyborgs and Space*", publicada em *Astronautics* (setembro de 1960). O termo foi usado para descrever um ser humano aumentado com "anexos" tecnológicos. A história já foi reproduzida em "*The Cyborg Handbook*", editado por Chris Hables Gray [4].

Nesse caso, tudo o que viemos esboçando como uma genealogia da computação vestível é elevado a um patamar muito mais alto, mesmo que ainda no campo ficcional. Muito disso vem sendo desenvolvido por tecnologias mais recentes e, cada vez mais, ligadas aos comandos do cérebro humano, o que representa um avanço prodigioso da tecnologia voltada às necessidades. Permitam-me um parêntese: disso, o Brasil se apropriou e, nessa tecnologia, deu seus primeiros passos demonstrados na abertura da copa do mundo de 2014. Sobre o funcionamento do exoesqueleto, que deve auxiliar na locomoção de pacientes com paralisia grave, o pesquisador brasileiro, Miguel Nicolelis, explica em entrevista concedida à BBC Mundo:

“É uma vestimenta robótica que pode ser controlada pela atividade cerebral do paciente, captada por meio de uma touca com sensores aplicados ao couro cabeludo. Ele ainda dá um retorno tátil ao usuário quando começa a se movimentar. Sinais gerados por sensores são transmitidos para um vibrador aplicado ao braço do paciente. Dessa maneira, quando o exoesqueleto pisa no chão, o vibrador estimula a pele. Assim, o paciente começa a interpretar o estímulo no braço como um sinal de que o exoesqueleto encostou no chão. O mesmo ocorre quando a perna do paciente está no ar, se movendo. A flexão do joelho gerada neste movimento é transmitida ao braço do paciente por uma sequência de estímulos vibratórios. Com a prática, o cérebro passa a associar os movimentos a essa vibração, e o paciente começa a desenvolver uma sensação de que está caminhando novamente” [20].

Voltando para 1966, o matemático estadunidense Ed Thorp e o matemático, engenheiro eletrônico, criptógrafo e também estadunidense Claude Shannon revelam a invenção do primeiro computador vestível, usado para prever jogos de roletas [MIT]. O sistema era um computador analógico, com quatro botões do porte de um maço de cigarros. Um coletor de dados usaria os botões para indicar a velocidade da roleta ao computador, então, tons seriam enviados via rádio para aparelho auditivo de um apostador. Embora o sistema tenha sido inventado em 1961, foi mencionado pela primeira vez por E. Thorp em *Beat the Dealer*, edição revisada, de 1966. Os detalhes do sistema foram posteriormente publicados nas Resenhas do Instituto Internacional de Estatística. Thorp também revelou um sistema semelhante para bater a roda de jogo de azar [4].

Esse é, definitivamente, um marco da computação vestível com processamento de dados analogicamente computados. Sua capacidade chegava a controlar 4.000 operações matemáticas por segundo, o que era pouco em relação aos modernos *Personal Computer*, mas, para a época, era uma quantidade bastante significativa. Sua aplicação para um fim prático seria apenas uma ilustração das teorias de probabilidade e estatística, que poderiam ser processadas instantaneamente, durante partidas de jogos de cassino, com a ajuda desse dispositivo. Mais tarde, Thorp continuou seus experimentos de probabilidade e estatística no mercado de ações, o que lhe rendeu muito mais que fama.

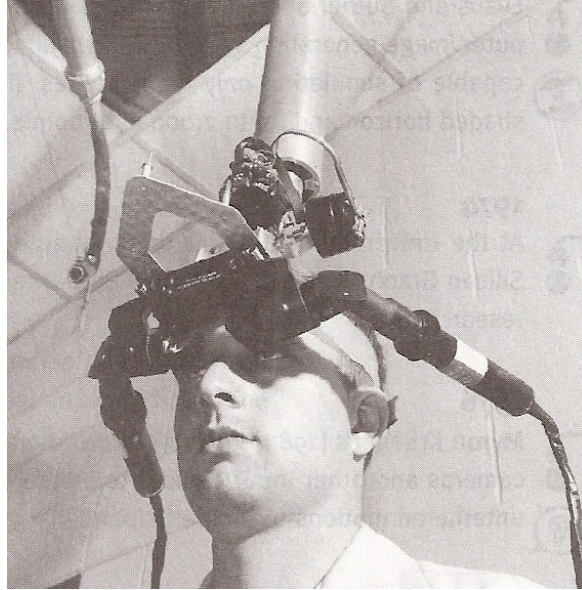


Figura 2.6: Primeiros experimento com realidade aumentada conhecido como “Espada de Dâmocles” [4].

Ainda em 1966 o estadunidense Ivan Edward Sutherland criou o primeiro *display* acoplado à cabeça baseado em computadores [4]. Sutherland criou um HMD portátil, usando dois CRTs (*Cathode-Ray Tube*) montados ao lado de cada uma das orelhas do usuário, com espelhos semi-prateados refletindo as imagens *wireframe* e monoscópica para os olhos do usuário. Outro sistema determinava onde o usuário estava olhando e projetava a imagem de tal forma que parecia que um cubo estava flutuando no ar. A maior parte do sistema ficava preso ao teto, acima da cabeça do usuário, o que fez que o sistema ganhasse o apelido de "Espada de Dâmocles", mostrado na Figura 2.6.

Esse poderia ser considerado mais propriamente um antecessor da realidade aumentada, já que interfere na percepção do mundo circundante, projetando dados para apreciação do usuário. O jogo óptico possibilita um acréscimo à informação percebida, para além daquele campo visual determinado. Hoje, podemos comparar esse invento ao recente desenvolvimento do *Google Glass*.

Um ano depois, em 1967, um experimento da empresa Bell com helicópteros e HMD's, com entrada a partir de câmeras controladas por servo, foi a primeira a realizar vários sistemas de realidade aumentada baseados em câmeras. Em um deles, o *display* montado na cabeça foi acoplado com uma câmera infravermelha que daria aos pilotos de helicópteros militares a capacidade de pousar à noite em terrenos acidentados. Uma câmara de infravermelho, que se movia quando a cabeça do piloto movia, foi montada na parte inferior de um helicóptero. O campo de visão do piloto era esse, o da câmera [4].

Ainda em 1967, Hubert Upton inventou um computador analógico vestível com *display* montado em óculos para ajudar a leitura labial. Hubert Upton projetou um computador vestível analógico para servir de auxílio à leitura labial. O sistema determina se um fonema falado era de uma articulação fricativa, oclusiva, nasal, vibrante etc. Alguns LEDs montados em óculos comuns se acendiam para indicar o tipo de fonema. Os LEDs foram posicionados de forma que permitiam um tipo simples de realidade aumentada;

por exemplo, quando o fonema fosse sonoro o LED na parte inferior do vidro iluminava, fazendo parecer como se a garganta do orador estivesse brilhando [4].

A Google possui a patente de um projeto de computação vestível com características semelhantes. Há a possibilidade de que seja parte de um projeto semelhante ao do *Google Glass*, embora não necessariamente o mesmo, já que grande parte das informações é especificamente voltada para o público com deficiência auditiva e permite a transcrição de sons mais próximos para texto, a identificação da direção de origem do som emitido e, em alguns casos, a identificação do que pode estar originando aquele som, por exemplo, a buzina de um carro, um gato etc.

No ano de 1968, o estadunidense e cientista da computação, Douglas Engelbart demonstra o teclado *Chording* (acorde) de uma mão na NLS (*oN-Line System*) Na conferência *Fall Joint Computer Conference*, de 08 de dezembro de 1968, Engelbart demonstrou o sistema NLS, um dos primeiros computadores pessoais que pavimentou o caminho (*that paved the way*) para o computador pessoal interativo e *groupware*. O sistema incluía um teclado para uma mão, processamento de textos, processamento de esboço *outline processing*, janelas divididas, hipermídia, mouse, documentos compartilhados, filtragem de e-mail, *desktop conferencing*, anotação de documentos compartilhados, compartilhamento interativo, compartilhamento de vídeo, *turn taking* e uma rede informações [4].



Figura 2.7: “Teclado acorder” (*Chord keyboard*) teclado criado para ser usado em computação vestível

No ano de 1972 - Alan Lewis inventou um computador digital em uma caixa de câmera para prever jogos de roletas [4]. De forma análoga ao sistema de Thorp e Shannon, o de Lewis usava um *link* de rádio entre o dispositivo de entrada de dados e o apostador. O

dispositivo usava um computador para prever a roleta. Assim, a previsão poderia ser indicada via link de rádio para o receptor do apostador.

Neste mesmo ano a Pulsar lançou o primeiro relógio de pulso digital e, cinco anos depois, em 1975, lançam a primeira calculadora de pulso, 100 peças foram produzidas em ouro maciço de 18KT

Em 1977, CC Collins desenvolveu um colete vestível com câmara tátil para cegos [4]. O resultado de 10 anos de pesquisa, C.C. Collins, do Instituto Smith- Kettlewell de Ciências Visuais desenvolveu um *wearable* com uma câmera acoplada à cabeça que convertia as imagens em 1024 pontos em um quadrado de 10 polegadas tátil em um colete. O sistema foi testado como uma prótese para pessoas com deficiência visual. (Consultar "Estudos móveis com um dispositivo de imagem tátil", de CC Collins, LA Scadden e AB Alden, Quarta Conferência sobre Sistemas e Instalações para pessoas com mobilidade condicionada, June 1-3, 1977, Seattle WA)

Esse equipamento é uma versão inicial desse tipo de computação vestível dirigido a pessoas com deficiência visual. Interessa ir além deste marco, para compreender a receptividade destes testes com seu público alvo.



Figura 2.8: Primeiro relógio com calculadora - HP 01 [4].

Ainda em 1977, a HP lançou um relógio com calculadora algébrica HP 01, mostrado na Figura 2.8. O relógio calculadora HP 01 tinha 28 pequenas teclas no mostrador do relógio. Quatro botões eram mais elevados para um melhor acesso dos dedos (data, alarme, memória e tempo), dois eram mais afundados, mas, ainda assim, podiam ser operados com os dedos (leitura / Sensibilidade / reset e cronômetro). Os botões restantes foram destinados a ser pressionados com o uso de uma caneta, a qual era encaixada no fecho da pulseira [4].

Mais uma vez, as necessidades são geradas a partir de um determinado marco tecnológico, que se torna indispensável ao ponto de alavancar um desenvolvimento em direção à portabilidade. Assim como a antiga calculadora chamada de Ábaco, porém, neste caso, com a junção de duas utilidades em uma, relógio e calculadora.

Um ano depois, em 1978, a empresa Eudaemonic inventou um computador vestível digital em um sapato para prever jogos de roletas, mostrado na Figura 2.9. Usando um microprocessador CMOS 6502 com 5K de RAM, a *Eudaemonic Enterprises* (Doyle Farmer, Norman Packard, entre outros) criaram um computador sapato com controle no dedão do pé e comunicações de rádio entre a entrada de dados e o apostador. Esta é a única máquina de roleta conhecida naquele tempo, usada para mostrar o lucro estatístico

no decorrer de um jogo, muito embora eles nunca tenham conseguido fazer a pontuação máxima.

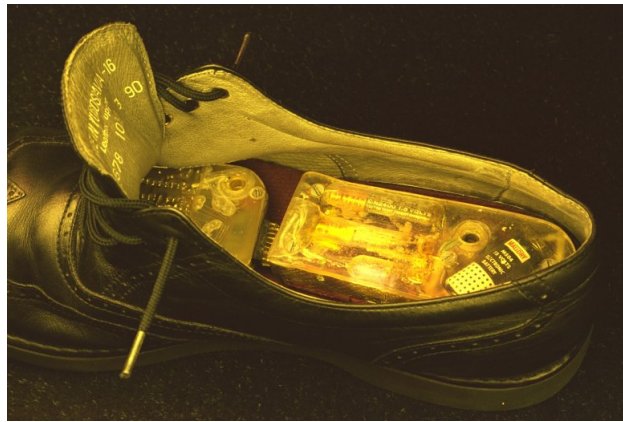


Figura 2.9: Sapato Eudaemonic [2].

Em 1979 a Sony apresentou o Walkman um leitor vestível de fitas cassetes comercial, Figura 2.10. Produtos posteriores incluiriam CD-players de música [3].



Figura 2.10: Propaganda Sony walkman, primeiro vestível para música [3].

Início do anos oitenta, os lançamentos e invenções em computação, de forma geral, começaram a ocorrer em forma acelerada e é nessa época, ano de 1981, que Steve Mann projeta um computador montado em uma mochila com a finalidade de controlar um equipamento fotográfico, Figura 2.11. Enquanto ainda estava no ensino médio, Steve Mann vestia um processador 6502 (o mesmo usado no Apple II) em uma mochila com estrutura de aço e o usava para controlar lâmpadas de flash, câmeras e outros sistemas fotográficos. O dispositivo de saída era o visor da câmera ligada a um capacete, dando a ele 40 colunas de texto. O dispositivo de entrada funcionava através de sete pequenos botões, construídos na alça das lâmpadas de flash, e todo o sistema (incluindo o flash das lâmpadas) era alimentado por baterias de chumbo-ácido [4].

Numa época em que o uso de computadores ainda não estavam plenamente difundido, Steve Mann inovou a aplicabilidade de suas funções ao mesmo tempo em que se preocupava com a portabilidade de toda essa estrutura. Ao contrário de alguns dos inventos aqui elencados, esse equipamento não tinha o propósito de passar despercebido, como o computador sapato ou o aquele do tamanho de um maço de cigarros. O que acontecia poderia ser o efeito contrário, de uma aparato que chamava muita atenção para si.



Figura 2.11: Mann com seu modelo de computador vestível [2].

Em 1983 Taft comercializa computadores operados através do dedão usando como base o microprocessador Z-80 para a contagem de cartas. Por volta de 1983, Keith Taft estava vendendo computadores baseados no Z-80, montados em sapatos, com software especial para contagem de cartas para trapacear no jogo de *blackjack*. Mas, após a popularização do livro de Thorp, *Beat the Dealer*, e do grande alvoroço entorno da teoria de probabilidade e estatística para prever a distribuição das cartas no jogo, os cassinos começaram a mudar sua forma de embaralhar as cartas a fim de evitar tais estratégias [4].

Em 1984 William Gibson escreve *Neuromancer*. Este livro fundou o gênero *Cyberpunk*, no qual era criado um futuro distópico em que os seres humanos seriam aumentados com implantes de computador [4].

Em 1986 Steve Roberts construiu Winnebiko II, uma bicicleta reclinada com computador de bordo e teclado *chording*.

Winnebiko II, mostrado na Figura 2.12, marcou a entrada de Steve Roberts na computação nômade, o que lhe permitia escrever enquanto pedalava. Sua invenção incluiu um sistema de comunicação de pacotes de dados via rádio amador para o e-mail, além de um laptop HP, um teclado *chording* para digitar enquanto estivesse pedalando, um painel solar de 20 watts. A bicicleta foi mais tarde substituída por BEHEMOTH (*Big Electronic Human-Energized Machine... Only Too Heavy*), um sistema mais sofisticado, que incluía um *display* acoplado à cabeça [4].



Figura 2.12: Início da computação nômade com protótipo Winnebiko II [2].

Em 1987, foi lançado o filme "O Exterminador do Futuro". Nele, merecem destaque as cenas do ponto de vista do ciborgue, que apresentam textos e informações gráficas sobrepostas na parte superior do mundo real. Mais um exemplo de realidade aumentada [4].

Em 1989, um visor que pode ser acoplado na cabeça intitulado *Private Eye* foi comercializado pela *Reflection Technology*. O *display* (designado de "P4") é uma tela de 1,25" de 720 x 280 *pixel* monocromático (vermelho) com monitor de 3,5" X 1,5" X 1,25". Apesar da tela ser de 1,25", ao usar o dispositivo a imagem aparenta ser de 15" a 18" de comprimento [4].

Em 1989, a Nintendo lançou a *Mattel Power Glove*.

Em 1990, Gerald Maguire e John Loannidis demonstraram o *Notebook Student Electronic*, com "*Private Eye* e IP móvel. E, ainda neste ano, Olivetti desenvolveu um sistema de crachá ativo, que, através de sinais infravermelhos, podia comunicar a localização de uma pessoa. Olivetti desenvolveu um crachá que transmitia um id único para receptores de infravermelhos colocados em quartos ao redor de um edifício. Isso permitiu que estas "salas inteligentes" rastreassem a localização das pessoas e gravassem esse registro de localização em um banco de dados central. Os distintivos, medindo 55x55x7mm, pesavam 40 g e podiam ser produzidos com custos muito baixos [4].

Em 1991, Doug Platt apresentou o seu "Hip-PC" feito baseado nos computadores 286. O Sistema de Doug Platt era um computador do tamanho de uma caixa de sapatos, feito com um módulo XT Ampro "Small Board". Utilizava a tecnologia *Private Eye* como dispositivo de saída enquanto o dispositivo de entrada era uma agenda *palmtop*,

usada como um teclado *chording* preso ao cinto. Incluía uma unidade de disquete de 1,44 megabyte. O sistema foi apresentado no dia 16 de abril de 1991 na exposição “*The Lap and Palmtop Expo*” [4].

A equipe da CMU desenvolve o VuMan 1 para visualização e navegação de dados em plantas de engenharia. Os alunos de um curso de verão na *Carnegie Mellon’s Engineering Design Research Center* desenvolveram o VuMan 1, um computador vestível que tinha como foco principal visualizar plantas de casas. O principal dispositivo de entrada era através de uma unidade de três botões, usada no cinto, e a saída era através de um *Private Eye* da Reflection Tech. A CPU era um processador 80188 8 MHz com 0,5 MB ROM.

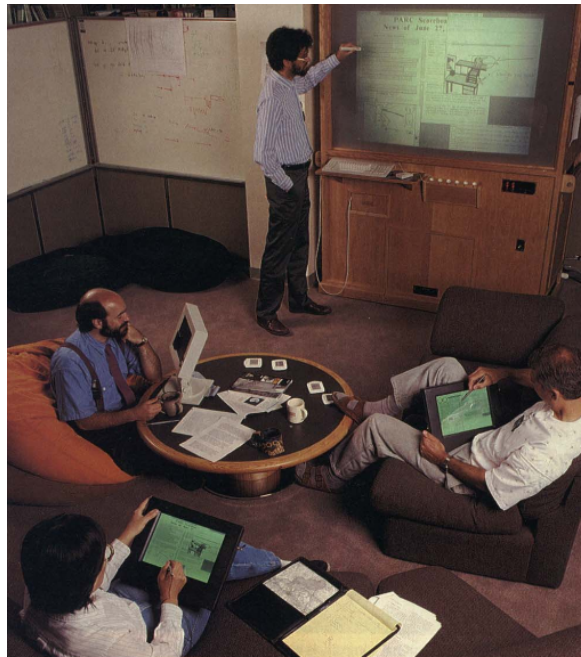


Figura 2.13: Primeira visão de computação Ubíqua, Weiser’s Landmark na Xerox [5].

Ainda em 1991, Mark Weiser propõe a ideia de Computação Ubíqua na revista *Scientific American*. Computação Ubíqua propõe um mundo em que a maioria dos objetos do cotidiano tem dispositivos computacionais embutidos neles. Esta questão apareceu no artigo Weiser’s Landmark, “*The Computer for the 21st Century*” e seu artigo começa belamente [5] “*The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it*”. A ideia de computação umbíqua está cada vez mais forte e presente. Apesar de serem até engraçadas as imagens usadas no artigo original, onde, aparentemente, Mark Weiser aparece trabalhando na Xerox Palo Alto Research Center, vemos que nosso cotidiano está cada vez mais próximo dessa realidade que é experimentada hoje com casas automatizadas e comandadas à distância [4].

No ano de 1993, Thad Starner começa a usar constantemente seu computador baseado no projeto de Doug Platt. Starner tinha tentado usar *wearables* anteriormente, com base em um TRS-80 modelo 100 instalado em uma estação de trabalho SPARC, mas nunca conseguiu fazê-los funcionar de forma confiável. Quando ouviu a palestra Doug Platt, no MIT Media Lab., ele mudou seu sistema para o sistema de Platt, baseado em um chip do 286. Em junho de 1993, Platt e Starner fizeram a primeira versão customizável do

sistema que Starner começaria a usar com peças de um kit produzido pela Park Enterprise, um Private Eye, e um teclado *chording* da Twiddler, produzida pela Handykey. Muitas alterações fizeram que este sistema se tornasse o projeto do computador *wearable* “Tin Lizz”. Thad Starner escreve uma primeira versão do software de memória aumentada *Remembrance Agent*. Um *Remembrance Agent* (RA) funciona como um tipo de memória associativa automatizada que recomendaria arquivos relevantes a partir de um banco de dados, com base em todas as notas que estavam sendo escritas em um computador vestível. O sistema foi integrado ao Emacs e, mais tarde, foi reescrito como parte da continuação da pesquisa por Bradley Rhodes. Quando usado em computador desktop, o RA só consegue basear-se apenas no contexto do documento sendo editado ou lido [4].

Neste mesmo ano, a BBN terminou seu sistema Pathfinder, um computador vestível com GPS e sistema de detecção de radiação. O sistema Pathfinder da BBN foi concluído no segundo semestre de 1993, e incluiu um computador *wearable*, Sistema de Posicionamento Global (GPS) e sistema de detecção de radiação.

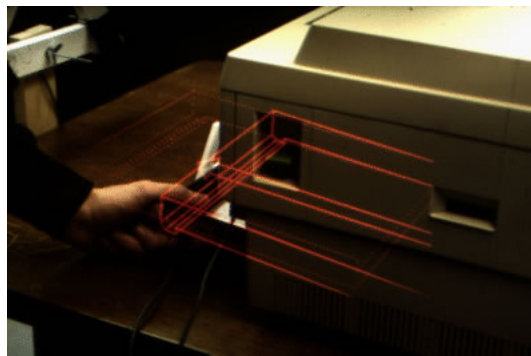


Figura 2.14: Visão do ponto de vista da ferramenta KARMA [6].

Ainda em 1993, na universidade de Columbia, Feiner, MacIntyre e Seligmann desenvolveram um sistema de realidade aumentada intitulado de KARMA *Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance*. Usuários poderiam usar um *Private Eye* para sobrepor o mundo real com efeitos de realidade aumentada. A ideia do sistema KARMA era sobrepor esquemas de estrutura e plantas contendo instruções em cima de tudo o que estava sendo visto. Por exemplo, esquemas gráficos em cima de uma impressora a laser, explicando como alterar a bandeja de papel. O sistema utiliza sensores ligados a objetos do mundo físico para determinar a sua localização e o sistema como um funcionava através de um computador desktop portátil [4].

Em 1994, Mik Lamming e Mike Flynn desenvolveram o “Forget- Me- Not” um sistema pessoal de gravação. Este dispositivo era um vestível que gravaria as interações entre as pessoas e os seus dispositivos e armazenaria essas informações em um banco de dados para ser consultado posteriormente. O sistema tinha a pretensão de permitir consultas como “Quem veio ao meu escritório enquanto eu estava no telefone falando com Mark?” [4].

Ainda em 1994, Edgar Matias apresentaram um “computador de pulso”. Construído por Edgar Matias e Mike Ruicci da Universidade de Toronto, este “computador de pulso” apresenta uma abordagem alternativa para o vestível HUD com teclado acorde. O sistema foi construído a partir de um computador palmtop modificado da HP 95LX. Possuía os módulos de teclado e visor presos ao antebraço do operador. O sistema estreou na conferência CHI -94 , em Boston, e foi produzido com o nome de “half keyboard” [4].

Neste mesmo ano a DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) iniciou o desenvolvimento de módulos inteligentes, humionic (*Human Interface System*) que utilizam computadores vestíveis para uso militar e comercial [4].

Ainda em 1994, Steve Mann fez transmissões de imagens a partir de uma câmera montada em sua cabeça para a Web. Em dezembro de 1994, Steve Mann desenvolveu uma "Webcam vestível sem fio". A Webcam transmitia imagens ponto-a-ponto através de frequências de TV a partir de uma câmera analógica montada na sua cabeça até uma estação SGI (*Silicon Graphics Inc.*). As imagens foram processadas pela estação base e exibidas em uma página da web em tempo quase que real. O sistema foi mais tarde estendido para transmitir vídeo processados de volta da estação de base para um display montado na cabeça e foi usado em experiências de realidade aumentada realizadas por Thad Starner [4].

Em 1996 a DARPA patrocinou oficinas de vestíveis que reuniram empresas, universidades e militares [4].

Em 1997 a Creapôle École de Création e o professor de computação estadunidense Alex Pentland produziram Roupas Inteligentes para o desfile *Fashion Show*. O evento foi uma colaboração de design entre os alunos e professores da Creapôle École de Création de Paris e o Prof. Alex Pentland do MIT, que tinham como objetivo visualizar o casamento iminente de computadores com a moda de vestir. A partir de abril de 1996, projetos foram feitos e roupas produzidas, o desfile final foi realizado no Centro Pompidou, em Paris, em fevereiro de 1997 [4].

Ainda em 1997, as universidades CMU, MIT e Georgia Tech hospedaram o primeiro Simpósio Internacional de Computação Vestível da IEEE. CMU, MIT e Georgia Tech co-organizaram o Simpósio Internacional sobre Computação Vestível da IEEE em Cambridge, 13-14 outubro de 1997. O simpósio foi uma conferência acadêmica completa com trabalhos publicados e trabalhos que vão desde sensores e hardware até novas aplicações para computadores vestíveis [4].

Em 1999 foi desenvolvido o mBracelet pelo Studio 5050 "Inovação nos pulsos". O mBracelet, Figura 2.15, permitiu computar transações financeiras com ATMs. Essa invenção nunca passou da fase de protótipo [3].



Figura 2.15: Primeiro vestível para transações utilizando ATM - mBracelet [3].

EM 2000 a Levis e a Philips lançaram o ICD+Jacket (ICD - *Industrial Clothing Division*). Este vestível permitia integrar um celular, tocador de mp3, headphone e, com seu controle embutido, permitia variar entre eles [3].



Figura 2.16: Primeiro vestível sendo vendido em escala industrial - ICD+Jacket [7].

Em 2002, a Nokia lançou o primeiro fone bluetooth permitindo aos usuário fazerem ligações sem usar as mãos e a Xybernaut lançou o computador vestível Poma [3].

Em 2003, a Vitron lançou o C-Series, o primeiro contador de passos digital. Com esse dispositivo, as clínicas podiam baixar os arquivos com as informações dos pacientes.

Em 2006 uma colaboração entre a Nike e a Apple faz surgir o Nike+. Trata-se de um kit de marcação para ginástica em que um dispositivo, colocado no tênis, permite medir o tempo, a distância, os passos e as calorias gastas durante o treino.

Em 2009, a empresa Glacier Computer lançou o W200. Um computador vestível destinado a situações em que é necessário acessar uma quantidade grande de informação e manter as mãos livres.

Em 2012, foi lançado o primeiro smartwatch. Este projeto nasceu no Kickstarter.

Em 2013, a Google lançou o Google glass. Trata-se, basicamente, de um *smartphone* com um display montado em um óculos. A ideia era possibilitar aos usuários verem mapas, rotas, previsões do tempo e efetuar chamadas de vídeo ou tirar fotos.

Em 2014, a Tommy Hilfiger lançou uma jaqueta com painel solar que permitia carregar aparelhos eletrônicos [3].

Em 2014, a maior parte dos vestíveis lançados é voltada para o público de ginástica. Alguns modelos permitem ver a quantidade de passos dados, velocidade de caminhada, batimento cardíaco, padrões de sono e até monitorar a exposição a raios ultra-violeta.

Em 2015, a Apple lançou o Apple watch, capaz de enviar mensagens de texto, receber notificações, fazer marcação de treinamento e controlar remotamente televisores.

Ainda em 2015 a Ringly, lançou um anel que permitia receber notificações do *smartphone* a partir de vibrações e sinais luminosos. A ideia era tentar alertar o usuário somente quando algo realmente importante ocorrer.

Em 2015, a Quell promete reconhecer sinais de dores crônicas e, com isso, estimular os nervos e bloquear os sinais de dor que estão indo para o cérebro. Sem fazer uso de nenhum tipo de droga, os médicos da empresa alegam chegar a um nível de satisfação de 67%.

Com a popularização de hardware open-source, a computação vestível se tornou uma realidade para muitos. Essa facilidade fez com que inúmeras comunidades DIY (*Do It Yourself*), voltadas a vestimentas, aparecessem. A grande maioria trabalhando com mudanças de finalidades estéticas, essas comunidades ora adicionavam uma funcionalidade ora outra, até que começaram a surgir hardwares cada vez mais específicos, como FLORA e Lilypad. Estes hardwares foram projetados especialmente para ser costurados em roupas e com a possibilidade de ser lavados a mão. Suas entradas e saídas são em forma de argola, assim, para ligar alguma coisa a ele são necessários fios condutores parecidos com linhas de costura. Isso possibilitou uma melhoria estética para equipamentos montados em roupas. Houve muitos avanços neste sentido. Isso possibilitou a inúmeras pessoas usarem vários sensores em suas vestes sem chamar a atenção de todos, ao contrário do que Steve Mann fazia nos anos de 1980.

A partir de então, muitos estudantes e pesquisadores começaram a desenvolver projetos de vestíveis sem precisar de uma equipe grande de pesquisadores ou grandes investimentos.



Figura 2.17: Luva SignLanguageGlove [8].

Em 2015, a estudante Saudita Hadeel Ayoub desenvolveu em seu mestrado em Computation Arts, na Universidade de Londres, um protótipo de uma luva inteligente, mostrada na Figura 2.17, que transforma os gestos utilizados na linguagem dos sinais em sons e textos escritos [8].

Também em 2015, um grupo de estudantes de ciência da computação e de psicologia de Recife desenvolveu o PAW (Projeto AnnuitWalk), mostrado na Figura 2.18, óculos que detectam eventuais obstáculos no caminho e alertam o usuário [9].

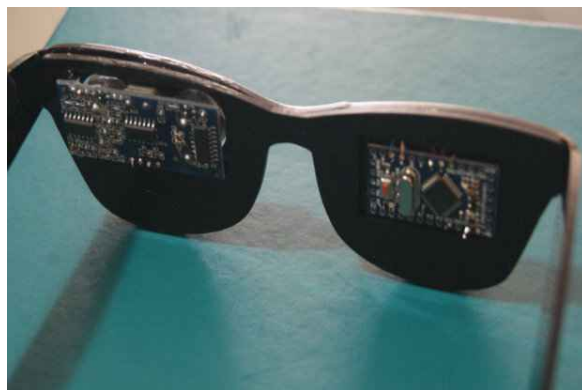


Figura 2.18: Óculos projeto PAW [9].

2.3 Trabalhos Relacionados

Após este histórico sobre *wearable*, iremos nos concentrar mais nos trabalhos acadêmicos que estão, de algum modo, mais próximos do nosso objeto de pesquisa. Fizemos um levantamento de vários trabalhos que se aproximam da ideia do protótipo que construímos.

Em ordem de publicação, começamos com um trabalho de 1973, intitulado “A laser cane for the blind”, que foi publicado descrevendo o uso de lasers para fazer uma triangulação que permitia detectar objetos a uma distância de até 3,5m. Apenas um objeto era detectado por vez e um aviso sonoro era dado [21]. Muitos trabalhos posteriores usaram essa ideia como base.

Já em 1991, um trabalho designado *Designing a personal guidance system to aid navigation without sight: progress on the GIS component* apresenta um modelo conceitual de um sistema pessoal de orientação (PGS) voltado para auxiliar deficientes visuais a se movimentarem mais livremente. Esse trabalho examina e propõe uma construção de um sistema de informação geográfica (GIS) que contenha informações relevantes para que seja possível locomover sem a visão [13].

Ainda em 1991, Goledge *et. al.* foram os primeiros a propor o uso de SIG/GIS (Sistema de Informação Geográfica), GPS (Sistema de Posicionamento Global), fala e sensores sônicos, para apoiar a locomoção de deficientes visuais [13]. Neste trabalho, o enfoque está no posicionamento e nada é feito para cuidar dos fatores dinâmicos da locomoção. Encontraram o problema de que, em ambientes fechados, o sistema de posicionamento não funcionava como o esperado.

Em 1996, o trabalho “*MOBIC: Designing a Travel Aid for Blind and Elderly People*” [22] apresenta um dispositivo que visa aumentar a independência do deficiente visual quando este se locomove em ambientes não familiares. A ideia é prover informações antes e durante o caminho. Estas informações são derivadas de GPS e irão ajudar o usuário com sua orientação e navegação. A orientação é feita a partir de um sintetizador de voz que informa sobre as relações espaciais entre a posição atual e as coisas ao redor ou em uma distância curta.

Em 1997, o artigo *Metronaut: A wearable computer with sensing and global communication capabilities* apresenta um protótipo que possui a finalidade de ajudar os visitantes do campus de CMU (*Carnegie Mellon University*). Vários códigos de barra foram postos

em lugares estratégicos por todo o campus. Ao ler estes códigos de barra, o protótipo infere sua posição no campus [23].

Em 1998, o artigo *A geographical information system for a GPS based personal guidance system* descreve um processo para construir um GIS para ser usado em tempo real por um deficiente visual [24].

Ainda em 1998, temos o artigo *Navigation system for the blind: Auditory display modes and guidance*. Nesta pesquisa um sistema de navegação para deficientes visuais é proposto. Objetivando criar um protótipo portátil que permita se locomover em segurança em ambientes conhecidos e desconhecidos sem ajuda de guias. O sistema consistia de um módulo que determina a posição e orientação no espaço, um GIS e uma interface ao usuário [25].

Helal et al., em 2002, publicaram o trabalho *"Drishti: An Integrated Navigation System for Visually Impaired and Disabled"* [10]. *Drishti* significa visão em uma antiga língua indiana Sânscrito. O trabalho propõe um protótipo de um sistema de navegação de pedestres sem fio. O trabalho integra várias tecnologias, incluindo computadores vestíveis, reconhecimento e síntese de voz. Faz uso de redes sem fio, Sistema de Informação Geográfica (GIS) e Sistema de Posicionamento Global (GPS). O deficiente visual é orientado, constantemente, pelo sistema e utilizando base de dados recebe auxílio sobre sua localização. Condições climáticas, de marcos sobre sua posição e sobre a rota são fornecidas em tempo real através de sinais de voz. Neste artigo consideram as mudanças dinâmicas do ambiente. Segundo Helal, o maior obstáculos para cegos e deficientes é se locomover em ambientes desconhecidos ou que tenha muitas interações dinâmicas. Os autores focaram seus esforços em tentar passar informações contextuais e dinâmicas do ambiente ao deficiente [10].



Figura 2.19: Drishti em uso [10].

Em 2002, na universidade de Verona, um trabalho fez uso de câmeras estereoscópica, lasers e um sistema sonoro que tentava mapear um ambiente visual 3D em um estímulo sonoro estereoscópico. O som gerado em fones de ouvido simulava a distância da fonte sonora de acordo com a posição do obstáculo. Este sistema foi projetado para ser implementado em dispositivos vestíveis como par de óculos equipados com duas microcâmeras e um PDA [26]. Perceberam neste trabalho que, apesar da ideia de transpor a posição dos objetos e representá-los como uma fonte sonora ser ótima, o deficiente visual faz muito uso da audição para perceber os fatores dinâmicos da locomoção. Suprir essas informações artificialmente e retirar os estímulos naturais do ambiente não fez com que o usuário se sentisse seguro.

Outro projeto recente CyARM [27] também usa computação vestível de baixo custo com sensores de ultrassom. Os sensores de ultrassom atuam como um transdutor que detecta o obstáculo mais próximo e faz uma variação na tensão de um fio acoplado a um cinto com tensão maior para um objeto mais próximo. Este trabalho lembra as novas bengalas com sensores que são vendidas e comercializadas com o nome de UltraCane.

Ainda em 2001, tivemos o artigo *GPS-Based Navigation Systems for the Visually Impaired* [28]. Em 2006, um artigo se diferencia de todos citados até então, pois seu foco é na visão e na visão computacional e não em sistemas de GIS/GPS *Bionic eyeglass: an audio guide for visually impaired*. O trabalho propõe o monóculo biônico, um *wearable* que "aconselha" os deficientes visuais no seu dia a dia. O objetivo específico do trabalho é comunicar os objetos ou situações reconhecidas [29].

Este projeto de navegação assistida de 2006, intitulado *Robot-Assisted Wayfinding for the Visually Impaired in Structured Indoor Environments*, apresenta um robô-assistente.

É um sistema que permite guiar uma pessoa por caminhos em um ambiente fechados estruturados. O sistema constituído por um robô guia e um pequeno sensor passivo RFID incorporado no ambiente. Este sistema foi elaborado pra funcionar em ambientes como escritórios, supermercados e aeroportos [30].

Em 2007, o trabalho *Wearable System for Mobility Improvement of Visually Impaired People, Wearable Obstacle Detection System for visually impaired People* apresenta um protótipo de detecção de obstáculo para deficientes visuais que utiliza vários sonares e motores de vibração para dar respostas tátil. Este sistema propõe aumentar a mobilidade do deficiente visual oferecendo novas habilidades sensoriais [31].

De 2008 é uma dissertação de mestrado da Universidade Federal de Pernambuco intitulada "VEYE: Um sistema de auxílio à navegação para deficientes visuais". Este trabalho faz um levantamento do estado-da-arte das tecnologias assistidas para deficientes visuais e é um dos melhores nesse aspecto quando comparados com todos os outros apresentados aqui [32].

Em 2009, na Universidade de Aveiro, a dissertação de mestrado intitulada "Localização de obstáculos para invisuais utilizando ultra-sons e técnicas de espacialização auditiva" abordou duas soluções baseada em ultrassom e substituição sensorial no plano visão-audição [33].

Ainda em 2009 um artigo *PREDATOR-The Blind Vision, mobile Assistant as a Navigational Aid for Blind Children to identify Landmarks* propõe uma forma de crianças com deficiência visual identificar marcos e poder ser mais autônoma durante situações emergenciais [34].

Em 2012, o artigo *Ultrasonic Spectacles and Waist-belt for Visually Impaired and Blind Person* apresenta um sistema de navegação eletrônico para deficientes visuais que, através de um cinto coberto de sensores ultrassom, capta obstáculos a uma distância de 5m. Para alertar o usuário, o protótipo, repete gravações de voz [35].

Em 2012, um trabalho brasileiro com o título "óculos sonar para deficientes visuais" construiu um protótipo de óculos para auxiliar o deficiente visual em suas atividades diárias, evitando possíveis colisões em obstáculos suspensos como orelhões e placas. O equipamento alertava o usuário utilizando um pequeno alto-falante com um potenciômetro que serve como um guia auditivo de distância. Quanto mais próximo do obstáculo, maior a frequência do sinal sonoro emitido no fone de ouvido [36].

Ainda em 2012, um trabalho brasileiro de graduação na área de Domótica, intitulado "SACCOB: Sistema de Alerta Contra Colisão com Obstáculos", desenvolve utilizando sensores nos obstáculos do ambiente e no usuário e com tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*) faz uma triangulação para encontrar as posições dos objetos e do usuário. Com essa posição, o sistema tem condição de encontrar o ponto do obstáculo mais próximo ao indivíduo e realizar testes de distância entre dois pontos. Caso o teste verifique que essa distância é menor que a distância mínima, é emitido um aviso sonoro utilizando um sintetizador de voz [37].

Em 2013, o artigo intitulado *Sensing the environment through SpiderSense* descreve o desenvolvimento do SpiderSense, mostrado na Figura 2.20, um vestível que faz pressão na pele através de motores servo. Essa pressão é feita a partir da distância de objetos que foram localizados pelos sensores de ultrassom. Neste trabalho, os alunos fizeram uso de treze sensores ultrassom, postos perto das articulações, na testa, no tórax e nas costas. Todos eles foram ligados a uma central presa na cintura. Todos os sensores

são postos dentro de pequenas caixas de acrílico e, dentro de cada um desses módulos, existem motores servos que produzem um torque que pressiona o usuário. Quanto menor a distância, maior o torque. Existe também uma central de processamento na qual saem treze cabos que vão até cada sensor e lá é feito todo controle dos sensores e dos motores. Os sensores enviam um sinal que é refletido pelo objeto. Esses dados são enviados para a central de processamento e, sabendo a velocidade do som e o tempo desta reflexão, é calculada a distância do objeto. Com essa distância faz-se um cálculo de inclinação do ângulo do motor servo. Esta inclinação é enviada para os motores servos que fazem pressão dando uma sensação de toque [11].



Figura 2.20: SpiderSense sendo testado [11].

Em 2013, um artigo intitulado *Multichannel ultrasonic range finder for blind people navigation* apresenta um sensor de distância ultrassom multicanal desenvolvido para sistemas de navegação para pessoas com deficiência visual [38].

Ainda em 2013, temos o trabalho Brasileiro “Proposta de um aplicativo móvel para percepção de imagens estáticas por alunos com deficiência visual” que propõe uma forma alternativa, utilizando dispositivos móveis e telas sensíveis ao toque e respostas vibratórias, para ensinar abstração de primitivas gráficas no contexto de formas geométricas [39].

Em 2015, pesquisadores do *MIT Media Laboratory* construíram um protótipo de um dispositivo, apresentado na Figura 2.21, para ser usado por deficientes visuais, montado em um anel com uma câmera embutida que converte texto em áudio. Este dispositivo produz uma resposta, tátil ou audível, que guia o dedo do usuário ao longo da linha do texto e o sistema gera o áudio correspondente em tempo real [40].

2.4 Considerações Finais

Como vimos, muitos esforços e pesquisas foram e estão sendo feitos para atacar o problema da dificuldade de locomoção enfrentada pelos deficientes visuais. Técnicas usando



Figura 2.21: Protótipo de leitura para cegos - Fingerread [12].

posicionamento de GPS, mapas locais em códigos de barra, sensores embutidos que emitem avisos sonoros, entre outros. Alguns preocupando-se com o posicionamento e outros com os objetos dinâmicos do meio. Todos eles serão válidos para a nossa pesquisa que faz uso das análises ricas e soluções encontradas para compreendermos melhor nosso objeto de estudo.

Neste capítulo, vimos o que é a computação vestível, como ela evolui, quais foram os principais campos de atuação e como ela se envolveu na melhoria da locomoção e acessibilidade de deficientes visuais. Vimos os principais trabalhos internacionais e nacionais neste tema. No próximo capítulo, iremos focar no nosso protótipo, construção e implementação dos seus diversos softwares e hardwares e como eles interagem entre si e com o meio.

Capítulo 3

Sistema Proposto

Neste capítulo apresentamos nossa proposta de solução para o problema da locomoção e alerta de deficientes visuais usando computação vestível. Descrevemos o software e o hardware propostos, bem como o processo e escolhas que fizemos.

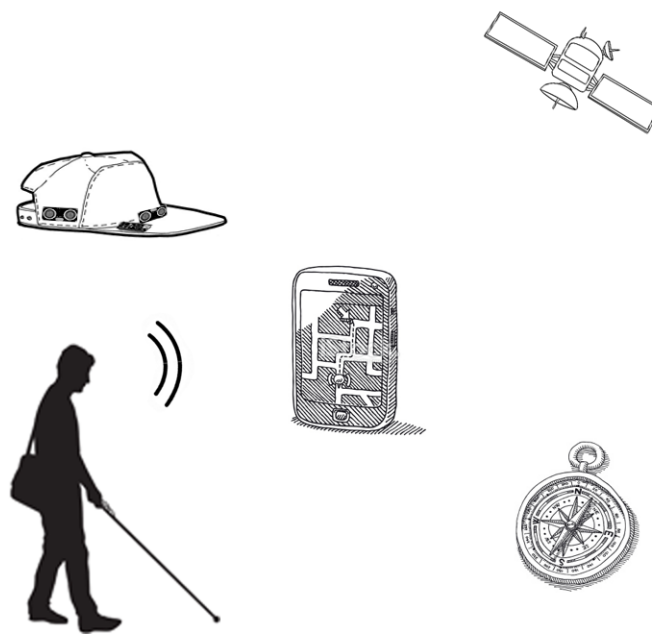


Figura 3.1: Visão geral dos componentes do projeto

O objetivo deste projeto foi propor um sistema de alerta que indique ao usuário deficiente visual situações de perigo de impacto iminente da sua cabeça com qualquer objeto. Outro objetivo proposto foi permitir a orientação espacial do usuário, de modo que ele possa atingir um determinado ponto de destino seguindo os sinais vibratórios indicados pelo sistema. Sistemas baseados em navegação e alertas por sinais sonoros (bips) ou mesmo voz já foram propostos. Porém, podem ser extremamente desagradáveis, tanto ao cego quanto às pessoas que se encontram próximas. Além de poderem ter seus avisos encobertos pelos sons e ruídos do ambiente. A proposta de usar um sistema de direci-

ornamento e alerta baseado em sinais vibratórios vem tentar suprimir essas dificuldades, utilizando a tecnologia de computação vestível.

O sistema de computação vestível proposto foi composto de um boné com três sensores de proximidade, quatro motores de vibração, uma interface bluetooth e um Arduíno para o controle. O sistema completo inclui ainda um dispositivo móvel baseado no sistema Android. Dois softwares foram desenvolvidos para que o sistema pudesse funcionar conforme concebido.

Um programa comanda o Arduíno que faz leituras das distâncias de qualquer objeto que possa estar bastante próximo ou se aproximando rapidamente do usuário. Caso alguma dessas duas situações ocorram, um alerta vibratório, localizado na direção do sensor que detectou o perigo, será emitido.

O outro software produzido poderá ser executado em qualquer dispositivo portátil que suporte o sistema operacional Android, possua bússola, GPS e interface bluetooth, tais como os atuais *smartphones*. Este aplicativo faz leitura da posição atual e do ponto de destino por GPS. Usando a leitura da bússola, calcula a direção necessária para que posicionemos o usuário na direção do destino. Envia então sinais via bluetooth para o boné que irá acionar os motores, que vibrarão com o objetivo de informar ao usuário qual a direção a ser seguida. O usuário deverá, então, se posicionar na direção indicada. Uma vez posicionado corretamente, o sinal de vibração enviado para o boné é cessado.

Após essa breve descrição do sistema proposto, iremos nos focar em como as partes foram implementadas e seu funcionamento em conjunto.

3.1 Hardware do Sistema Embarcado

O boné construído é composto por um Arduíno Nano V3 alimentado por duas baterias de lítio de 4.5V e 380 mAh. O Arduíno é responsável por controlar todos os outros componentes e a comunicação via bluetooth entre o boné e o *smartphone*. Todas as ligações entre o Arduíno e os outros módulos foram feitas utilizando um cabo flat colorido de 20 vias. Foram usados os módulos de ultrassom HC-SR04 e o módulo Bluetooth HC-06. O módulo de motor de vibração foi construído utilizando método caseiro de construção de placa de circuito impresso.

A Figura 3.2 apresenta o diagrama do sistema embarcado proposto.

Os módulos que merecem maior destaque são o módulo de ultrassom, usado para calcular a distância entre o usuário e o objeto, e o módulo de motor de vibração, usado para emitir o estímulo tátil.

O módulo de ultrassom funciona emitindo um pulso de som (*trigger*) que é refletido pelos objetos. O som refletido (eco) é captado pelo sensor que gera um sinal para o Arduíno. O tempo entre a emissão e recepção (*time of flight*) é usado para calcular a distância entre o emissor do som e o objeto que o refletiu.

A tecnologia de medir distâncias através do ultrassom se baseia no pressuposto que a onda sonora possui uma velocidade relativamente constante no ar. O tempo entre a emissão do pulso pelo módulo de ultrassom e a captação, pelo sensor, do eco gerado pela colisão com o objeto módulo, é, portanto, proporcional à distância entre o módulo e o objeto.

O sensor de ultrassom não consegue medir distâncias muito curtas. Quando um objeto está muito próximo do sensor, as ondas são refletidas antes mesmo do sensor completar a

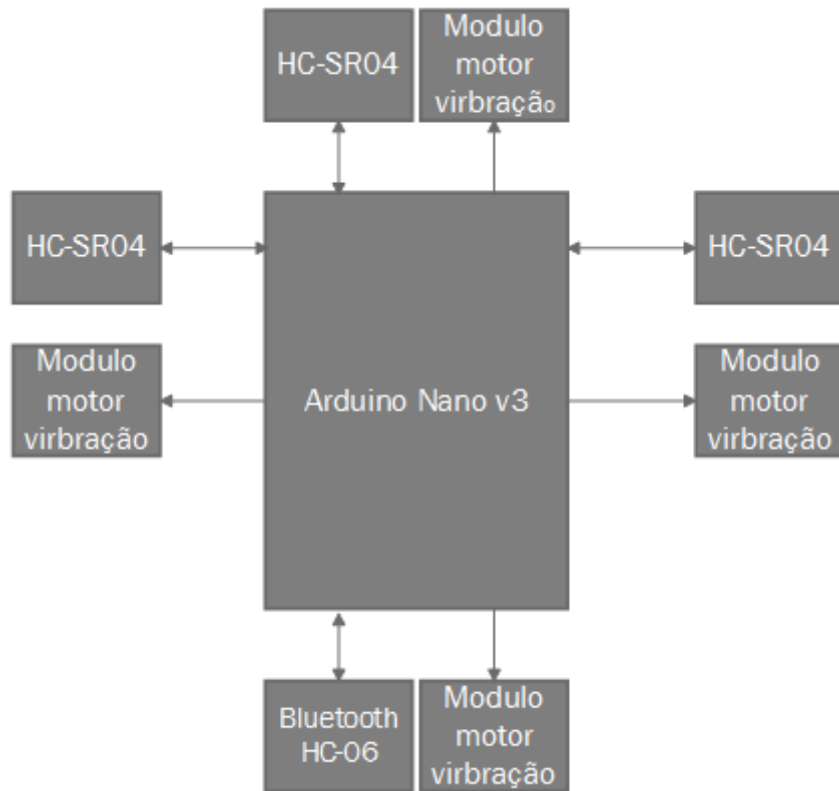


Figura 3.2: Diagrama de blocos do hardware do sistema embarcado no boné

geração do pulso de ultrassom. O sensor, então, não é capaz de receber o eco e calcular a distância com acuracidade. Esta distância é chamada de ponto cego. No outro extremo, de objetos que estão muito distantes, também existem dificuldade nas medidas. Isto ocorre devido ao sensor monitorar o retorno do sinal de eco apenas por um período limitado de tempo. Caso o tempo de reflexão seja muito alto, o sensor para de monitorar o sinal de retorno e despreza a medida. Além do fato que, quanto maior a distância do objeto, menor será a intensidade do sinal de eco recebido, dificultando a detecção pelo sensor.

No projeto, foi utilizado o sensor ultrassônico modelo HC-SR04. Este sensor é capaz de medir distâncias entre 2cm e 5m com boa precisão. O módulo possui um circuito com emissor e receptor de ultrassom acoplados e 4 pinos (VCC, Trigger, ECHO, GND) para interfaceamento. Para realizar uma medição, é necessário alimentar o módulo e colocar o pino Trigger em nível alto por mais de $10 \mu s$. Assim o sensor emitirá um pulso sonoro que, ao encontrar um obstáculo, refletirá e voltará em direção ao módulo. Durante este tempo de emissão e recebimento do sinal, o pino ECHO fica em nível alto. Logo, o cálculo da distância pode ser feito de acordo com o tempo em que o pino ECHO permaneceu em nível alto após o pino Trigger ter sido colocado em nível alto. A distância do objeto pode, então, ser calculada por

$$d = \frac{t_{ECHO} \times v_c}{2} \quad (3.1)$$

onde t_{ECHO} é o tempo em que o sinal ECHO permanece em nível alto e v_c é a velocidade do som no meio. A velocidade do som no ar, ao nível do mar e à temperatura de $25^\circ C$ é

de 346,3 m/s, logo o resultado é obtido em metros se considerado o tempo em segundos. Na equação Eq. 3.1, a divisão por 2 deve-se ao fato de que a onda é enviada e refletida, percorrendo 2 vezes a distância procurada.

A Figura 3.3 apresenta o desenho do circuito montado em *proto-board*, durante a fase de desenvolvimento.

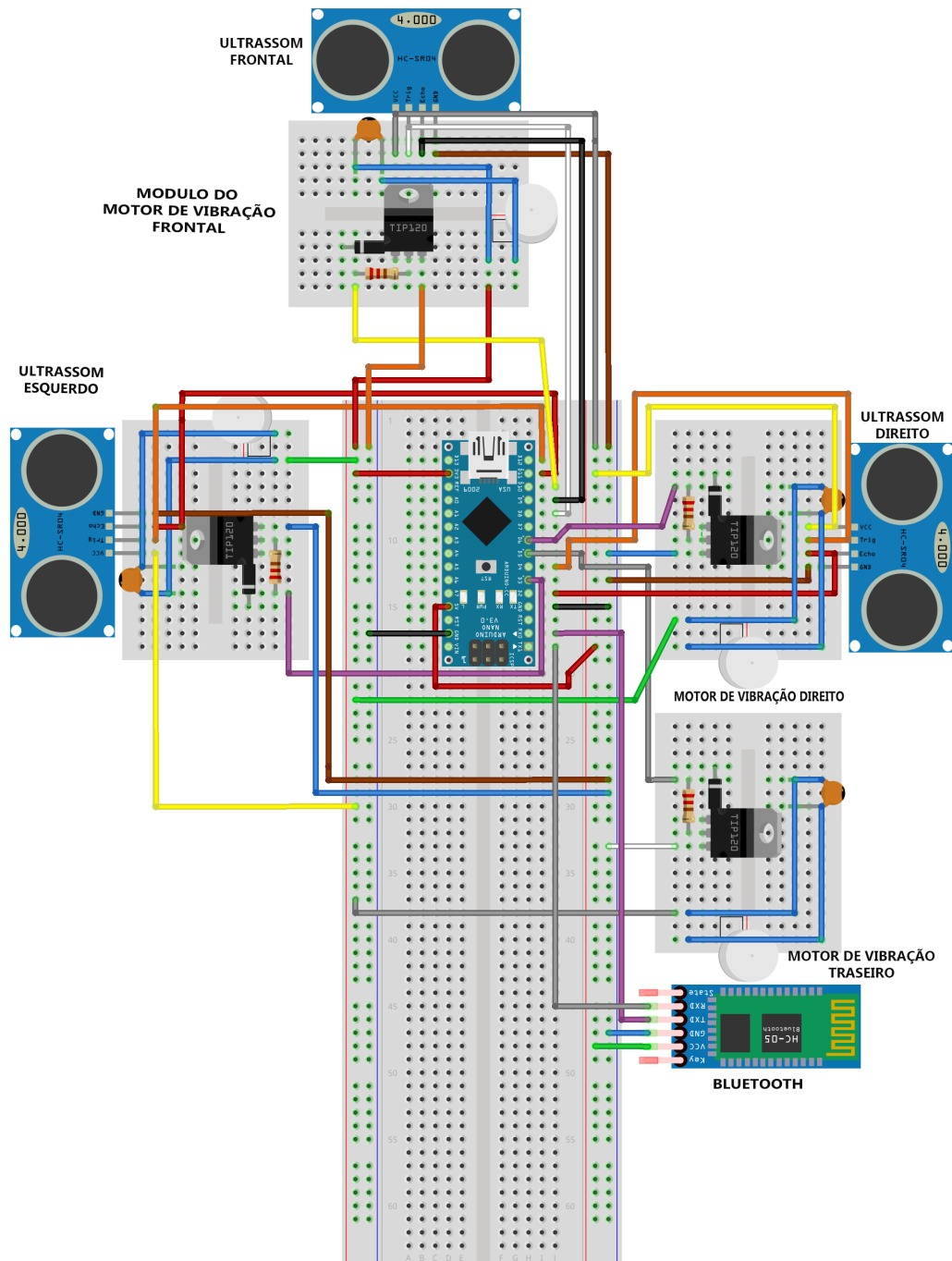


Figura 3.3: Diagrama físico do hardware do boné

Nesta Figura 3.3, podemos visualizar de forma mais concreta o sistema proposto que será embarcado no boné. O módulo de processamento é baseado no Arduino, mostrado no centro da figura. Pode-se visualizar também o posicionamento relativo dos três módulos de

ultrassom e dos quatro módulos de acionamento de motores, além do módulo de interface bluetooth.

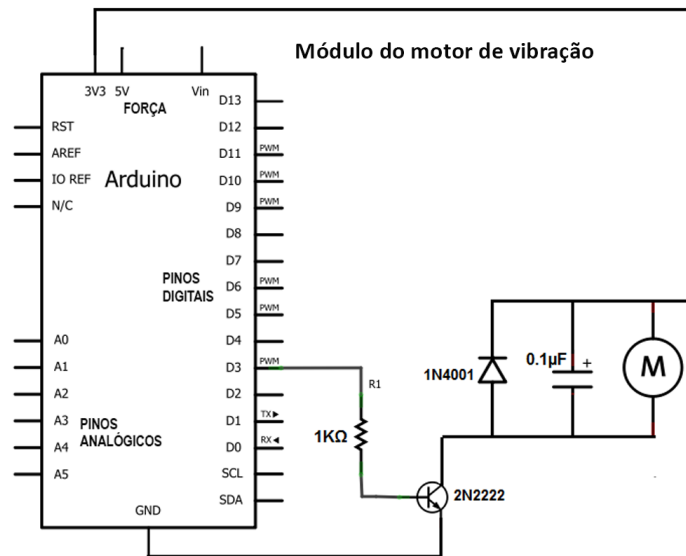


Figura 3.4: Diagrama do módulo do motor de vibração

Na Figura 3.4 apresentamos o modelo esquemático do módulo do motor de vibração, *driver*. Este módulo é necessário para acionarmos os motores de vibração utilizando uma fonte de energia que não passe pelo circuito do Arduino. Serve, de forma resumida, para proteger o Arduino e os outros dispositivos no momento que os motores são acionados.

3.2 Software do Sistema Embarcado

O software desenvolvido para o boné funciona em um laço infinito, conforme mostrado na Figura 3.5.

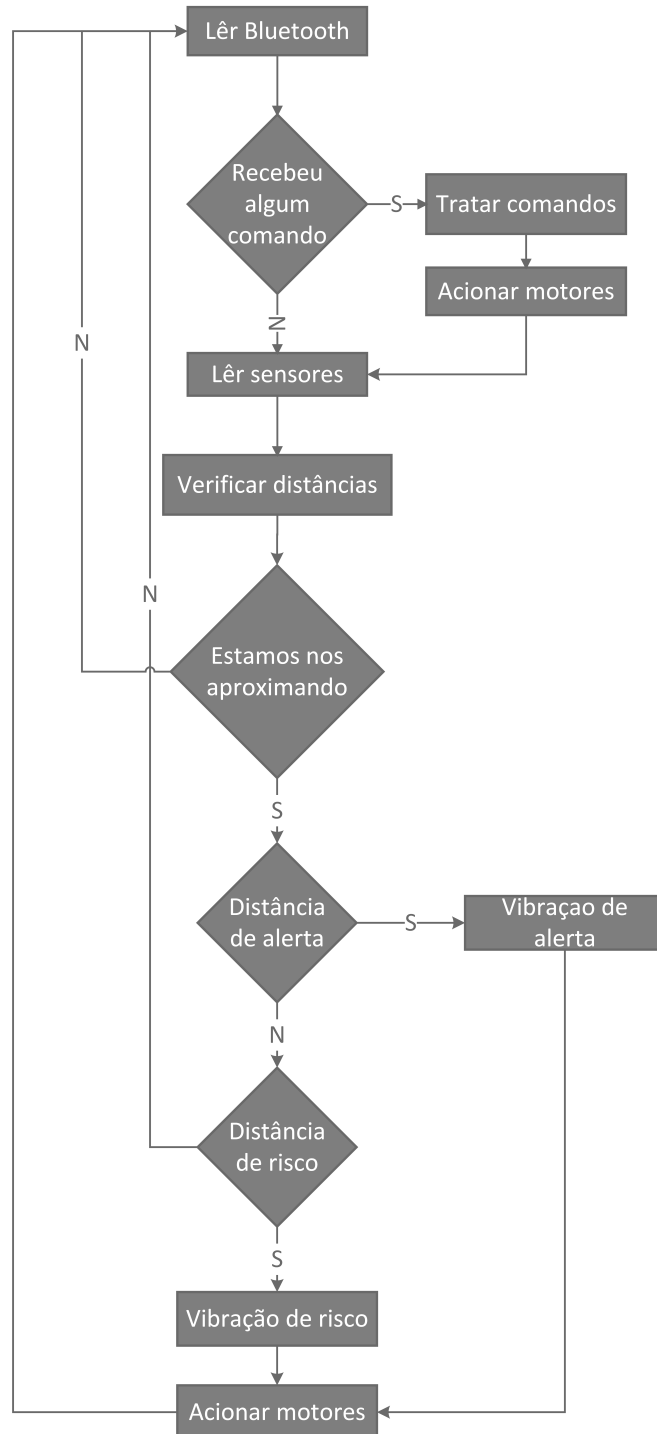


Figura 3.5: Diagrama de bloco do software embarcado no boné

No bloco "Ler Bluetooth", checamos se algo foi escrito pela aplicação do dispositivo móvel na porta serial. Como entrada deste bloco é esperado um número inteiro que corresponde a quais motores deverão ser acionados.

No bloco "Tratar comandos", caso algo tenha sido escrito e faça parte da lista de comando de acionamento dos motores, chamamos a função responsável para acionar o motor especificado.

No bloco "Acionar motores", os motores indicados pela aplicação no dispositivo móvel serão efetivamente acionados.

No bloco "Ler sensores", fazemos a leitura das distâncias frontal, lateral esquerda e lateral direita. Essa leitura é feita pelos sensores de ultrassom. Para cada distância são feitas 5 medidas, descartados os erros, e calculada a média aritmética desses valores.

No bloco "Verificar distâncias", a distância lida é comparada com a distância lida anteriormente. Fazemos isso para saber se estamos nos aproximando do objeto, se estamos parados em relação a ele ou se estamos nos afastando dele.

No bloco "Acionar motores", acionaremos os motores caso a distância seja menor ou igual à distância configurada para ser a distância de alerta (90 cm) ou caso seja menor ou igual à distância configurada para ser a distância de risco (15 cm). A diferença entre os dois avisos está na potência de acionamento dos motores e no fato de que, enquanto o objeto estiver entre as duas distâncias (90-15 cm), o aviso não é contínuo e o alerta só será repetido caso a distância entre o usuário e o objeto diminua em 10 cm. Dessa forma, caso o objeto se mantenha parado ou se distancie em relação ao usuário, novos alertas não serão feitos.

3.3 Software do Dispositivo Android

A Figura 3.6 apresenta o diagrama em blocos do sistema de software que está sendo executado no dispositivo Android.

O aplicativo para Android que interage com o boné funciona da seguinte forma: em "Conecta com boné via Bluetooth", validamos se é possível executar o software no dispositivo, isto é, se o dispositivo presente possui bluetooth, GPS, bússola.

O sistema proposto verifica, inicialmente, se o dispositivo Android possui todos os recursos necessários, isto é, Bluetooth, GPS e bússola.

Feito os testes iniciais, a busca por dispositivos bluetooth próximos e que já tenham sido pareados é realizada. Caso algum dispositivo conhecido seja encontrado, uma conexão é iniciada. Caso nenhum dispositivo pareado se encontre presente, uma lista de dispositivos bluetooth é apresentada para que o usuário escolha a qual gostaria de se conectar.

Uma vez estabelecida a conexão do dispositivo Android com Arduíno no boné, as variáveis correspondentes à posição atual e destino final são atualizadas no bloco "Marca Posição Final".

A direção é calculada com base no ponto atual e do destino, seus rolamentos e o azimute. Todas essas informações são coletadas utilizando a API `location` nativa do Android.

Para entender melhor como atualizamos a direção e recalculamos o ângulo da direção a ser seguida precisamos entender um pouco de como a pilha de software que trata essas informações funciona.

A API `location` é uma pilha de software que nos fornece as classes e *frameworks* que definem o sistema base e serviços relacionados à localização do Android.

Sempre que houver uma alteração nos dados dos sensores, um evento é gerado. Se esse evento for do tipo (`ROTATION_VECTOR`, `MAGNETIC_FIELD` ou `ORIENTATION`), significa que houve alteração no azimute, logo o atualizamos.

O valor de retorno do sensor pode variar entre 0 e 359 ele representa do azimute, ângulo entre o norte magnético e o eixo y em torno do eixo z como mostrado na Figura 3.7. O valor 0 representa o Norte, 180 o Sul, 90 Leste e 270 Oeste.

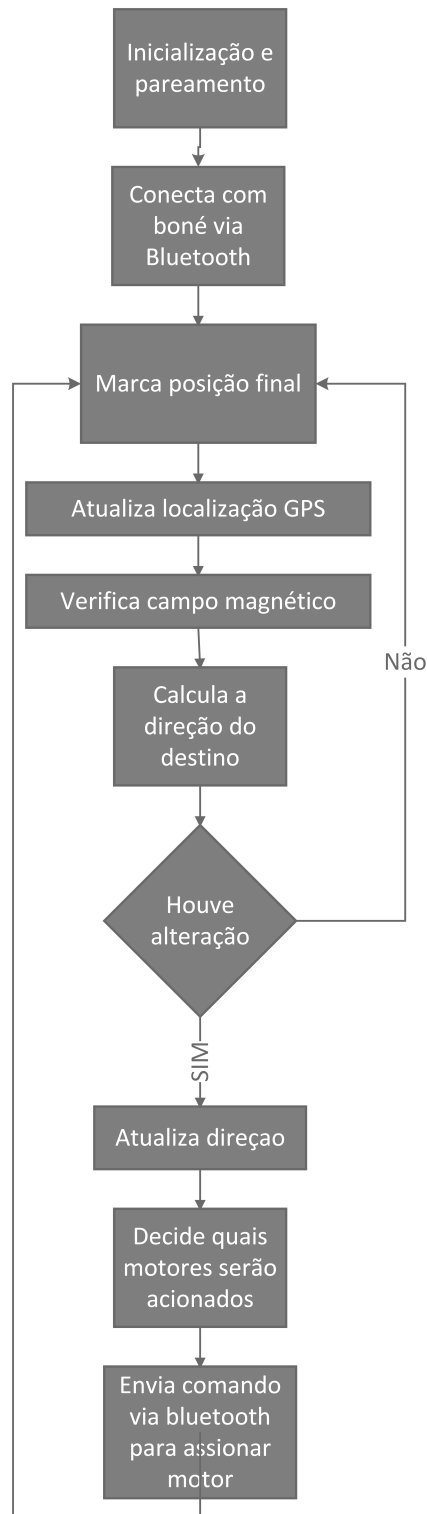


Figura 3.6: Diagrama de bloco do aplicativo para Android

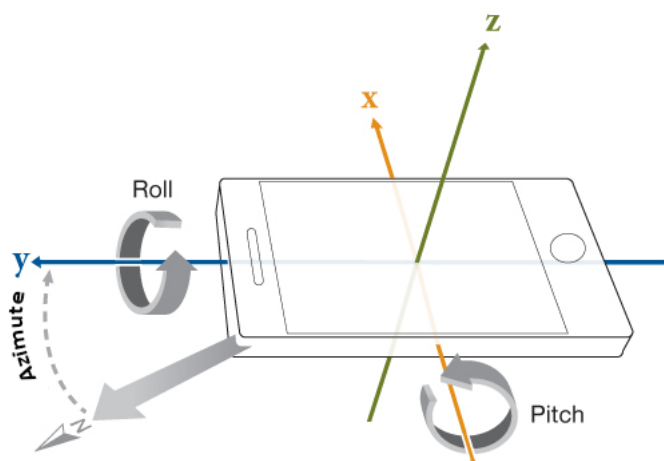


Figura 3.7: Azimute em relação aos outros eixos

Sempre que o valor do azimute ou coordenadas for atualizado, atualizamos também o valor do rumo (*Bearing*). Isso é feito utilizando as coordenadas dos dois pontos (origem e destino) como parâmetros de entrada do método `bearingTo` presente na API `Location`. Este método retorna o rumo, em graus leste do norte verdadeiro, para o caminho mais curto entre estes dois pontos.

O valor do azimute usa como referencial o norte magnético e o retornado pelo método `bearingTo` utiliza o norte verdadeiro. Para calcularmos o apontamento temos que escolher qual norte iremos trabalhar e fazer a devida conversão.

Convencionamos trabalhar com o norte verdadeiro, então, sempre convertemos o valor do azimute para o norte verdadeiro. Essa conversão é feita adicionando a declinação magnética que é coletada do objeto `GeomagneticField` através do método `getDeclination`.

A direção é calculada pela equação

$$D_{APONTADA} = R_{PONTOS} - A_{TRANSFORMADO}, \quad (3.2)$$

onde $D_{APONTADA}$ é o valor que deve ser rotacionado, em graus leste do norte verdadeiro, para posicionarmos a frente do usuário voltada para o destino. R_{PONTOS} é valor de retorno do método `bearingTo` e este valor está em graus leste do norte verdadeiro. $A_{TRANSFORMADO}$ é o valor do azimute já em relação ao norte verdadeiro.

Para calcularmos o ângulo em graus, que devemos rotacionar para que fiquemos com a frente voltada para o destino. Então, transformamos o valor do rumo até a posição final, de forma que o resultado seja representado apenas com valores positivos. Retiramos, desta medida, o valor em graus do azimute. O resultado desta diferença representa em graus o quanto devemos rotacionar no sentido horário para que a frente do usuário esteja voltada para o destino.

A aplicação, com base no ângulo que deve ser varrido para se posicionar para o destino, calcula quais motores devem ser acionados e envia estes dados para o boné. Concluída estas etapas, a aplicação volta para o passo de leitura dos sensores de posição e direção.

A Figura 3.8 mostra a tela de operação do dispositivo Android.

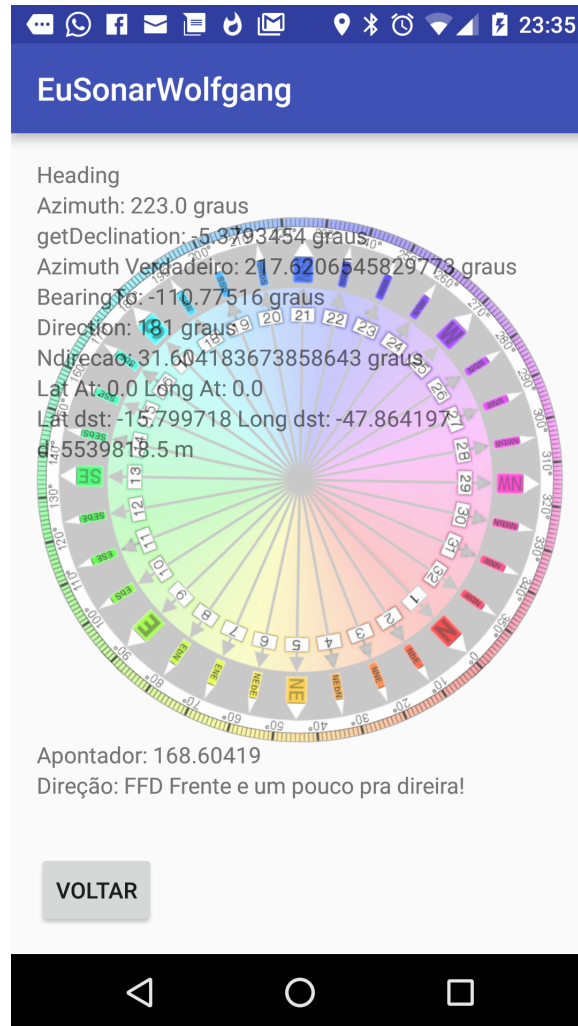


Figura 3.8: Foto da tela do aplicativo para Android

Pela figura, podemos ver todas as informações necessárias para calcular a direção com base nas informações coletadas pelos sensores. Obviamente, essas informações são para desenvolvimento e testes e não para uso do usuário final. Aqui $D_{APONTADA}$ foi calculado e aparece a frente de “Apontador”. É possível ver todas as informações necessárias para calcular o $D_{APONTADA}$. Enviamos $D_{APONTADA}$ para ser comparado com uma matriz de acionamento. O resultado dessa comparação gera um sinal que é transmitido via bluetooth ao boné para o acionamento dos motores.

Esta versão do EuSonar foi chamada de Wolfgang em homenagem a Wolfgang Amadeus Mozart pelo significado literal de seu nome “caminho do lobo” ou “que anda com lobo”, algo que remete aos deficientes visuais que usam cães guias, cães que exercem uma função semelhante à que nossa aplicação pretende um dia alcançar.

3.4 Considerações Finais

Neste capítulo, apresentamos nossa proposta de como atacar dois problemas que foram levantados como sendo cruciais para a locomoção de deficientes visuais. O primeiro

envolvendo tentar dar um pouco mais de confiança aos deficientes visuais quando estiverem se locomovendo, o que faremos gerando alertas quando algum objeto em condições de se colidir com o rosto for detectado. O segundo implica em apontar a direção a ser percorrida através de vibrações localizadas em regiões que representam essa direção.

No próximo capítulo, iremos mostrar como montamos estas ideias na forma de um protótipo vestível e também como realizamos os testes de laboratório que justificaram nossas escolhas, bem como as impressões que tivemos a partir dos testes realizados com os usuários.

Capítulo 4

Resultados Obtidos

Neste capítulo, apresentamos os resultados alcançados com a implementação do projeto. Esses resultados foram divididos em testes de laboratório, testes com usuários sem deficiência visual e testes com usuários com deficiência visual.

Os testes de laboratório são os testes dos módulos e partes do boné e do *smartphone*. Foram feitas várias medidas que serão usadas para justificar algumas configurações padrões, tais como alcance máximo escolhido para o boné, distâncias de alerta e força dos motores de vibração para os alertas. Aqui também observamos alguns aspectos como peso do protótipo, duração das baterias e resposta do boné aos comandos do Android.

Nos testes com usuário sem deficiência visual, tentamos terminar uma série de desafios com o intuito de testar a eficiência, eficácia e, no final, aperfeiçoar o protótipo antes que este seja testado com deficientes visuais.

Os testes com deficientes visuais servirão para verificar a usabilidade e eficiência do protótipo e se o mesmo atende as expectativas, se realmente é eficiente e para coletar sugestão de melhorias.

O boné atualmente pesa 0.223 kg. Possui duas baterias de 380 mAh.

A duração da bateria é cerca de 4 horas, com o sistema em seu consumo mínimo, isto é, sem estar conectado ao *smartphone* e acionando esporadicamente os motores. Em seu estado de maior consumo, com todos os motores ligados e conectado via bluetooth ao *smartphone*, a bateria apresenta uma duração de cerca de 30 minutos.



Figura 4.1: protótipo do boné visto de cima

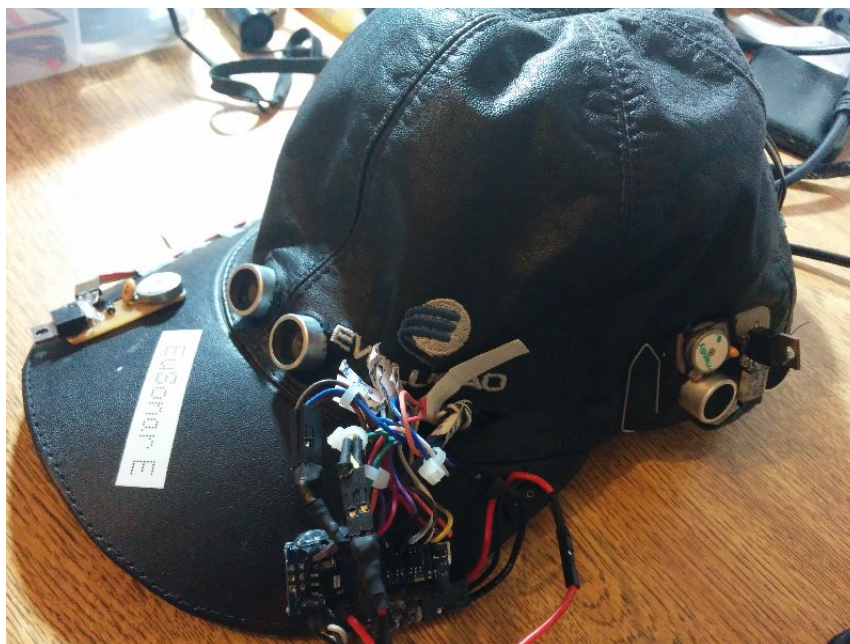


Figura 4.2: protótipo do boné visto lateralmente

O protótipo construído é mostrado na Figura 4.1 e na Figura 4.2.

4.1 Testes de Laboratório

Vários testes com o protótipo foram realizadas para verificar a percepção das vibrações de acordo com a potência de acionamento dos motores, precisão da medida dos sensores de ultrassom, duração das baterias, peso total do protótipo, distância do alcance da interface bluetooth e, também, de acordo com a sensibilidade da resposta à mudança de direção.

4.1.1 Testes dos Motores

A vibração que será sentida pelo deficiente visual é gerada através do controle de motores desbalanceados, estrategicamente posicionados no boné. O controle de cada motor é realizado de forma digital através da Modulação por Largura de Pulsos (PWM, do inglês *Pulse Width Modulation*). Esses pulsos controlam três características básicas da vibração de um motor, conforme mostrado na Figura 4.4

- Razão cíclica (*duty cycle*) do PWM: controla a potência entregue ao motor, isto é, a força com que o motor irá girar.
- Duração do Pulso: controla a duração de tempo em que os pulsos PWM serão aplicados ao motor, definindo a quantidade de tempo que o mesmo permanecerá vibrando.
- Quantidade de pulsos: controla a frequência de repetição de um pulso em um dado intervalo de tempo.

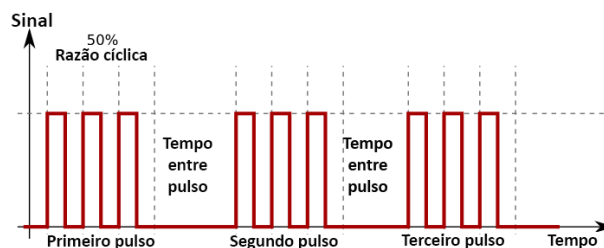


Figura 4.3: As três variáveis que controlam as vibrações do motor

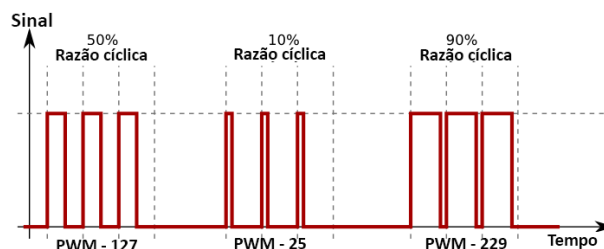


Figura 4.4: Variação da Razão cíclica

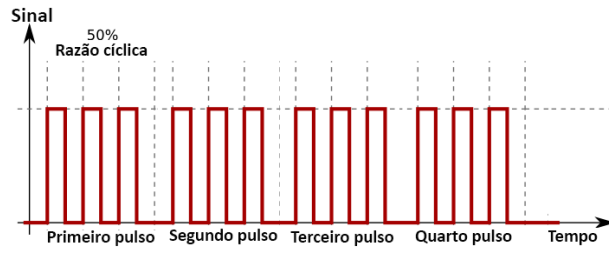


Figura 4.5: Variação do tempo entre os pulsos

Para testar e verificar a influência dessas características na vibração a ser sentida pelo usuário, três experimentos de bancada foram montados. Parte-se do princípio que a intensidade da vibração do motor já montado no boné que o usuário irá sentir pode ser estimada pela medida feita por acelerômetros posicionados no centro do boné, conforme apresentado na Figura 4.6

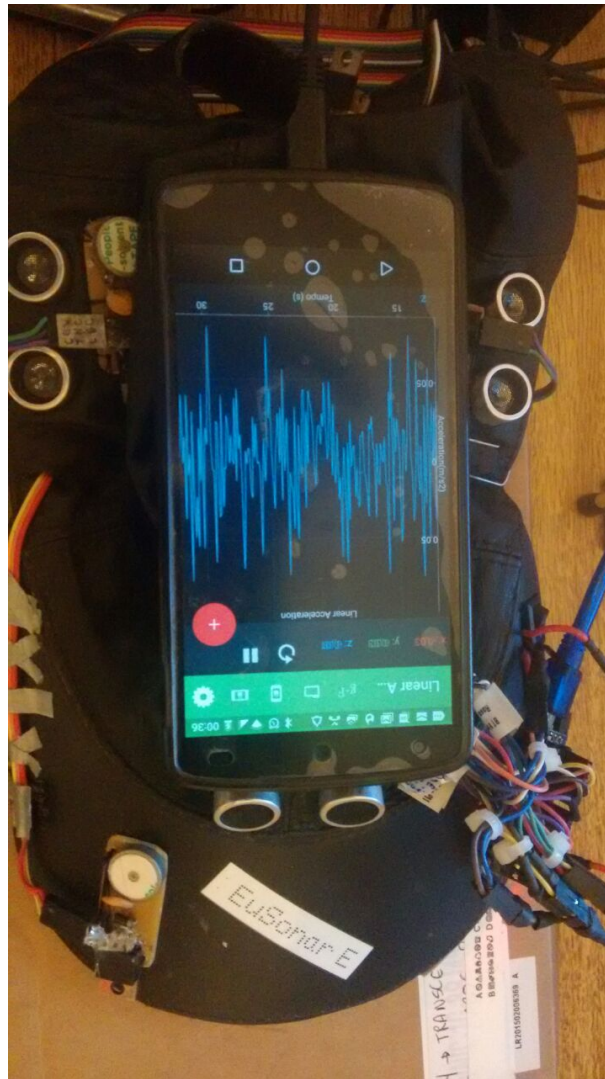


Figura 4.6: Coleta dos dados com acelerometro

```

void variacao_tempo_ligado_segundo_experimento()
{
    int tempo_ligado; /* tempo em milisegundo */

    int tempo_ruido = 10000;
    alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_DIREITO, 255, 1, tempo_ruido);
    delay(3000);

    for(tempo_ligado = 0; tempo_ligado <= 3000; tempo_ligado +=
        100)
    {
        alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_DIREITO, 100, 1, tempo_ligado);
        delay(1000);
    }
}

```

Figura 4.7: Procedimento do experimento de tempo de ligado

Para a realização das medidas apresentadas neste e nos próximos experimentos, foram testadas as leituras dos sensores acelerômetros de três diferentes *smartphones*, *LG 4*, *Nexus 5* e *Motor G*, com frequências de amostragens de 50Hz, 100Hz e 200Hz. O aparelho *Motor G* não atinge a frequência de amostragem de 100Hz. O aparelho em que obtivemos os melhores resultados para as leituras dos sensores acelerômetros foi o *Nexus 5*, com frequência de leitura de 200 Hz. Deste modo, serão apresentados apenas os resultados obtidos com as medições feitas por este dispositivo.

Entende-se que estas medidas não correspondem à real sensação percebida pelo usuário, uma vez que o crânio humano é capaz de sentir vibrações nas diferentes direções, enquanto nos testes dispomos de apenas um conjunto de sensores. Porém, os testes são muito úteis para definirmos parâmetros iniciais para o acionamento dos motores. Além de possibilitar a identificação das nuances devido às diferenças construtivas dos motores, mesmo sendo todos da mesma marca e modelo.

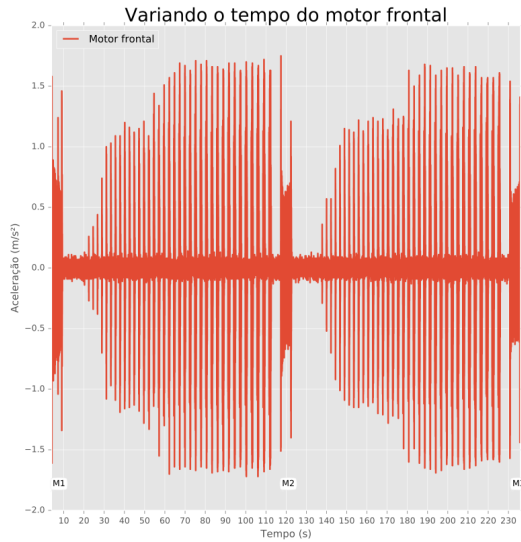
Teste da Duração dos Pulsos

Montamos um experimento que irá variar e medir automaticamente o tempo em que o motor permanece acionado, de forma a estimar os melhores tempos de pulso para os alertas.

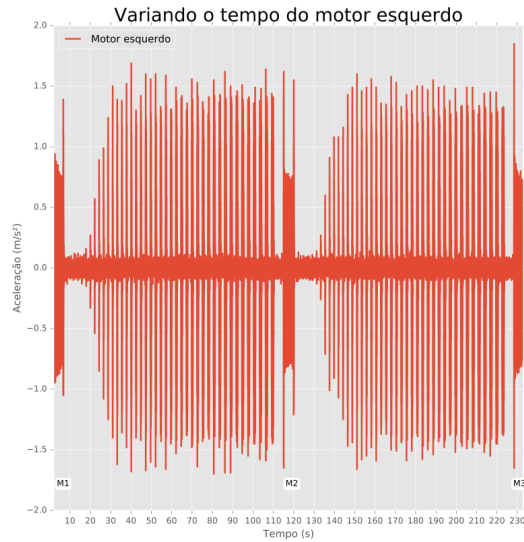
Pulsos muito curtos, isto é, tempos muito pequenos em que o motor permanece ligado, não são fáceis de ser percebidos por um usuário não acostumado ao equipamento. Por outro lado, pulsos muito longos são extremamente cansativos e perdem a capacidade de alertar sobre eventos que acontecem em pequenos intervalos de tempo.

Foi desenvolvida uma função em linguagem C, mostrada na Figura 4.7, que incrementa em 100 milissegundos o tempo que o motor fica ligado a cada iteração até chegar ao tempo máximo de 3 segundos, quando então um alerta não se torna mais eficaz devido ao longo período de tempo. Um intervalo de um segundo é dado entre um teste e outro. Iniciamos e terminamos os testes ligando o motor com PWM ao máximo. Isso ajuda a identificar os eventos na análise dos gráficos. Esta técnica será usada, também, nos outros experimentos.

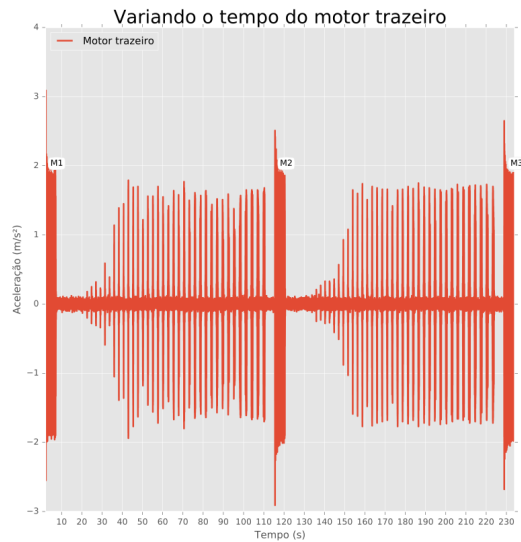
O experimento foi repetido para os quatro motores e os resultados obtidos são apresentados nas Figura 4.8. para o motor frontal 4.8a, lateral esquerdo 4.8b, traseiro 4.8c e lateral direito 4.8d, respectivamente.



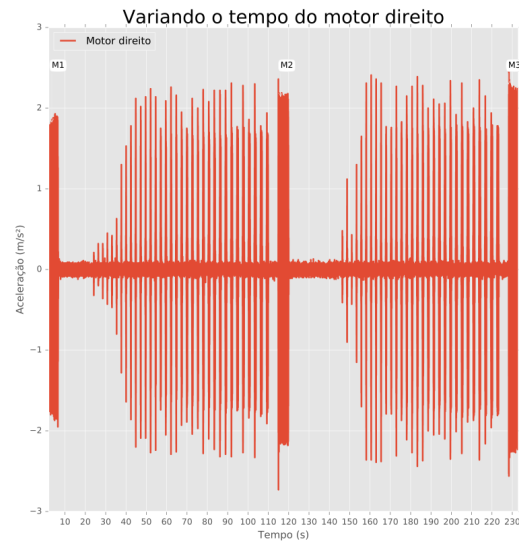
(a) Motor frontal.



(b) Motor esquerdo.



(c) Motor traseiro.



(d) Motor direito.

Figura 4.8: Comparação entre os motores para o teste de variação de tempo ligado.

É possível ver a comparação entre os motores através dos gráficos em 4.8. Note que, em 4.8a, o gráfico cresce de forma mais comportada quando comparado com 4.8c ou 4.8d. O motor frontal reage melhor aos comandos de incremento de tempo que os motores traseiro e direito. O motor esquerdo também se comporta bem aos incrementos de tempo. Todos os motores reagem diferentemente para os mesmos comandos. No caso do motor direito, é possível identificar em 4.8d que o mesmo motor reage de forma diferente ao mesmo

```

void testa_quantidade_pulsos()
{
    int tempo_ruído = 10000;
    alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_DIREITO, 255, 1, tempo_ruído);
    delay(3000);

    int qtd_pulsos; /* quantidade de vezes que o motor ira ligar */
    for(qtd_pulsos = 1; qtd_pulsos <= 10; qtd_pulsos++)
    {
        alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_DIREITO,
                          100, qtd_pulsos, 100);
        delay(3000);
    }
}

```

Figura 4.9: Procedimento do experimento da quantidade de pulsos

comando. Conseguimos identificar isso olhando como o gráfico do primeiro experimento para o motor direito é mais afunilado que o do segundo experimento. É possível perceber que, variando apenas o tempo, não conseguiremos tantos estados diferentes e que, a partir de certo ponto, todos eles respondem da mesma forma para valores bem distintos de variação de tempo.

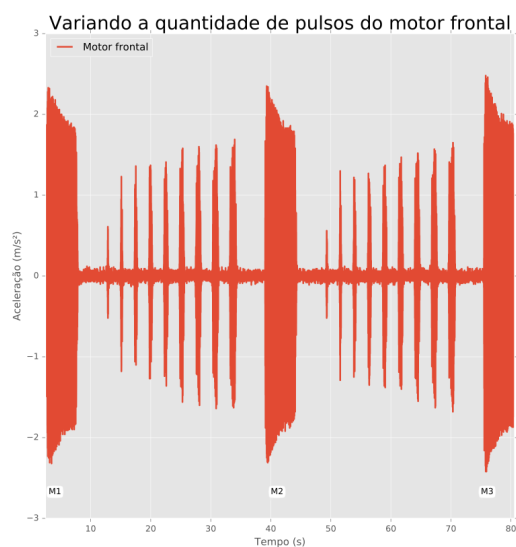
Neste experimento notamos, qualitativamente, que os pulsos mais “agradáveis” são criados quando usamos valores baixos para o tempo de ligado e desligado. Os valores encontrados, em milissegundos, que geram os pulsos mais agradáveis são: 50, 100, 150, 200, 250. Repetimos esse experimento diminuindo o espaço amostral de 3000 milissegundos para até 300 milissegundos e diminuimos, também, o passo incremental de 50 milissegundos para 25 milissegundos. E, para esse novo experimento, encontramos que os pulsos mais agradáveis são gerados para os valores de 25, 50, 75, 100, 125 e 150 milissegundos. Porém, como nem todos os motores reagem da mesma forma, evitamos usar os valores mais baixos. A partir de agora, usaremos o tempo mínimo de um pulso como sendo de 100ms para todos os outros experimentos desta seção.

Teste da Quantidade de Pulsos

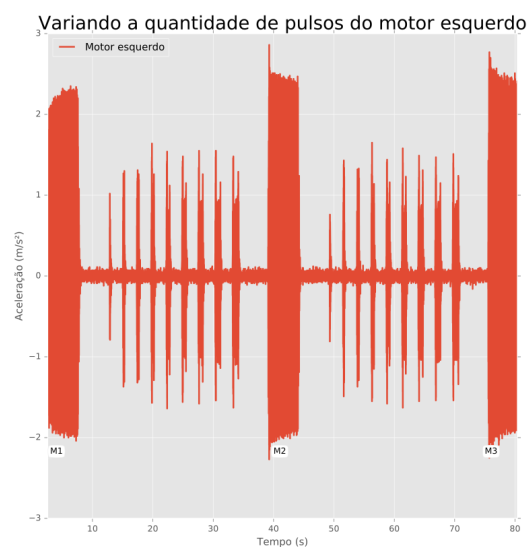
Os alertas vibratórios dados quando um objeto está muito próximo do usuário são formados por conjuntos de pulsos. Montamos um experimento para decidirmos a quantidade de pulsos que seria ideal para um alerta vibratório. O experimento mantém constante a potência (PWM) e os tempos ligado e desligado do motor de vibração. Na Figura 4.3, é mostrado um exemplo com 3 pulsos.

Começamos o experimento ligando os motores no máximo para criarmos marcos iniciais e finais de cada experimento. A seguir, a cada nova iteração, incrementamos a quantidade de pulsos conforme apresentado na Figura 4.9.

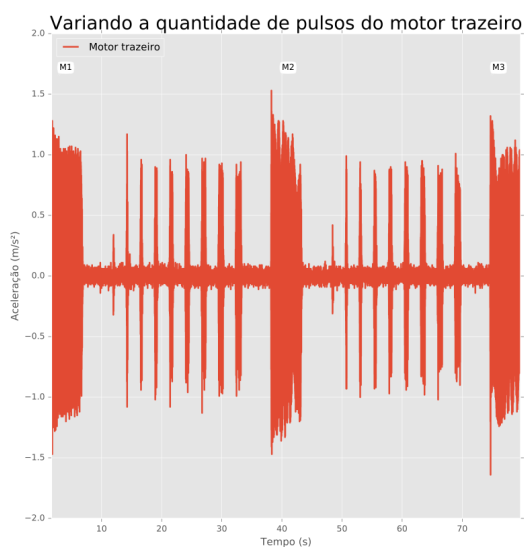
Na Figura 4.10a, apresentamos os resultados obtidos para o motor frontal. Na Figura 4.10b, para o motor esquerdo. Na Figura 4.10c, para o motor traseiro e, na Figura 4.10d, para o motor direito.



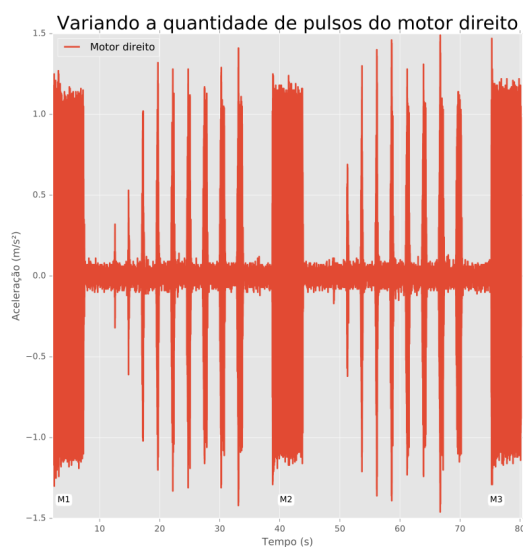
(a) Motor frontal.



(b) Motor esquerdo.



(c) Motor traseiro.



(d) Motor direito.

Figura 4.10: Comparação entre os motores para o teste de variação de quantidade de pulso.

Com esse experimento, percebemos que os alerta vibratórios devem ser compostos por conjuntos de 2 à 7 pulsos. Valores menores que 2 podem passar por despercebidos e maiores que 7 são muito intrusivos.

Na Figura 4.10, é possível ver a comparação dos resultados dos experimentos lado a lado. A granularidade para a variação de quantidade de pulsos é menor quando comparada com a variação do tempo do pulso. Aqui é quase impossível identificar mais de dois níveis. Para esta variação todos os motores responderam de forma bem parecida aos comandos.

```

void variacao_potencia()
{
    int tempo_ruído = 10000;
    alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_DIREITO, 255, 1, tempo_ruído);
    delay(3000);

    int potencia;
    for(potencia = 0; potencia <= 255; potencia += 5)
    {
        alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_DIREITO, potencia, 1, 100);
        delay(3000);
    }
}

```

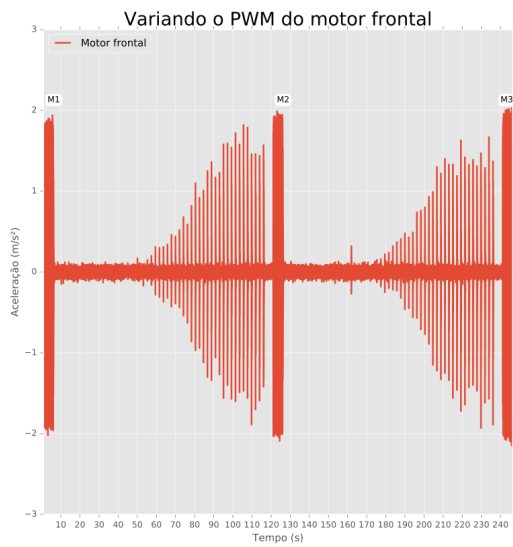
Figura 4.11: Procedimento do experimento da variação do PWM

Teste do PWM

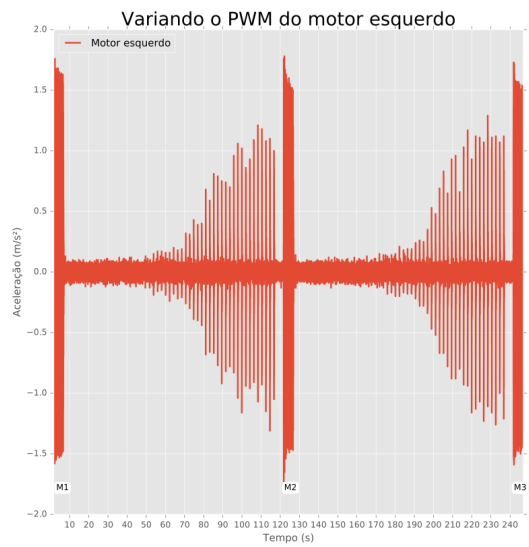
O próximo experimento analisará a variação da força das vibrações dos motores. A força de vibração é alterada quando variamos a potência do sinal entregue ao acionamento do motor pelo sistema PWM. Isso é feito alterando o valor do *duty cycle* da saída PWM (*Pulse Width Modulation*) do Arduino. Esse ciclo é representado por um valor que pode ser expresso utilizando inteiros do conjunto $[0, 255]$. Para o valor 0, temos um *duty cycle* de 0%, isto é, os motores não são acionados. Para o valor 255, temos um *duty cycle* de 100% e os motores estarão funcionando com sua força máxima. Podemos ver essa relação na Figura 4.4

Montamos uma função que varia o *duty cycle* incrementalmente a cada iteração por 5 unidades, até chegar à 255, conforme apresentado na Figura 4.11.

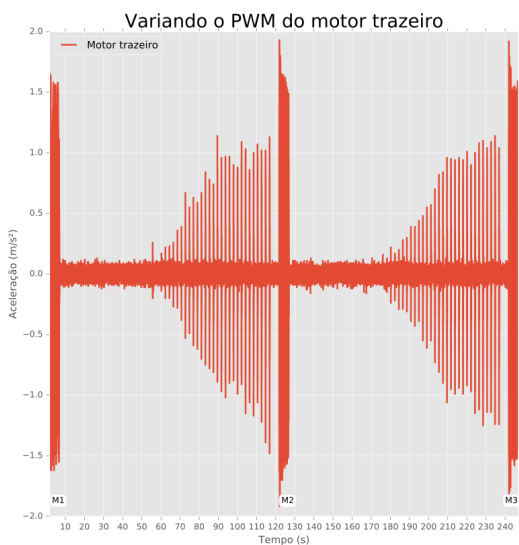
Na Figura 4.12a, apresentamos as medidas para o motor frontal. Na Figura 4.12b para o motor esquerdo, na Figura 4.12c para o motor traseiro e na Figura 4.12d do motor direito.



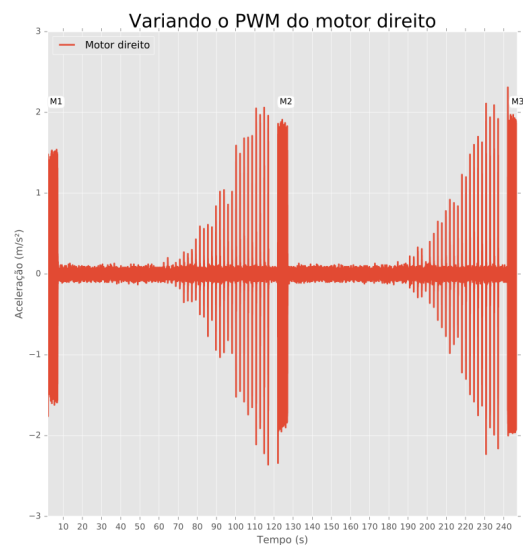
(a) Motor frontal.



(b) Motor esquerdo.



(c) Motor traseiro.



(d) Motor direito.

Figura 4.12: Comparação entre os motores para o teste de variação de potencia (PWM).

Na Figura 4.12 podemos ver este experimentos, repetido para os quatro motores, de forma comparativa, lado a lado. A granularidade para esta variação é maior quando comparada com os experimentos anteriores. É possível identificar um crescimento do gráfico à medida que aumentamos o PWM. Todos os motores reagiram de forma semelhante e, com essa variação, será possível construir um padrão que simule alertas para eventos que ocorram nas diagonais entre dois motores.

```

void variacao_motor_e_potencia()
{
    int tempo_ruído = 2500;
    alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_FRONTAL, 255, 1, tempo_ruído);
    alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_ESQUERDO, 255, 1, tempo_ruído);
    alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_TRAZEIRO, 255, 1, tempo_ruído);
    alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_DIREITO, 255, 1, tempo_ruído);
    delay(3000);

    int potencia;
    for(potencia = 0; potencia <= 255; potencia += 5)
    {
        alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_FRONTAL, potencia, 1, 100);
        delay(2000);
        alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_ESQUERDO, potencia, 1, 100);
        delay(2000);
        alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_TRAZEIRO, potencia, 1, 100);
        delay(2000);
        alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_DIREITO, potencia, 1, 100);
        delay(2000);
    }
}

```

Figura 4.13: Procedimento do teste de acionamento sequencial dos motores

Teste Rotação da Posição

A fim de verificar se é possível distinguir a variação na vibração dos motores seguindo uma ordem sequencial, este teste de rotação foi elaborado.

Neste experimento, o mesmo comando é dado para todos os motores, isto é, mesmo tempo de pulso e número de pulsos. Acionamos primeiramente o motor frontal, a seguir o motor esquerdo, depois o traseiro e, por último, o motor direito é acionado em sequência. A potência (PWM) é incrementada em 5 unidades e é repetido o processo até que todos os motores estejam funcionando na potência máxima (255), de acordo com a Figura 4.13.

A Figura 4.14 apresenta o gráfico obtido pelos sensores acelerômetros para este teste de acionamento sequencial dos motores com incremento da potência em dois experimentos consecutivos.

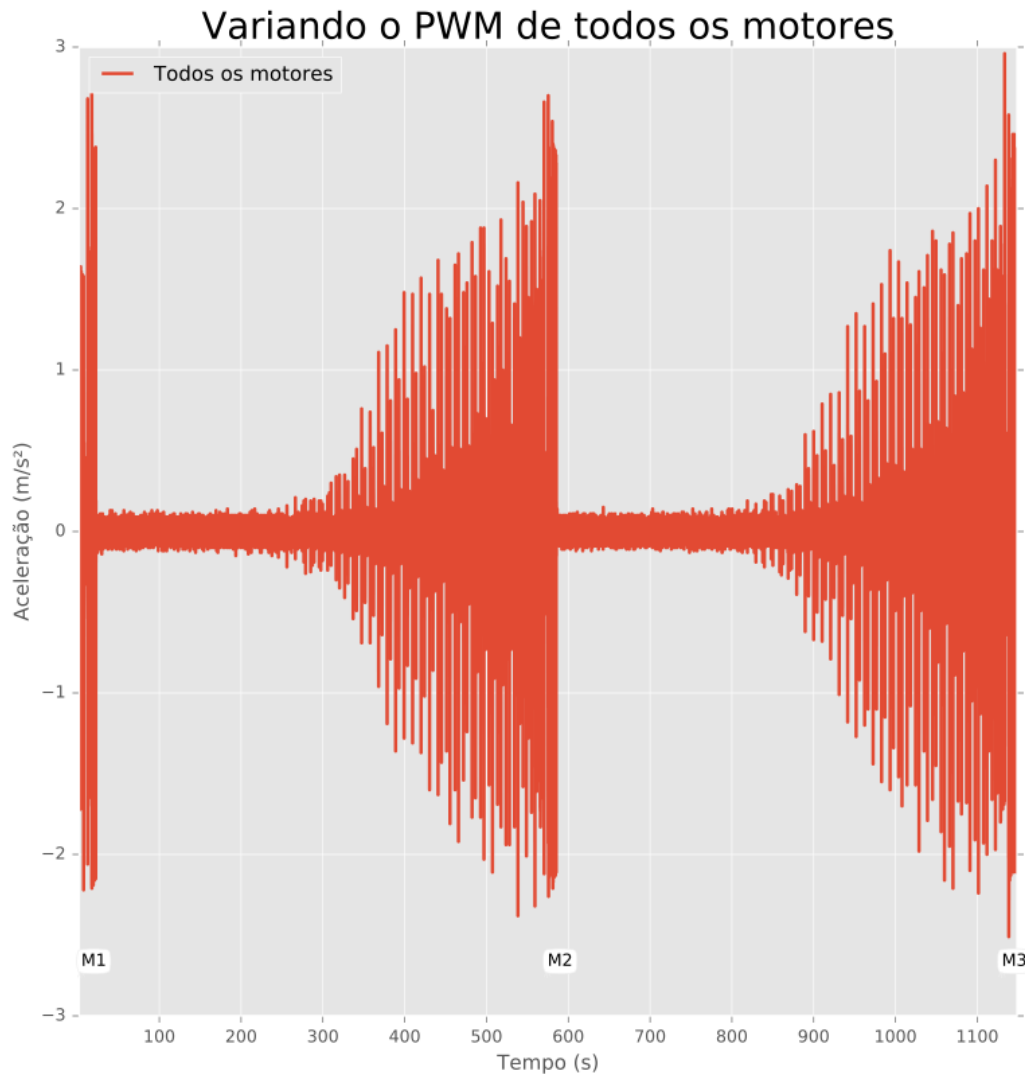


Figura 4.14: Experimento comparativo entre as variações das potências dos motores

Percebe-se que os 4 motores respondem de maneira adequada à variação do PWM, e o sensor localizado na região central do boné consegue captar de maneira homogênea a variação sequencial do acionamento dos motores. No entanto, ainda percebe-se que alguns motores respondem melhor que outros à variação da potência, conforme observado na seção 4.1.1.

Teste de Orientação

Para testar como os motores poderiam alertar as diferentes mudanças de posição enviadas pelo Android, criamos um teste que coloca o motor frontal em funcionamento ao máximo, diminuimos sua potência em 5 unidades e aumentamos a potência do motor lateral esquerdo em 5 unidades. Repetimos esse processo até que o motor frontal estivesse

completamente desligado e o motor lateral esquerdo estivesse em sua potência máxima. Passamos para o próximo par de motor, no caso, esquerdo e traseiro. Repetimos esse teste para todos os pares de motor até que chegamos ao motor direito e frontal, conforme descrito na Figura 4.15.

O resultado deste experimento é mostrado na Figura 4.16. As anotações Ms são os marcos que criamos para identificar início e término de experimento. Estes marcos foram criados ligando o motor frontal na potência máxima por 2500 ms, a seguir, o motor esquerdo é acionado na potência máxima, também por 2500 ms; e repetindo esse processo até que todos os motores tenham sido executados. A anotação M1 marca o início do experimento 1. A anotação M2 marca o fim do experimento 1 e início do experimento 2. A anotação M3 marca o fim do experimento 2. A anotação “Fr -> Es” marca a variação de potência entre o motor frontal e o motor esquerdo. A anotação “Es -> Tr”, entre o motor esquerdo e o traseiro; “Tr -> Di”, entre o traseiro e o direito; e finalmente “Di -> Fr”, a variação entre o motor direito e o frontal.


```

void variacao_motor_e_potencia_em_fluxo()
{
    int tempo_ruído = 2500;
    alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_FRONTAL, 255, 1, tempo_ruído);
    alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_ESQUERDO, 255, 1, tempo_ruído);
    alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_TRAZEIRO, 255, 1, tempo_ruído);
    alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_DIREITO, 255, 1, tempo_ruído);
    delay(3000);

    int potencial, potencia2, estado;
    estado = 0;
    for(potencial = 255, potencia2 = 0;
        potencial >= 0 && potencia2 <= 255;
        potencial -= 5, potencia2 +=5 )
    {
        alerta_vibratorio_dois_sensores(PIN_MOTOR_FRONTAL,
            potencial,
                                     PIN_MOTOR_ESQUERDO,
                                     potencia2,
                                     1, 100);
    }
    for(potencial = 255, potencia2 = 0;
        potencial >= 0 && potencia2 <= 255;
        potencial -= 5, potencia2 +=5 )
    {
        alerta_vibratorio_dois_sensores(PIN_MOTOR_ESQUERDO,
            potencial,
                                     PIN_MOTOR_TRAZEIRO,
                                     potencia2,
                                     1, 100);
    }
    for(potencial = 255, potencia2 = 0;
        potencial >= 0 && potencia2 <= 255;
        potencial -= 5, potencia2 +=5 )
    {
        alerta_vibratorio_dois_sensores(PIN_MOTOR_TRAZEIRO,
            potencial,
                                     PIN_MOTOR_DIREITO,
                                     potencia2,
                                     1, 100);
    }
    for(potencial = 255, potencia2 = 0;
        potencial >= 0 && potencia2 <= 255;
        potencial -= 5, potencia2 +=5 )
    {
        alerta_vibratorio_dois_sensores(PIN_MOTOR_DIREITO,
            potencial,
                                     PIN_MOTOR_FRONTAL,
                                     potencia2,
                                     1, 100);
    }
    delay(3000);
}

```

Figura 4.15: Procedimento do teste de orientação pelos motores

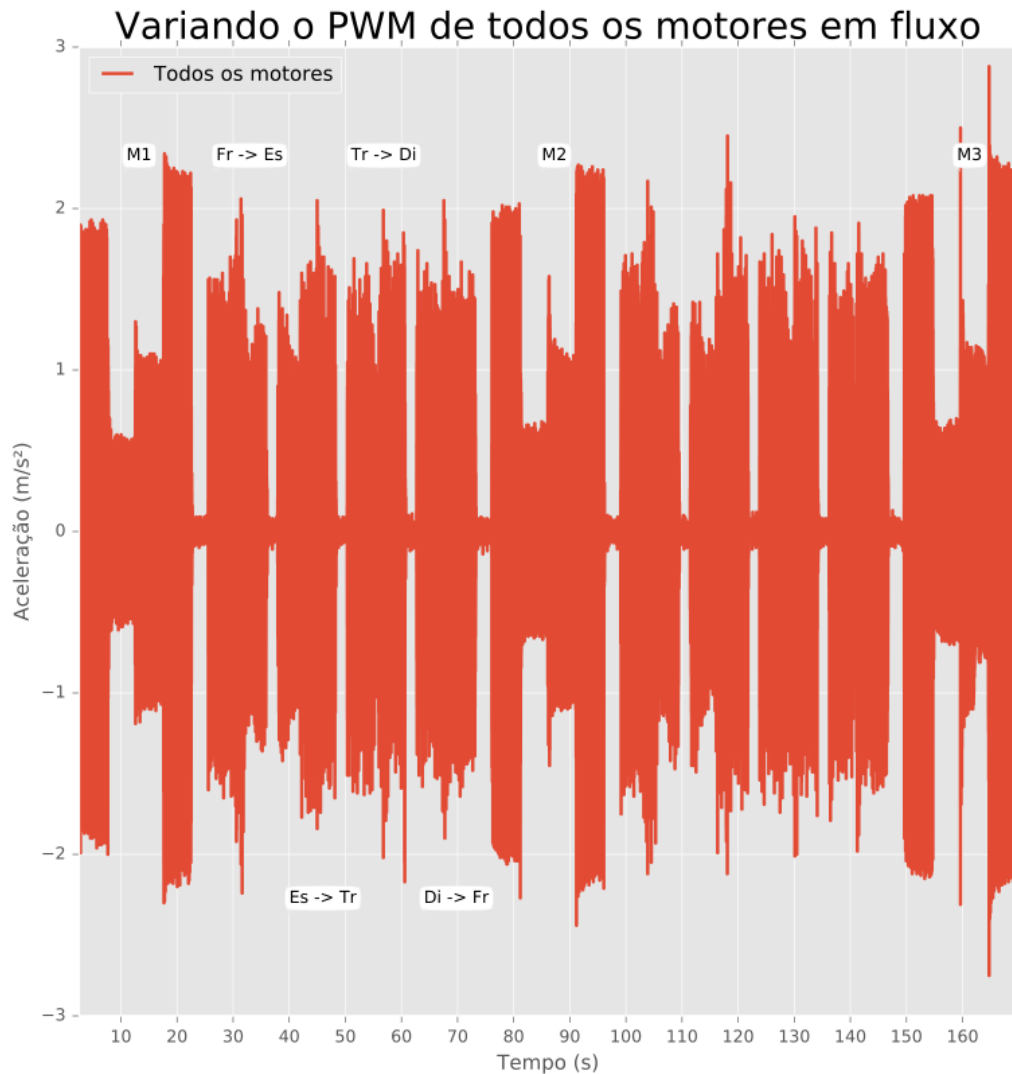


Figura 4.16: Experimento comparativo da transferência gradativa da potência entre motores consecutivos

Este experimento verifica como a mudança gradativa da potência de um motor para outro sensibiliza os sensores acelerômetros. Espera-se que, caso os motores tenham características físicas idênticas, gráfico da Figura 4.16 indique uma amplitude constante ao longo de todo experimento. No entanto, observa-se que há pequenas variações da intensidade da vibração captada pelos acelerômetros ao longo do experimento. Espera-se que esta diferença não influencie significativamente na funcionalidade do sistema.

Teste de Identificação

Neste experimento um motor é escolhido aleatoriamente e acionado conforme mostrado na Figura 4.17. O objetivo é verificar se é possível identificar, de maneira efetiva, qual o motor está sendo acionado.

```

void alerta_aleatoria()
{
    long numero_aleatorio;
    numero_aleatorio = random(1,5);

    if (numero_aleatorio == 1) {
        alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_FRONTAL, 100, 4, 100);
        delay(1000);
    } else if (numero_aleatorio == 2) {
        alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_ESQUERDO, 100, 4, 100);
        delay(1000);
    } else if (numero_aleatorio == 3) {
        alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_TRASEIRO, 100, 4, 100);
        delay(1000);
    } else if (numero_aleatorio == 4) {
        alerta_vibratorio(PIN_MOTOR_DIREITO, 100, 4, 100);
        delay(1000);
    } else {
        return;
    }
}

```

Figura 4.17: Procedimento do teste de acionamento aleatório dos motores

Com este experimento, observou-se que alguns alertas não são corretamente identificados com pulsos únicos de curta duração. Aumentando-se a duração dos pulsos, a partir de 100 ms, os pulsos passam a ser detectáveis. Outra observação é que a utilização de 2 pulsos consecutivos é suficiente para retirar qualquer ambiguidade na identificação do motor acionado.

4.1.2 Testes com Sensores de Ultrassom

Os sensores ultrassom são usados para o cálculo das distâncias entre o usuário e um objeto que possa colidir com o deficiente visual. No protótipo, foi utilizado o módulo de ultrassom de modelo HC-SR04. Este sensor possui muito baixo custo com boa precisão para esta aplicação. O maior problema encontrado nos experimentos foi que, quanto maior a distância, maior a interferência dos valores retornados pelo módulo. Isso acabaria produzindo falsos alertas para as maiores distâncias. Como para o nosso projeto estamos preocupados com os objetos que estejam próximo e como a distância exata do objeto não é importante, pois estamos interessados se existe ou não um objeto próximo, conseguimos filtrar muito destas interferências fazendo várias medidas e calculando suas médias aritméticas.

Para chegarmos a um limite de distância aceitável e a uma média de leitura que não deixe o sistema muito lento, fizemos alguns testes com os sensores de ultrassom para validarmos as medidas por ele apresentadas. Os testes feitos foram validação das distâncias medidas utilizando uma régua e comparando os valores lidos. Utilizamos objetos de tamanhos e composição diferentes. Variamos as distâncias e comparamos os valores lidos. Esta experiência permitiu descobrir qual distância limite do nosso sensor ultrassom (distância

que não trazia muitos erros) e a quantidade de valores lidos ideal para calcular a média (que não ficasse lento demais e que trouxesse uma média próxima da realidade)

Para a distância de 100 cm, utilizamos médias com 3, 5, 7, 11, 13, 15 e 17 leituras. Isso significa que, para cada valor retornado de distância medida, o ultrassom fez de fato 3, 5, 7, 11, 15 e 17 leituras, calculou a média aritmética e retornou o resultado da distância.

Fizemos esse teste com intenção de achar qual a quantidade de valores lidos seria necessária para reduzir ao máximo os ruídos e falsos positivos e em quais distâncias seria viável colocar os alertas vibratórios. Repetimos esse experimento para 75 cm, 62 cm, 50 cm e 25 cm. Para a distância de 25cm, não observou-se erros de leitura.

Tabela 4.1: Distância de 50 cm e campo amostral de 1000 leituras

Medidas por valor	quantidade de erros
3	103
5	65
7	64
11	61
13	55
15	49
17	35

Tabela 4.2: Distância de 62 cm e campo amostral de 1000 leituras

Medidas por valor	quantidade de erros
3	14
5	18
7	6
11	10
13	14
15	6
17	8

Tabela 4.3: Distância de 100 cm e campo amostral de 1000 leituras

Medidas por valor	quantidade de erros
3	377
5	311
7	279
11	235
13	222
15	216

Notamos que a média não estava melhorando significativamente a precisão das leituras e que o tempo para das leituras para médias, a partir de 10, começava a trazer um atraso considerável. Outro ponto que pode ser observado foi que a qualidade das leituras caía muito com o aumento da distância.

Para encontrar um limiar em que as leituras de distâncias sejam aceitáveis e não fiquem variando mais que 15 cm, realizamos medidas das distâncias de 10 cm até 150 cm, aumentando essas distâncias gradativamente de 10 em 10 cm. Para cada marco de distância, coletamos as leituras por um período de tempo de 60 segundos. Plotamos os histogramas de quantidade de leitura por distância para cada uma dessas leituras.

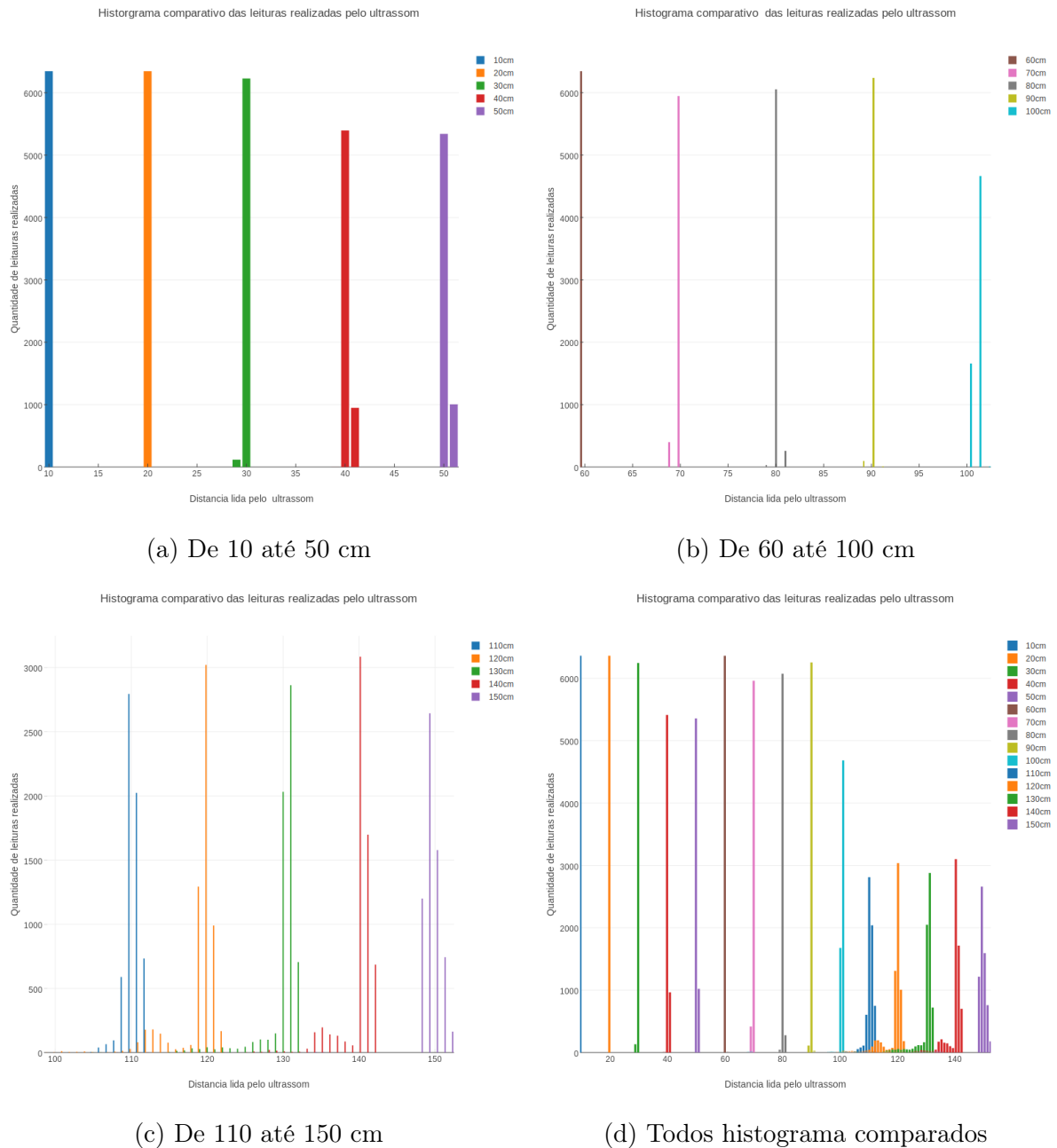


Figura 4.18: Comparação entre os os histogramas para as diversas medidas ligado.

É possível observar, no gráfico 4.18a que as leituras são bem precisas para as distâncias até 50 cm. As variações das distâncias, quando elas existem, não ultrapassam 1 cm. Já no gráfico 4.18b, que são das medidas feitas para as distâncias entre 60 e 100 cm, as variações já chegam a 2 cm e, para a distâncias superiores a 100 cm, que parece ser um limiar, as

leituras começam a se dispersar. Na leitura de 100 cm, conseguimos distinguir dois grupos bem definidos, um com 1661 leituras para o ponto de 100 cm e outra com 4.668 leituras como estando no ponto de 101 cm de distância. No gráfico 4.18c essa diferença é bem expressiva. No gráfico 4.18d, temos os histogramas para todas as distâncias plotados em um único gráfico.

A partir das análises dos dados coletados nesse experimento, decidimos estipular como limite máximo leituras feitas com até 90 cm de distância do usuário do protótipo. Assim, começamos a alertar eventos que ocorrem dentro desse limiar. Nosso alerta para distância de risco está sendo feito para objetos que estejam a 15 cm de distância. Um aviso é dado quando objetos estão a distâncias inferiores a 90 cm.

4.1.3 Baterias

Realizamos dois testes relacionados a durabilidade das baterias.

O primeiro teste consistiu em medir quanto tempo as baterias conseguem sustentar o funcionamento do protótipo no que achamos ser o pior caso, isto é, com o boné funcionando com todos os motores ligados, todos os ultrassons fazendo leitura de distância e com o bluetooth recebendo dados. Enfrentamos um problema com o protótipo: quando forçávamos o Arduino Nano a funcionar em um estado parecido com esse que estipulamos ser o pior caso, um diodo (MBR0520L) queimava deixando a entrada mini USB inoperante. Isso ocorreu quando estávamos testando os motores e todos eles eram acionados com força (PWM) máxima. Resolvemos não forçar muito o protótipo para os testes da bateria. Segundo nossa impressões, o protótipo funcionava por, pelo menos, 30 minutos quando estava operando em condições extremas durante os testes dos motores.

Já, em condições normais de funcionamento, o protótipo, chegou a ter uma autonomia de, pelo menos, 4 horas, durante os testes que foram realizados na escola C.E.E.D.V.

4.1.4 EuSonar

A aplicação EuSonar funciona como uma bússola que aponta sempre para a direção que deve ser seguida para se chegar ao próximo ponto ou ao destino final. A partir da posição e direção atual, e com as coordenadas do próximo ponto, enviamos valores que serão processados pelo boné. Estes valores fazem com que alguns motores sejam acionados com potências específicas que indicam a direção que deve ser seguida. A tabela 4.4 mostra quais são as potências (PWM) que serão enviadas aos motores caso o destino esteja a X graus do usuário. Como podemos observar, caso o destino esteja a 90 graus do usuário, todos os motores receberão 0 de PWM e permanecerão sem vibrar, exceto o motor direito, que receberá 255 (potência máxima PWM). Isso indica que o usuário deve se voltar para sua direita para se posicionar para a direção indicada.

Vamos usar a Figura 4.19 para ilustrar o exemplo anterior. O usuário está voltado com a frente para o norte. O ponto de destino está a leste (E). Vibraremos o motor direito, vermelho na figura, para que o usuário se vire para esta direção.

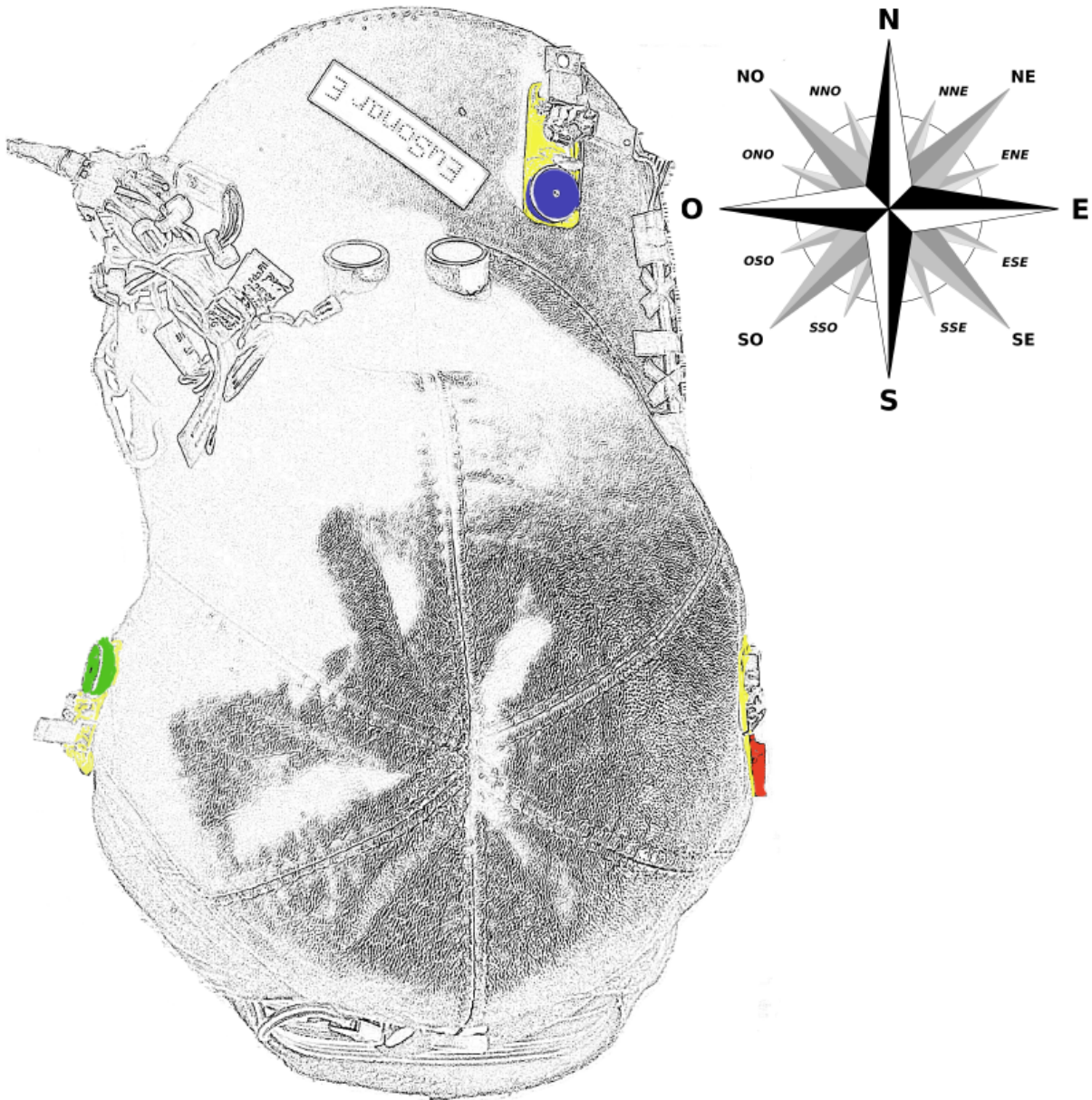


Figura 4.19: Rascunho do boné com os motores em destaque

Como o boné só tem quatro motores, um posicionado em cada ponto “cardia”, qualquer direção entre essas posições (“colateral” ou “subcolateral”) será representada por vibrações de dois motores com potências intermediárias entre a potência máxima de 255 e mínima (aceitável, encontrada nos testes com motores) de 110.

Vamos novamente usar a Figura 4.19 para descrever um outro exemplo. Suponha que o destino esteja a 45 graus do usuário (NE), o motor frontal (roxo) e o motor direito (vermelho) irão vibrar com potência média, PWM setado em 130.

Esta funcionalidade foi testada em laboratório com usuários sem deficiência visual e, até a data de 09/08/2016 houve apenas um primeiro contato com um usuário com deficiência visual. Este contato foi interrompido, pois o Arduino foi danificado.

Para testarmos esta funcionalidade em laboratório, usamos um experimento semelhante com o teste *variacao_motor_e_potencia_em_fluxo* apresentado na Figura 4.15.

Tabela 4.4: Matriz de acionamento

Direção	frontal	direito	traseiro	esquerdo	Marcação
0°	255	0	0	0	A
22,5°	160	110	0	0	B
45°	130	130	0	0	C
67,5°	110	160	0	0	D
90°	0	255	0	0	E
112,5°	0	160	110	0	F
135°	0	130	130	0	G
157,5°	0	110	160	0	H
180°	0	0	255	0	I
202,5°	0	0	160	110	J
225°	0	0	130	130	K
247,5°	0	0	110	160	L
270°	0	0	0	255	M
292,5°	110	0	0	160	N
315°	130	0	0	130	O
337,5°	160	0	0	110	P
360°	255	0	0	0	A

Com a diferença de que, neste experimento, o boné foi acionado pela aplicação EuSonar rodando em um *Motor G*, sendo rotacionado fisicamente. O *smartphone* envia o sinal para o boné, que aciona os motores usando uma tabela de acionamento similar ao da tabela 4.4. Ao Rotacionar o celular, a aplicação envia sinais acionando os motores um a um com potências diferentes e em fluxo. Medimos com acelerômetro, da mesma forma que fizemos para os experimentos da seção Motores 4.1.1.

Montamos um gráfico de gabarito 4.20 que foi gerado simulando uma rotação, utilizando as potências 0, 110, 130, 160 e 255.

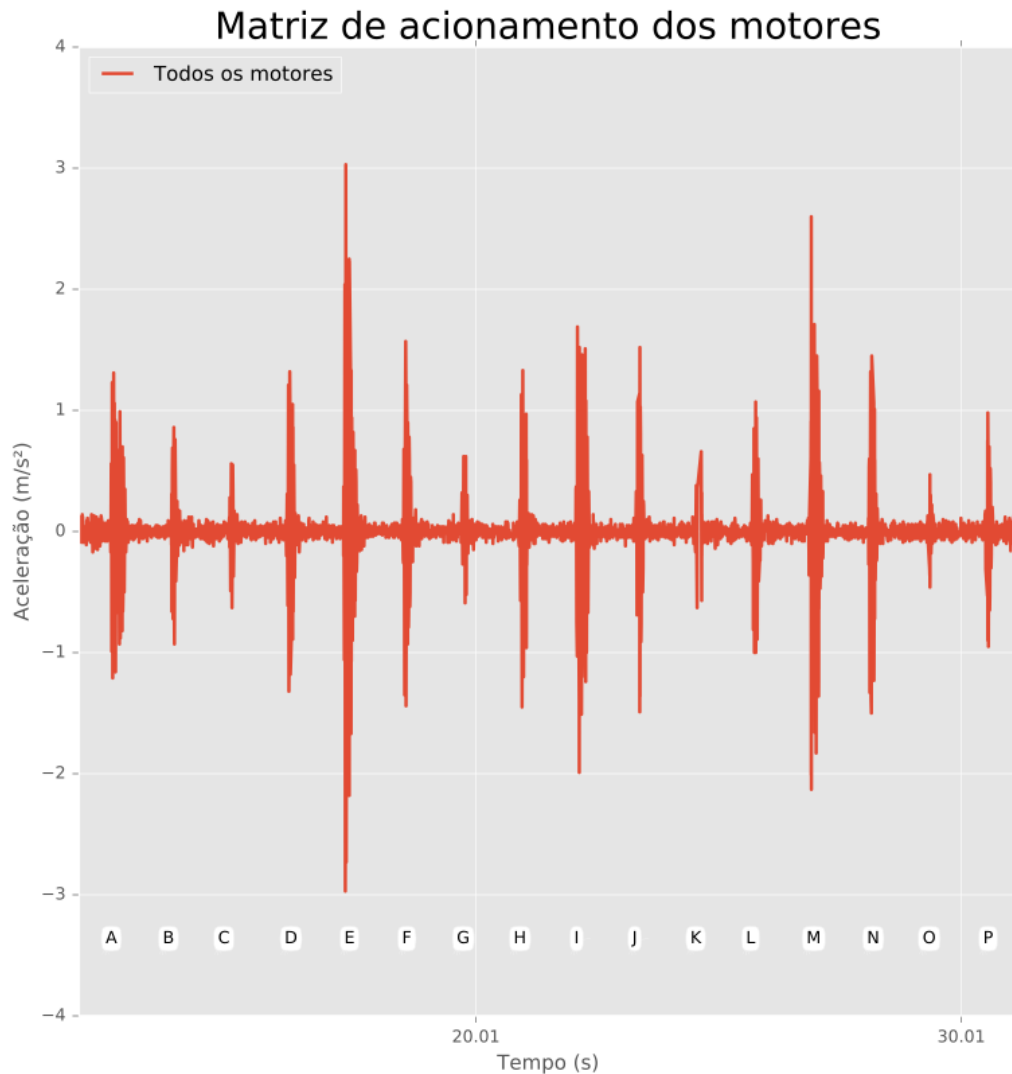


Figura 4.20: Matriz de acionamento gerada para gabarito

Um teste foi feito utilizando um *Nexus 5*, com a aplicação *EuSonar* instalada. Um protótipo com quatro LEDs foi usado para simular o acionamento dos motores de vibração. Marcamos um ponto $(-15.799718, -47.864197)$ para ser o destino do nosso usuário. Rotacionamos o celular em seu próprio eixo e verificamos que os acionamentos estavam sendo feitos da forma esperada. Com isso testamos a aplicação do *smartphone*, o envio dos dados para o protótipo e a ordem dos acionamentos.

Com esse gráfico conseguiremos mostrar que estamos acionando os motores em ordem e potência correta.

4.2 Testes com Usuário sem Deficiência Visual

Foram elaborados alguns experimentos para testarmos as funcionalidades do protótipo antes de irmos a campo validar efetivamente seu funcionamento como pode ser visto na Figura 4.21. Os testes consistiram em pequenas provas como, com os olhos fechados aproximar-se de um objeto até que o alerta fosse recebido. Tentar identificar o lado que um objeto está se aproximando. Tentar fazer uma exploração do cômodo com o menor número de contatos possível. Tentar perceber a direção indicada pelo alerta. Tentar discernir sobre quais alertas foram dados (alerta de obstáculo ou alerta de direção). Identificar, quantos níveis de direção era possível perceber entre dois pontos cardiais e, por fim, tentar descobrir a direção que está sendo informada para ser seguida.

Não conseguimos testar em um número suficiente de pessoas e elaborar um questionário que avaliasse esse resultado estatisticamente. O que conseguimos, por ora, foi entrevistar as pessoas que testaram o protótipo e colher suas críticas para refinar o protótipo. Assim, os resultados destes testes serão mostrados com base na impressão do autor.

Teste de Aproximação

O teste de aproximação consistiu em andar até um parede e se aproximar vagarosamente até encostar as mãos na parede. Todos os usuários que fizeram esse teste acharam que foi possível identificar a aproximação através das vibrações dadas. Não houve nenhum incidente para a conclusão deste teste.

Uma outra variação deste teste consistiu em se aproximar da pessoa que está usando o boné vendada, perguntar se ela sentia a aproximação e fazê-la “adivinhar” o lado da aproximação. Outra variação deste teste consistiu em aproximar as mãos do sensor ultrassom e perguntar para a pessoa se sentiu esta aproximação. Para esse teste é notável que, as aproximações feitas por de trás do usuário não eram notadas, enquanto as laterais e frontais eram. Com esse teste foi possível identificar, também, dois pontos cegos entre os ultrassom laterais e frontais.

Teste de Exploração

O teste de exploração consistiu em explorar um ambiente conhecido utilizando vendas nos olhos e o boné. Eu mesmo realizei este teste e minha impressão é de que, como eu conhecia o lugar e sabia onde estavam os objetos, eu direcionava o boné para apontar para esses objetos e, com isso, confirmar sua presença me localizando no espaço explorado. Neste lugar, não existia nenhum objeto que pudesse servir como obstáculo imperceptível ao boné. Mas a impressão que tive, ao realizar este teste, foi de que, conhecendo o ambiente e estando um pouco adaptado ao funcionamento do protótipo, é possível usá-lo e tirar vantagens do seus alertas para se locomover e evitar os obstáculos.

Teste de Direção Indicada Pelo Alerta

Este teste consistiu em colocar o boné em uma pessoa que não soubesse detalhes da construção e acionamento dos motores. Pedir para que ela apontasse a direção que iria seguir para o alerta recebido. Os alertas eram gerados rotacionando o celular que

estava apontando para um ponto fixo (simulando a mudança de direção). O que foi possível perceber neste teste foi que as pessoas não conseguiam perceber as três variações existentes entre os pontos cardiais.

Uma variação deste teste foi realizada com os olhos vendados e segurando o *smartphone* rotacionando e sentindo as vibrações até se posicionar com a frente virada para o destino. Como os alertas não são dados intermitentemente, é necessário rotacionar um pouco para receber, novamente, o alerta da direção. É possível notar que algumas pessoas não paravam com a frente voltada para a direção correta e que, como o boné não fica alertando, ininterruptamente a direção para que a pessoa continue virando, elas paravam achando que já estava voltadas para o destino. É necessário haver uma mudança na rotação para que a direção seja novamente alertada. Uma melhoria que dever ser feita no protótipo e que foi observada a partir desse experimento é que, possivelmente, será melhor continuar alertando sobre a indicação da direção do destino e cessar esse alerta somente quando o usuário estiver corretamente direcionado.

Teste de Distinção da Granularidade das Direções

Neste teste pedíamos para que as pessoas prestassem atenção em quantas direções era possível perceber entre 0° e 90° , entre 90° e 180° , entre 180° e 270° e entre 270° e 360° .

Usamos um software semelhante ao que foi feito para gerar a matriz de direções e coletar as informações para o gráfico 4.20. Neste teste, todas as pessoas foram capazes de perceber as direções diagonais. Elas ficaram surpresas quando souberam que as impressões sobre as direções diagonais eram provocadas através do acionamento de dois motores e que o boné possuía apenas 4 motores de vibração. Mas, mesmo percebendo as direções diagonais, elas não eram capazes de discernir com precisão quantas direções diagonais existiam. Talvez seja o caso de colocar mais motores de vibração para tentar moldar melhor essa direção. Outra tentativa poderia ser mudar a posição do motor frontal, que está na aba do boné para ficar acima do ultrassom frontal e ficar da mesma forma que estão os outros motores de vibração.

4.3 Testes com Usuário com Deficiência Visual

Para os testes com usuários com deficiência visual apresentados na Figura 4.22, não foi possível realizar experimentos com um número expressivo de pessoas e elaborar um questionário, como seria o mais indicado, para avaliar o resultado estatisticamente. O que conseguimos fazer foi entrevistar as pessoas que testaram o protótipo, colher suas críticas para possíveis melhorias no protótipo. Assim, novamente, os resultados dos testes serão expostos com base em minhas impressões.

Os testes feitos com os deficientes visuais foram acompanhados pelos professores de mobilidade. Estes testes foram realizados no C.E.E.D.V. (Centro de Ensino Especial de Deficientes Visuais).

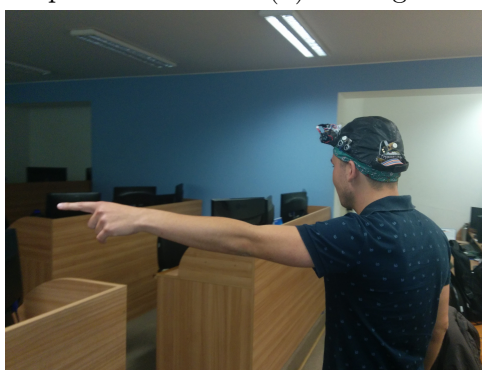
Os alunos de mobilidade participaram dos teste de usabilidade e aceitação, no qual fizeram o percurso inicialmente usando o protótipo e a bengala branca e, a seguir, usando apenas o protótipo.

Fizemos alguns exercícios, os mesmos feitos nas aulas de mobilidade, utilizando o boné em vez da bengala branca.



(a) Seguindo parede

(b) Teste granularidade dos alertas



(c) Teste de direção ambiente fechado

Figura 4.21: Testes com usuários sem deficiência visual

Repetimos o teste de aproximar-se de um objeto até que o alerta fosse recebido, o de tentar identificar o lado que um objeto estava se aproximando e o teste de exploração com o menor número de contatos possíveis. Neste último, eles se saíram muito bem já que é um processo natural para eles e, estão em um ambiente onde, diariamente, fazem treino de mobilidade e locomoção.

Após o experimento, os alunos relataram sua experiência com o protótipo. O resultado foi muito satisfatório. Os alunos ficaram muito empolgados com o protótipo. Adoraram participar dos experimentos. Acharam que a funcionalidade de detecção de obstáculos será muito útil, já que, todos eles, sem exceção, sofreram algum tipo de acidentes com a cabeça enquanto se locomoviam utilizando a bengala. Relataram que também achariam útil a possibilidade de utilizar o protótipo para se direcionar para um ponto específico e que gostariam que o protótipo alertasse dos marcos do caminho, alertando quando chegassem perto do local desejado, como ponto de ônibus etc.

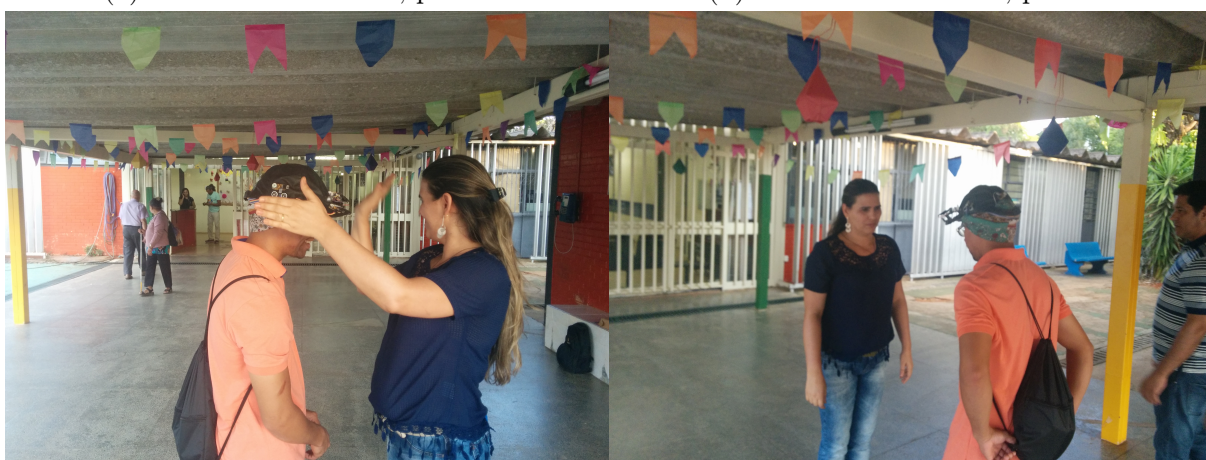
4.4 Considerações Finais

Os testes apresentados neste capítulo tiveram, na sua maioria, o objetivo de quantificar as vibrações transmitidas pelos motores, já que este é o principal módulo de resposta aos eventos emitidos pelo protótipo, identificando objetos próximos ou comando de mudança de direção. Os testes com os usuários sem deficiência visual tiveram o objetivo de aprimorar o protótipo para ser testado com os usuários com deficiência visual. Os testes



(a) Encontrando marco, pilastra

(b) Encontrando marco, pilastra



(c) Teste identificação aproximação

(d) Teste de aproximação

Figura 4.22: Exercícios de mobilidade com deficientes visuais utilizando EuSonar.

com os deficientes visuais foram reforçadores. Acharmos que o protótipo superou a expectativa, dadas as dificuldades enfrentadas inicialmente para desenvolvê-lo. Para os testes de detecção de colisão, o protótipo se mostrou muito eficiente evitando colisões frontais e laterais, alertando sobre a presença e aproximação de objetos. Para os testes de locomoção assistida, notamos que é possível utilizar o protótipo, em ambiente externo, para guiar o usuário para uma direção ou ponto específico. A dificuldade inicial encontrada versa sobre o tempo de resposta entre o sinal enviado pelo celular e a vibração do boné, e da dificuldade em expressar algumas direções utilizando apenas quatro motores de vibração. Existe a necessidade de fazer mais testes nesta modalidade de funcionamento.

No próximo capítulo, iremos fazer nossas considerações finais, dar nossa opinião sobre melhorias e sugestões de trabalhos futuros.

Capítulo 5

Conclusão

Esse trabalho apresentou um breve histórico sobre vestíveis, seguido de alguns dos trabalhos que julgamos ser mais relevantes sobre computação vestível aplicada a deficientes visuais. Apresentamos como planejamos atacar o que julgamos ser um dos principais dificultadores da locomoção de deficientes visuais. Mostramos como procuramos nossa solução para este problema e como poderíamos testar nossa solução.

Ao final deste relato, podemos destacar que trabalhar com um protótipo vestível foi um enorme desafio. Todas as etapas de montagem tiveram que ser feitas repetidas vezes. São muitas variáveis que fazem o protótipo parar de funcionar. Sempre algum cabo se desconecta ou algum módulo é danificado sem que haja ainda qualquer jeito fácil e rápido de depurar o problema e saber se o problema está no hardware ou no software. A utilização dos cabos *flats* coloridos tornou possível a ideia do protótipo. A falta de um sistema de checagem de erro, que teste os componentes e envie um alerta sonoro para o desenvolvedor ter ideia de onde está o problema, algo parecido com os sinais sonoros das placas mãe, é sensível e reproduzir um tal sistema de alertas seria uma ótima melhoria para o projeto do boné. Hoje em dia fazemos pequenos testes e só deixamos o protótipo entrar em modo de navegação caso todos os sensores ultrassom estejam funcionando. Mas isso é muito pouco para a quantidade de erros que podem ocorrer na mão de um usuário que não esteja acompanhado do desenvolvedor.

Todavia, nesse transcurso, já podemos pensar o uso de “computação vestível” de baixo custo como ferramenta útil para locomoção de deficientes visuais sem que, com isso, se pretenda algo futurista e estranho e sem que essa tecnologia chame tanta atenção, o que, no contexto de nosso país, infelizmente, poderia representar mais uma ameaça para a segurança do usuário de “computação vestível”, que ficaria exposto a assaltos ou abordagens indesejadas ao andar pelas ruas.

O protótipo pensado prevê a redução da quantidade de fios interligando os sensores, a central de processamento e o aparelho móvel que deve regular todo o sistema e enviar dados sobre a direção do destino.

Existem vários estudos sobre uso da computação para deficientes visuais e poucos deles se popularizaram e se tornaram de fato uma ferramenta utilizável e facilitadora para locomoção, como a bengala ou cão guia. Isso talvez se explique pelo alto preço, desconforto, limitações de movimento, fragilidade dos equipamentos, aplicação inadequada de uma tecnologia, tornando-a inconveniente etc. Entender esses problemas é essencial

para concentrar forças no desenvolvimento de um protótipo funcional, pois quem erra na análise, erra na ação.

Acho que com esse projeto demos um pequeno passo para esse entendimento e análise e que rompemos barreiras que outros projetos ainda não tinham explorado, tais como, utilizar dispositivos amplamente difundidos e de médio custo, como *smartphones*, e Arduíno para orientar deficientes visuais, usando um protótipo funcional de um vestível.

5.1 Melhorias no Protótipo

Existem muitos pontos a serem melhorados no protótipo. Na parte do boné, uma alteração importante seria analisar a possibilidade de alterar a estrutura de forma que, ao conectar o Arduíno na entrada USB, este não tente acionar os motores utilizando a USB como fonte de alimentação. Para alguns tipo de situações, isso pode acarretar a queima de um diodo que, praticamente, inviabiliza o uso do Arduíno.

Acho que seria interessante pensar em um protótipo de boné em que o circuito do Arduíno fosse construído na própria aba do boné, que, em vez de usar cabos *flats*, usasse um *flat flex*. Outra melhoria importante seria incluir mais dois sensores ultrassom para cobrir as diagonais entre o ultrassom frontal e os laterais.

Hoje utilizamos o alerta vibratório para duas funcionalidade um pouco conflitantes, se afastar ou tomar cuidado com um objeto que esteja próximo da cabeça e voltar-se para uma direção alertada para se posicionar em direção ao ponto de destino. Utilizamos vibrações para dar esses dois tipos de sinais e, mesmo utilizando vibrações distintas para essas finalidades, com alertas sendo de intensidade e de pulsos diferentes, elas são de difícil interpretação. Então, para resolver isso, podemos ou incluir mais motores de vibração para tentar gerar alertas mais distinguíveis ou utilizar outras formas de alertas tácteis como pressão, eletrodos etc.

Interessante também seria incluir uma interface para configurar o sistema através do dispositivo móvel e fazer o protótipo funcionar de forma em que os sensores poderão ser configurados para tipos de ambientes diferentes. Esses ambientes farão com que os sensores avisem somente objetos contidos em uma distância estabelecida pelo usuário. Os sensores poderiam, ou não, enviar dados para um dispositivo móvel para fins estatísticos e de configurações.

5.2 Trabalhos Futuros

Alguns melhoramentos e desdobramentos se fazem necessários ou possíveis: realizar testes com um número maior de deficientes visuais e colher resultados através de formulários que sirvam para o aperfeiçoamento do protótipo; criar uma API para interagir com outros aplicativos; criar um aplicação que permita que o usuário grave sua rota e a replique quando necessário, enviando sinais para o boné quando estiver se afastando do caminho gravado para que o usuário possa corrigir a rota desviada; criar um aplicativo que permita que os deficientes visuais compartilhem rotas gravadas, uma rede social de deficientes visuais.

Uma outra sugestão de trabalho interessante seria utilizar o protótipo como interface para jogos educativos, de mobilidade ou de entretenimento. Por exemplo, migrar o jogo

de dança de tapete para que os sinais sejam emitidos pelo boné ao em vez de sinais de imagem pela televisão. Migrar o jogo de memória, que é visual (*Genius*) e sonoro para um tátil. O usuário receberia as vibrações do boné e tentaria replicá-las em uma tela da forma análoga a do jogo clássico. Também seria possível tentar considerar os aspectos contextuais do ambiente que são importantes para melhorar a experiência de navegação do usuário em gravações de áudio na nuvem. Caso o usuário passe por um destes marcos, um alerta de vibração poderia ser dado pelo protótipo, caso o usuário se encontrasse em uma região que contivesse uma descrição em áudio. Tal sistema de navegação poderia ser sonoro, emitido pelo *smartphone*, caso o usuário deseje ouvi-lo.

Referências

- [1] Wiebke Neelsen. Das taschenuhr-rätsel ist gelöst, Oct 2014. [vi](#), [7](#)
- [2] Steve Mann. the encyclopedia of human computer- nteraction 2nd ed wearable computing, apr 2016. [vi](#), [7](#), [8](#), [15](#), [16](#), [17](#)
- [3] Laurenti de' Medici. Featured news the history of wearable technology – past, present and future, nov 2015. [vi](#), [6](#), [9](#), [10](#), [15](#), [20](#), [21](#), [22](#)
- [4] Bradley Rhodes. A brief history of wearable computing, nov 1997. [vi](#), [6](#), [8](#), [9](#), [11](#), [12](#), [13](#), [14](#), [15](#), [16](#), [17](#), [18](#), [19](#), [20](#)
- [5] Mark Weiser. The computer for the 21st century. *Scientific american*, 265(3):94–104, 1991. [vi](#), [18](#)
- [6] Steven Feiner, Blair Macintyre, and Dorée Seligmann. Knowledge-based augmented reality. *Communications of the ACM*, 36(7):53–62, 1993. [vi](#), [19](#)
- [7] Henry Winchesterfreizeit. Industrial clothing division (icd/icd+), aug 2016. [vi](#), [22](#)
- [8] Jordan Keenan. This new glove translates sign language into speech and text, apr 2016. [vi](#), [23](#)
- [9] Luiza Belloni. Estudantes de pe criam óculos inteligentes para deficientes, apr 2015. [vi](#), [23](#), [24](#)
- [10] Abdelsalam Helal, Steven Edwin Moore, and Balaji Ramachandran. Drishti: An integrated navigation system for visually impaired and disabled. In *Wearable Computers, 2001. Proceedings. Fifth International Symposium on*, pages 149–156. IEEE, 2001. [vi](#), [25](#), [26](#)
- [11] Victor Mateevitsi, Brad Haggadone, Jason Leigh, Brian Kunzer, and Robert V. Kenyon. Sensing the environment through spidersense. In *Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference, AH '13*, pages 51–57, New York, NY, USA, 2013. ACM. [vi](#), [28](#)
- [12] Meng Ee Wong Pattie Maes Roy Shilkrot, Jochen Huber and Suranga Chandima Nanayakkara. Fingerreader a wearable interface for reading on-the-go, apr 2016. [vi](#), [29](#)

- [13] Golledge, Reginald G, Loomis, Jack M, Klatzky, Roberta L, Flury, Andreas, Yang, and Xiao Li. Designing a personal guidance system to aid navigation without sight: Progress on the gis component. *International Journal of Geographical Information System*, 5(4):373–395, 1991. [2](#), [24](#)
- [14] Roberta L Klatzky, Andreas Flury, and Xiao Li Yang. Designing a personal guidance system to aid navigation without sight: progress on the gis component. [2](#)
- [15] Thad Starner. The challenges of wearable computing: Part 1. *IEEE Micro*, 21(4):44–52, 2001. [5](#), [8](#)
- [16] Steve Mann, Wearable Computing’in Mads Soegaard, and Rikke Friis Dam. The encyclopedia of human-computer interaction. *Wearable Computing. In: Soegaard, Mads and Dam, Rikke Friis (eds.). Aarhus, Denmark: The Interaction-Design. org Foundation*, 2012. [6](#)
- [17] Edward Tenner. *Our own devices: How technology remakes humanity*. Vintage, 2009. [6](#)
- [18] ELECTRIC GIRLS. Electric girls. *Grey River Argus*, XXXI(5032):1, nov 1884. [8](#)
- [19] Laurenti de’ Medici. Featured news the history of wearable technology – past, present and future, nov 2015. [10](#)
- [20] Alejandra Martins. Nicolelis: Chute inicial na copa é ’passo simbólico para pacientes com paralisia’, may 2014. [11](#)
- [21] Ali N. A. Benjamin J. M. A laser cane for the blind. *Proceedings of the San Diego Biomedical Symposium*, 12:53–57, 1973. [24](#)
- [22] Helen Petrie, Valerie Johnson, Thomas Strothotte, Andreas Raab, Steffi Fritz, and Rainer Michel. Mobic: Designing a travel aid for blind and elderly people. *Journal of navigation*, 49(01):45–52, 1996. [24](#)
- [23] Asim Smailagic, Richard Martin, Bohuslav Rychlik, Joseph Rowlands, and Berend Ozceri. Metronaut: A wearable computer with sensing and global communication capabilities. *Personal Technologies*, 1(4):260–267, 1997. [25](#)
- [24] Reginald G Golledge, Roberta L Klatzky, Jack M Loomis, Jon Speigle, and Jerome Tietz. A geographical information system for a gps based personal guidance system. *International Journal of Geographical Information Science*, 12(7):727–749, 1998. [25](#)
- [25] Jack M Loomis, Reginald G Golledge, and Roberta L Klatzky. Navigation system for the blind: Auditory display modes and guidance. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(2):193–203, 1998. [25](#)
- [26] Panuccio A. A multimodal electronic travel aid device. *in proceedings of the 4th IEEE International Conference on Multimodal Interfaces*, page 39, 2002. [26](#)

- [27] Kiyohide Ito, Makoto Okamoto, Junichi Akita, Tetsuo Ono, Ikuko Gyobu, Tomohito Takagi, Takahiro Hoshi, and Yu Mishima. Cyarm: an alternative aid device for blind persons. In *CHI'05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pages 1483–1488. ACM, 2005. 26
- [28] Jack M Loomis, Reginald D Golledge, and Roberta L Klatzky. Gps-based navigation systems for the visually impaired. *International Journal of Geographical Information System*, pages 429–446, 2001. 26
- [29] Kristóf Karacs, Anna Lazar, Róbert Wagner, Dávid Bálya, Tamas Roska, and Mihály Szuhaj. Bionic eyeglass: an audio guide for visually impaired. In *Biomedical Circuits and Systems Conference, 2006. BioCAS 2006. IEEE*, pages 190–193. IEEE, 2006. 26
- [30] Vladimir Kulyukin, Chaitanya Gharpure, John Nicholson, and Grayson Osborne. Robot-assisted wayfinding for the visually impaired in structured indoor environments. *Autonomous Robots*, 21(1):29–41, 2006. 27
- [31] Sylvain Cardin, Daniel Thalmann, and Frédéric Vexo. A wearable system for mobility improvement of visually impaired people. *The Visual Computer*, 23(2):109–118, 2007. 27
- [32] Carlos Eduardo Monteiro Rodrigues. *VEYE: Um sistema de auxílio à negação para deficientes visuais*. Universidade Federal de Pernambuco, 2008. 27
- [33] Sérgio Ivan Fernandes Lopes. *Tese de doutorado - Localização de obstáculos para invisuais utilizando ultra-sons e técnicas de espacialização auditiva*. Universidade de Aveiro, 2009. 27
- [34] B Amutha and M Ponnaivaikko. Predator-the blind vision. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 2(3), 2009. 27
- [35] Shripad S Bhatlawande, Jayant Mukhopadhyay, and Manjunatha Mahadevappa. Ultrasonic spectacles and waist-belt for visually impaired and blind person. In *Communications (NCC), 2012 National Conference on*, pages 1–4. IEEE, 2012. 27
- [36] Alfredo Gonzatto, Cristiane Santos, Felipe Melo, Geisson Rodrigues, and J Faria. Óculos sonar para deficientes visuais, 2012. 27
- [37] Felipe Schulz Sefrin. Saccob: Sistema de alerta contra colisão com obstáculos, 2012. 27
- [38] W Gelmuda and A Kos. Multichannel ultrasonic range finder for blind people navigation. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, 61(3):633–637, 2013. 28
- [39] Jaline Gonçalves Mombach and Daniel Welfer. Proposta de um aplicativo móvel para percepção de imagens estáticas por alunos com deficiência visual. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, volume 24, pages 487–496, 2013. 28

- [40] Roy Shilkrot, Jochen Huber, Connie Liu, Pattie Maes, and Suranga Chandima Nayakkara. Fingerreader: A wearable device to support text reading on the go. In *CHI'14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pages 2359–2364. ACM, 2014. 28