



**Wallace Corbo Ugulino**

**Wearables para Apoiar a Representação Espacial  
por Indivíduos Cegos**

**Tese de Doutorado**

Tese apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Doutor pelo Programa de  
Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Hugo Fuks

Rio de Janeiro  
Dezembro 2014



**Wallace Corbo Ugulino**

**Wearables para Apoiar a  
Representação Espacial por Indivíduos  
Cegos**

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico e Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Ph.D. Hugo Fuks**

Orientador

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. D.Sc. Mariano Pimentel**

Departamento de Informática Aplicada – UNIRIO

**Eng. D.Sc. Denise Del Re Filippo**

Escola Superior de Desenho Industrial – UERJ

**Prof. Dr. rer. nat. Markus Endler**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. D.Sc. Alberto Raposo**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 01 de Dezembro de 2014

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial deste trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

## Wallace Corbo Ugulino

Iniciou o doutorado no segundo semestre de 2010 no Departamento de Informática da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Formou-se Mestre em Informática pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), em Abril de 2010 e graduou-se em Informática pela Universidade do Grande Rio (2006). Atua em pesquisas de tecnologias assistivas wearable no SecondLab (PUC-Rio) em projeto no qual investiga wearables cientes de contexto para apoiar a representação espacial por cegos e para o reconhecimento de atividades humanas.

### Ficha Catalográfica

Ugulino, Wallace Corbo

Wearables para apoiar a representação espacial por indivíduos cegos / Wallace Corbo Ugulino ; orientador: Hugo Fuks. – 2014.

82 f. : il. (color.) ; 30 cm

1. Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática, 2014.

Inclui referências bibliográficas

1. Informática – Teses. 2. Mobilidade de Pedestres Cegos. 3. Representação Espacial. 4. Identificação de Pontos de Referência. 5. Computação Wearable. 6. Design de Interfaces. I. Fuks, Hugo. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

Dedicado aos meus pais.

## Agradecimentos

Agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa dessa tese por meio do projeto "Wearable inteligente para apoiar a melhoria da mobilidade em Deficientes Visuais" (CNPq # 458.766/2013-5). Além do apoio financeiro para custeio e capital, o CNPq apoiou com uma bolsa DTI-A (CNPq # 385535/2013-9) que também apoiou muito a realização dessa pesquisa.

Agradeço ao Departamento de Informática (DI) da PUC-Rio pela bolsa de isenção concedida durante todo o curso e de fomento durante 3 anos e meio. Agradeço também pelo tratamento sempre cordial e gentil de todo o pessoal da secretaria. Para todos da PUC-Rio, em especial ao DI, muito obrigado.

Agradeço ao Instituto Benjamin Constant pelo apoio nessa pesquisa. Muitas pessoas colaboraram, em especial as professoras Vanessa Zardini e Naiara Rust, mas não dá para esquecer dos demais professores (Thiago, Lizania, Maria Luzia, Rachel, entre outros) e de muitos alunos e colaboradores do DRT do IBC. Sem vocês, essa pesquisa não teria acontecido. Por isso, a todos vocês: muito obrigado! Agradeço ao querido Mariano Pimentel, que me orientou no mestrado e me apoiou no processo seletivo para o doutorado na PUC-Rio. Muito obrigado pela sua participação relevante na realização desse sonho.

Agradeço ao meu orientador Hugo Fuks pela visão compartilhada e pela oportunidade de fazer uma pesquisa tão ousada. Graças à sua contribuição, construí as bases de uma carreira em computação ubíqua. Muito obrigado.

Agradeço aos meus companheiros de doutorado Débora Cardador, Bruno Gadelha e Katia Vega. Agradeço também a tantos outros companheiros da universidade

que atuaram me motivando e ouvindo-me nas horas difíceis. Agradeço aos meus companheiros no projeto BEPiD - Hendi, Andrew e João - que me proporcionaram momentos divertidos e memoráveis, os quais tornaram esse último ano muito mais agradável.

Agradeço à minha querida Vanessa Bastos Teodoro, que foi uma grande companheira nos últimos meses de trabalho na tese. Sua contribuição tornou a rotina mais doce e equilibrada. Muito obrigado.

Agradeço, sobretudo, aos meus pais que me educaram para ser o humano que sou. Para essa árdua tarefa eles não precisaram de um título de doutor. Aos meus pais, que custearam minha educação formal e também me ensinaram a ser gente, MUITO OBRIGADO.

## Resumo

Ugulino, Wallace Corbo; Fuks, Hugo (Orientador). **Wearables para Apoiar a Aquisição de Representação Espacial por Indivíduos Cegos**. Rio de Janeiro, 2014. 82p. Tese de Doutorado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A dificuldade de locomoção de pedestres cegos é um problema complexo constituído das dificuldades de percepção e de orientação. Parte da dificuldade de percepção é identificar pontos de referência, que é necessário para que indivíduos montem uma representação do espaço, orientem-se nesse espaço e definam trajetórias para se locomover. Nessa pesquisa, foram desenvolvidos e investigados wearables para apoiar indivíduos cegos a identificar pontos de referência. O primeiro Estudo de Caso foi realizado para investigar uma maneira de evitar o ‘*masking*’, problema causado pela tecnologia que consiste numa sobrecarga cognitiva e no prejuízo temporário da capacidade do indivíduo de sensoriar o ambiente com seus sentidos. Para investigar o *masking*, foram realizados Estudos de Caso com participantes cegos e wearables propostos nessa pesquisa. A partir dos estudos, conclui-se que o wearable dessa pesquisa foi bem sucedido em evitar o *masking* e essa abordagem foi considerada uma alternativa válida para pesquisadores que investigam esse problema em outros contextos. No segundo Estudo de Caso, já com o *masking* controlado, concluiu-se que o wearable proposto nessa pesquisa possibilita aos indivíduos cegos explorar mais pontos de referência em relação à exploração exclusivamente com a bengala. Essa pesquisa contribui também com um conjunto de recomendações para projetistas de wearables para mobilidade de cegos.

## Palavras-chave

Mobilidade de Pedestres Cegos; Representação Espacial; Identificação de Pontos de Referência; Computação Wearable; Design de Interfaces.

## Abstract

Ugulino, Wallace Corbo; Fuks, Hugo. **Wearables for Supporting Spatial Representation Acquisition by Blind Persons**. Rio de Janeiro, 2014. 82p. PhD Thesis - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The difficulty in the locomotion of blind pedestrians is a complex problem that comprises the difficulties of perception and orientation. Part of the difficulty of perception is the identification of landmarks, which is necessary for the orientation process and also the acquisition of a spatial representation. The spatial representation will be used later when orientating in this space and for defining paths to move from a given place to another. In this research, wearables were investigated aiming at supporting blind persons in the task of identifying of landmarks. The first step was to investigate a way to avoid ‘masking’, a problem caused by technology that is characterized by a cognitive overload and the harmful interference of technology in the wearer’s capabilities of sensing the environment through their senses. In order to investigate masking, a Case Study was designed and carried out with a group of blind subjects. As a result, the wearable succeeded in avoiding masking. The approach used is considered useful as an alternative for researchers that investigate this problem in other contexts. Besides avoiding the masking, the proposed wearable enabled blind individuals explore more landmarks when compared to the approach of exploring with a white cane. Furthermore, this research also contributes with a set of recommendations for designers of wearables for blind mobility.

## Keywords

Blind Mobility; Spatial Representation; Landmark Identification; Wearable Computing; Interface Design.



## Sumário

1	Introdução .....	15
1.1.	Relevância e Motivação da Pesquisa .....	16
1.2.	Visão Geral da Pesquisa .....	19
2	Fundamentação Teórica.....	24
2.1.	Teorias sobre a representação espacial em indivíduos cegos .....	24
2.2.	Modelo de Brambring para a locomoção de cegos.....	28
2.2.1.	Dificuldade de Percepção.....	29
2.2.2.	Dificuldade de Orientação .....	31
2.2.3.	Discussão: Fatores Humanos e <i>Masking</i> .....	34
2.3.	Tecnologia Assistiva Eletrônica e a Segunda Guerra Mundial .....	35
2.4.	Trabalhos relacionados .....	36
3	Estudo Exploratório: Observações no IBC e Prototipação Participativa .....	39
3.1.	Estudo Observacional .....	39
3.2.	Oficina de Cocriação .....	46
3.3.	Protótipo Funcional.....	48
4	Estudo de Caso I: investigação da ocorrência de <i>masking</i> .....	53
4.1.	Os wearables não prejudicaram o ritmo de caminhada .....	57
4.2.	O uso dos sentidos remanescentes não foi prejudicado .....	59
4.3.	O wearable deve adequar-se ao ritmo de caminhada corrente.....	60
4.4.	Limitações.....	61
5	Estudo de Caso II: investigação da identificação de pontos de referência.....	63
5.1.	Participantes notaram mais pontos de referência ao usar Smart Glasses ...	65
5.2.	Não houve diferença nas estratégias de exploração.....	68
5.3.	Limitações.....	70
6	Conclusão e Trabalhos Futuros .....	71
7	Referências .....	75
	APÊNDICE A.....	81
	APÊNDICE B.....	82

## Lista de Figuras

Figura 1. Evolução das lentes de aumento, corretivas, utilitárias e estéticas .....	17
Figura 2. Exemplo de interrupção não programada em estudo empírico .....	23
Figura 3. Modelo de Brambring para a locomoção de cegos .....	29
Figura 4. Exemplos de problemas posturais em indivíduos cegos .....	40
Figura 5. Entrevistado em dois momentos: audição e atenção para caminhar .....	44
Figura 6. Teste dos protótipos em sessões de dramatização.....	47
Figura 7. Digital Beacons e Smart Glasses.....	50
Figura 8. Teste da primeira versão dos Smart Glasses na PUC-Rio .....	50
Figura 9. Smart Glasses v2, luva e cinto .....	51
Figura 10. Estudo de Caso realizado em situações reais no IBC .....	55
Figura 11. Interface do aplicativo para Android usado nessa pesquisa.....	64
Figura 12. Exploração háptica durante Estudo de Caso .....	65
Figura 13. Estratégias de exploração do espaço .....	69
Figura 14. Estratégias de exploração do espaço: histogramas.....	69
Figura 15. Nova versão do wearable projetada para trabalhos futuros .....	73
Figura 16. Conexão dos componentes eletrônicos de todos os wearables .....	81
Figura 17. Fluxograma para identificação de beacons digitais com rede RF433Mhz .....	82

## Lista de Tabelas

Tabela 1. Pesquisadores e teorias de representação espacial.....	27
Tabela 2. Protótipos de dispositivos para apoio ao tráfego .....	37
Tabela 3. Destaques do estudo observacional .....	40
Tabela 4. Perfil dos Participantes da Oficina de Cocriação .....	46
Tabela 5. Perfil dos Participantes no Estudo de Caso 1 .....	55
Tabela 6. Sequência de testes conforme Latin Square Ordem 5 .....	57
Tabela 7. P-valor a partir de teste Kruskal-Wallis c/ Bonferroni (post-hoc).....	58
Tabela 8. Lista de Participantes do Estudo de Caso .....	63
Tabela 9. Pontos de Referência Explorados por Participante / Tarefa .....	66
Tabela 10. Tabela de Contingência de eventos Miss e Reach.....	66

## Lista de Quadros

Quadro 1. Comentários sobre problemas posturais em deficientes visuais.....	41
Quadro 2. Elementos usados como referência pelo cego ao mapear um espaço... 41	
Quadro 3. Comentários sobre a contagem de passos.....	42
Quadro 4. Relato sobre a estrutura usada no mapa mental.....	42
Quadro 5. Elementos usados como referências ao mapear espaços .....	42
Quadro 6. Comentários de um cego sobre a escolha entre dois caminhos .....	43
Quadro 7. Comentários sobre a dificuldade dos cegos de andar em linha reta .....	43
Quadro 8. A dificuldade de obter uma visão geral do espaço .....	45
Quadro 9. Necessidade de tecnologias para o dia-a-dia .....	45
Quadro 10. Comentários dos participantes sobre as qualidades dos wearables ....	59
Quadro 11. Comentários dos participantes sobre a duração das mensagens.....	60
Quadro 12. Comentários de uma participante após executar Tarefas A e B .....	67
Quadro 13. Comentários sobre o tempo para exploração.....	68

*Logic will get you from A to B.  
Imagination will take you everywhere.*  
Albert Einstein

*To a man possessed of an ill-conditioned  
individuality, all pleasure is like delicate  
wine in a mouth made bitter with gall.*  
Arthur Schopenhauer

# 1 Introdução

Na presente pesquisa investiga-se computação wearable com o objetivo de gerar conhecimento sobre o projeto de wearables para apoiar a locomoção de pedestres cegos. O termo wearable, traduzível para ‘vestível’ ou ‘usável’, é mantido em inglês nessa pesquisa por causa da imprecisão que ocorre nessa tradução. Óculos, maquiagens e perfumes, por exemplo, são ‘wearables’, mas não são ‘vestíveis’.

Nessa pesquisa, a investigação de wearables visa o suporte à construção de uma representação espacial a despeito da ausência de informação visual. Para essa investigação, diferentes wearables foram construídos e testados. Além disso, tomou-se como premissa as teorias que afirmam que os cegos são capazes de montar uma representação cognitiva do espaço. Assim, ao longo da pesquisa buscou-se investigar quais características de um wearable apoiam ou prejudicam o mapeamento mental de um espaço na ausência da visão.

Na revisão de literatura realizada, a maior parte das pesquisas encontradas concentra-se nos problemas de detecção de obstáculos e orientação geográfica. A formação de representação espacial é geralmente investigada pelo uso de mapas táteis ou modelos 3D de um espaço, sem o uso de computação, e apenas uma pesquisa com wearables (GONZALEZ-MORA *et al.*, 1999) foi encontrada durante 2 anos de revisão de literatura. A importância de apoiar a formação de mapas mentais é que as informações referenciadas pelos cegos nesses mapas não são informações oferecidas por sistemas de geolocalização (como postes, plantas, canteiros, muros, etc.). Assim, essa pesquisa tem a finalidade de gerar conhecimento sobre como criar uma camada extra de informações em sistemas de geolocalização que os torne mais úteis para pedestres cegos.

Essa pesquisa tem relevância social, já que seus resultados beneficiam direta ou indiretamente uma parcela significativa da população. Também tem relevância tecnológica, uma vez que essa pesquisa tem o potencial de beneficiar outras pesquisas concentradas nos problemas de orientação ou detecção de

obstáculos. A tendência atual de desenvolver tecnologia wearable foi um fator motivador dessa pesquisa, bem como a mútua influência que existe no desenvolvimento de tecnologias assistivas e de uso geral. Essa discussão sobre a relevância e a motivação da pesquisa é aprofundada na Seção 1.1. Uma visão geral da pesquisa, na qual se detalha o procedimento de pesquisa usado, é apresentada na Seção 1.2. A organização dessa tese é discutida ao longo da Seção 1.2.

### **1.1.Relevância e Motivação da Pesquisa**

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS ou WHO – acrônimo para *World Health Organization*) o número de deficientes visuais no mundo é estimado em 285 milhões de indivíduos, dos quais 39 milhões são considerados cegos (PASCOLINI; MARIOTTI, 2012). Entre os considerados cegos, mais de 85% tem 50 anos de idade ou mais. O critério adotado para a definição de cegueira desde 2010 na Europa, América do Norte e Brasil (com exceções), é considerar cego um indivíduo que se enquadre em pelo menos uma das condições<sup>1</sup> a seguir:

- (1) É capaz de enxergar a 1 metro de distância (3 pés) com a mesma clareza, considerando o olho com melhor acuidade e usando a melhor tecnologia corretiva existente, o que uma pessoa com visão normal enxerga a 18 metros (60 pés) de distância. Essa regra, chamada de “3/60”, é a mais atual adotada pela OMS. Contudo, ainda é muito comum o uso da regra “20/200” (de 2002), inclusive no Brasil.
- (2) Possui campo de visão menor que 10° no melhor olho, usando a melhor tecnologia corretiva existente.

As principais causas de deficiência visual são: os erros de refração não corrigidos (43%) e a catarata (33%). Quando a deficiência visual evolui para cegueira, a principal causa é a catarata (51%). No Brasil, estima-se que os indivíduos cegos representam entre 0.4% e 0.5% da população (4000 a 5000 indivíduos por milhão). Considerando a população brasileira de 190 milhões de habitantes, conforme o Censo de 2010 (IBGE, 2010), o número de indivíduos

---

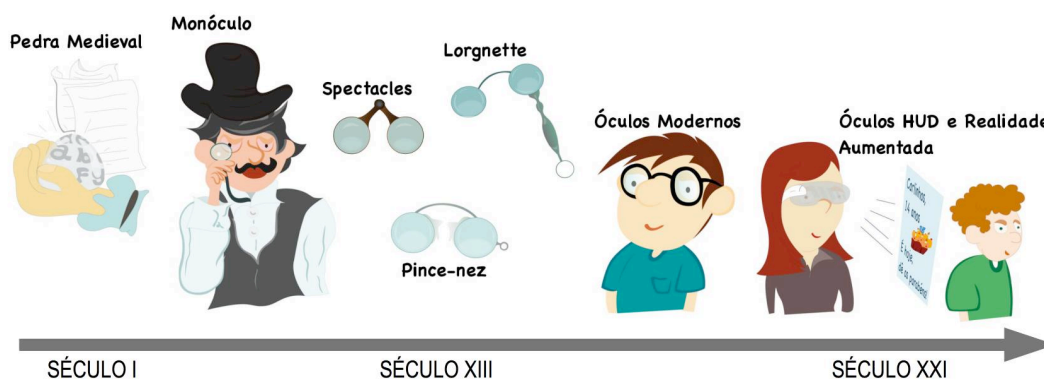
<sup>1</sup> Por essas duas regras também são considerados cegos os indivíduos que enxergam vultos e luz residual.



cegos por esses critérios é estimado em 1 milhão de indivíduos no Brasil.

Além da relevância social, tecnologias assistivas tem uma relevância histórica com a frequente evolução de *handhelds* para wearables. Por exemplo, as histórias de rádio, telefone e órteses auditivas são entrelaçadas: ambos datam do final de 1800 e eram baseados em transmissores de carbono (MILLS, 2011). Alexander Graham Bell, cuja esposa era surda, primeiro desenvolveu uma órtese<sup>2</sup> auditiva elétrica e depois o telefone (ROSS, 2001). Por volta dos anos 1950, as órteses auditivas foram a primeira aplicação comercial dos circuitos integrados (MILLS, 2011).

Outro exemplo típico de tecnologia assistiva muito antiga é a lente corretiva. As lentes de aumento foram inicialmente feitas com cristais de rocha e recipientes cheios de água (*Medieval Reading Stones*) usados como *handheld*. Com o passar dos anos, o material foi aprimorado para lentes menores, mais leves e portáteis, como as lunetas (ROSS, 2001). O *lorgnette* é outro exemplo das lentes de aumento montadas em *handhelds*. O dispositivo evoluiu então para monóculos (*wearable*), por volta do século XIII, que já podiam ser usados sem ocupar as mãos. O *Pince-nez* é outra versão *wearable* com duas lentes corretivas, porém sem hastes para fixação atrás dos ouvidos. Os óculos modernos popularizaram-se a partir do século XVIII em função da diminuição do custo, pois já existiam há algum tempo. Por fim, uma possibilidade mais recente é o uso de lentes de contato – órteses praticamente imperceptíveis. Essa história é ilustrada na Figura 1.



**Figura 1. Evolução das lentes de aumento, corretivas, utilitárias e estéticas**

<sup>2</sup> Órteses são dispositivos conectados ao corpo que mudam a função de um órgão, seja para corrigir ou para ampliar suas capacidades. Próteses substituem um órgão ou membro (braço protético para amputados, por exemplo, ou próteses dentárias). Implantes não substituem um órgão ou membro, mas adicionam volume a um existente.

Os últimos protótipos lançados por companhias como Google e Meta-View prometem expandir o uso das lentes, dessa vez com computação embutida, para muitas outras atividades. Entretenimento, desenho industrial e construção civil são áreas para as quais esses protótipos já oferecem aplicativos gratuitos (mesmo antes do lançamento do produto). A Figura 1 ilustra uma projeção das próximas lentes com base em protótipos existentes da Google e Meta-View. São muitas as possibilidades de uso desses óculos com realidade aumentada: deficientes auditivos, visuais, intelectuais, pacientes com Alzheimer, entre outros. O crescente uso de tecnologia wearable, e a adesão de grandes companhias (como Apple, Samsung, Sony, e Google) a esse mercado também são motivadores do desenvolvimento dessa pesquisa em wearables.

Com relação aos protótipos da Google e Meta-View (Google Glass e Space Glasses, respectivamente), a principal diferença entre eles é que o protótipo da Google usa uma interface baseada em comandos de voz, enquanto o protótipo da Meta é baseado em comandos gestuais (há um conjunto de câmeras similares às do MS Kinect entre as duas lentes). Outra diferença relevante é a lente e a forma de apresentar informações. O protótipo da Meta “projeta” informações como se estivessem a uma distância entre 1 e 5 metros, misturando as informações da camada de software com os objetos da realidade visualizados, enquanto o Google Glass tem uma pequena tela usada para projetar notificações ao usuário. Essas diferenças abrem várias oportunidades de pesquisa para exploração num futuro próximo.

Outra característica dessas tecnologias assistivas que motivou a investigação de wearables é que, historicamente, essas tecnologias evoluem de *handhelds* para wearables e, provavelmente, para implantes. Essa tendência histórica sinaliza que há um espaço para conjugar os atuais smartphones com tecnologias wearable. Assim como as lentes evoluíram para wearables, as primeiras órteses auditivas<sup>3</sup> também eram *handhelds*: dispositivos grandes, pesados e repousados sobre a mesa. Por fim, a miniaturização dos componentes possibilitou a construção de órteses wearable, que também evoluíram para implantes miniaturizados (LEVIT, 2007).

---

<sup>3</sup> As primeiras órteses auditivas **não eletrônicas** também eram *handhelds*

Finalmente, outro fator motivador foi a histórica influência mútua entre o desenvolvimento de tecnologias assistivas e as tecnologias de uso geral (*Mainstream Technologies*). Frequentemente, o avanço alcançado no desenvolvimento de uma tecnologia assistiva é usado no desenvolvimento de tecnologias para o entretenimento, indústria, entre outros. Óculos e órteses auditivas são os exemplos mais conhecidos de tecnologias assistivas que evoluíram para tecnologias de entretenimento e produtividade – sem restrição ao uso por pessoas com deficiência. Por exemplo, já há protótipos de aplicativos do jogo Minecraft para os óculos da Meta, assim como também há aplicativos educacionais. Outra aplicação possível é o uso de óculos de realidade aumentada para apresentar o *replay* automático de um gol para o torcedor que assiste a um jogo num estádio de futebol. Nesse cenário, canais de TV disponibilizarão imagens de diferentes ângulos para melhorar a experiência de torcedores num estádio.

As últimas décadas têm sido marcadas pelo surgimento da computação ubíqua e wearables. Implantes ainda são menos comuns e sua característica invasiva tem o potencial de limitar sua adoção. O equipamento a ser colocado nas cidades ou no corpo agora está conectado a outros equipamentos por meio de redes *ad hoc* como Bluetooth, Zig Bee, assim como diversas outras redes não padronizadas com frequência abaixo de 2.4Ghz (frequências liberadas para uso geral), e conectados às redes locais e internet. Mais do que semáforos eletrônicos, a tecnologia atual possibilita o desenvolvimento de ‘*smart cities, homes, e gadgets*’ acessíveis (DOUKAS *et al.*, 2011; FAN; FORLIZZI; DEY, 2012) e é nesse contexto de ubiquidade que se insere a presente pesquisa.

## 1.2. Visão Geral da Pesquisa

O problema investigado é a dificuldade de locomoção de pedestres cegos. Trata-se de um problema complexo, uma vez que é ocasionado pela ocorrência de vários problemas advindos das dificuldades de percepção e orientação. Nessa pesquisa foi usado o Modelo de Brambling (discutido em detalhes na Seção 2) que divide a dificuldade de locomoção em 2 subproblemas (Percepção e Orientação) e cada subproblema é dividido em outros dois. As dificuldades de percepção são divididas entre as dificuldades de perceber obstáculos e de perceber

pontos de referência. As dificuldades de orientação são divididas entre orientação espacial (espaço próximo) e geográfica (espaço locomotor). A presente pesquisa é focalizada na dificuldade de percepção de pontos de referência. A visão geral dessa pesquisa é:

- **Problema:** Dificuldade de identificar pontos de referência por pedestres cegos
- **Hipótese:** A identificação computacional e comunicação verbalizada de pontos de referência por meio de wearables apoia a criação de uma representação espacial pelo indivíduo cego.
  - Indivíduos cegos percebem colunas, mudanças de textura no chão, amplitude de um espaço, portões, entre outros elementos que são usados como referências. A exploração háptica consome tempo, esforço e nem todos os indivíduos percebem tão bem esses elementos. Além disso, alguns elementos são muito difíceis de serem percebidos, como relógios, estátuas e salas específicas (ou o serviço prestado na sala).
- **Falseabilidade:** A hipótese é refutada se: (1) o uso do wearable não ampliar o número de elementos percebidos; ou (2) se aumentar o tempo usado para sensoriar o ambiente, em comparação com a exploração háptica com a bengala exclusivamente; ou (3) caso o wearable atrapalhe o indivíduo a sensoriar o ambiente com a bengala exclusivamente.
- **Avaliação:** estudos empíricos realizados em ambientes e situações reais para as quais a tecnologia é proposta.
- **Dados:** métricas objetivas de desempenho, e entrevistas.

A pesquisa foi realizada no Instituto Benjamin Constant (IBC), uma instituição federal de ensino dedicada aos deficientes visuais. A pesquisa iniciou-se em 2013, e contou com 29 participantes distintos, dos quais 11 videntes e 18 cegos. Entre os videntes, participaram 3 instrutores de mobilidade do IBC. Foram gravadas mais de 11 horas de entrevistas e vídeos de observação, bem como 86 vídeos (média de 5 minutos cada) provenientes dos estudos empíricos. Foram produzidos 3 protótipos de wearables de baixa fidelidade e 3 protótipos de alta fidelidade distintos. Por fim, para a avaliação das hipóteses dessa pesquisa, foram também desenvolvidos 2 aplicativos para plataforma Android. Ao longo do seu

desenvolvimento, essa pesquisa foi financiada pelo projeto CNPq #458.766/2013-5, que aprovou apoio para o período de 01/2014 a 01/2016.

O primeiro passo desta pesquisa foi realizar uma revisão de literatura, que nesta pesquisa foi do tipo ‘narrativa’ (ROTHER, 2007). Nesse tipo de revisão, busca-se identificar o estado de arte das pesquisas em determinado tema. Esse método é adequado quando ainda não há uma questão de pesquisa muito bem definida, a qual é necessária para o planejamento de uma revisão sistemática (ROTHER, 2007). Nesse caso, a revisão da literatura foi usada para mapear a área de tecnologias de apoio à locomoção de pedestres cegos. Após a revisão da literatura, foi selecionada uma teoria e um modelo teórico desta teoria foi adotado – o Modelo de Brambring (1985); o problema de pesquisa foi selecionado a partir desse modelo. A seleção de um problema a partir da literatura traz algumas vantagens para a pesquisa: (1) o problema é relevante para pelo menos um grupo de pesquisa além do presente grupo; (2) tem o potencial de possibilitar análises comparativas; (3) favorece a identificação de problemas ou abordagens originais para investigar. Em relação à escolha da revisão narrativa em detrimento da sistemática, foi feita a escolha possível que, como resultado, privilegiou relevância e originalidade em troca da replicabilidade dessa revisão. Como a revisão narrativa não tem o compromisso de varrer toda a literatura, nessa pesquisa o autor expressa sua análise crítica, mas abstém-se de conclusões sumárias do tipo: ‘não há pesquisas nessa área’. A revisão de literatura dessa pesquisa é apresentada no Capítulo 2.

Um risco que se corre ao selecionar o problema exclusivamente a partir da literatura é que o mesmo seja relevante num contexto externo, mas irrelevante para a comunidade local na qual se aplicará a pesquisa. Para minimizar esse risco, foi realizado um Estudo Observacional na comunidade local: professores e alunos do Departamento de Reabilitação do IBC. No modelo de classificação em quatro eixos descrito por (MARCONI; LAKATOS, 2010, p.192), o Estudo Observacional realizado nessa pesquisa é classificado como ‘não-estruturado, não-participante, individual, e efetuado na vida real’. Um Estudo Observacional pode e deve ter também entrevistas, conforme realizado nessa pesquisa. Os resultados desse estudo confirmaram a relevância de pesquisas em tecnologias para apoiar a identificação de pontos de referência, mas apontaram também uma urgência no

suprimento de tecnologias de detecção de obstáculos. Esse Estudo Observacional é relatado no Capítulo 3.

Para prototipar os wearables a serem usados na pesquisa, foram realizadas oficinas de cocriação – conforme o método descrito em (FUKS *et al.*, 2012). A prototipação é uma técnica de desenvolvimento útil para a solução inovadora de problemas (SCHRAGE, 1993) e para elicitación de requisitos em domínios que não se conhece muito bem (ARNOWITZ *et al.*, 2010). Nessas oficinas a prototipação é do tipo ‘baixa fidelidade’ por ser uma abordagem rápida, possibilitar a construção de mais protótipos, e adiantar problemas de design que tem o potencial de atrapalhar a avaliação das hipóteses. Ao fim dessa etapa, um protótipo de alta fidelidade foi construído e um teste funcional foi realizado em laboratório. Esse teste foi útil para encontrar problemas de design grosseiros, calibrar a potência do sinal de rádio dos equipamentos e para possibilitar que sujeitos de pesquisa participem somente quando realmente necessário (conforme recomendado a resolução 196/96 versão 2012 do Conselho Nacional de Saúde). As oficinas de cocriação também são descritas no Capítulo 3.

O primeiro estudo empírico foi realizado com o objetivo de investigar a ocorrência do *masking*, problema causado pela tecnologia que se caracteriza pela sobrecarga cognitiva e pelo prejuízo ao sensoriamento do ambiente com os sentidos remanescentes do indivíduo. Para essas avaliações empíricas, foi usado o método Estudo de Caso (YIN, 2014). De acordo com Robert Yin (2014), Estudo de Caso é um método adequado quando se “investiga um fenômeno no seu ambiente natural, quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não são bem definidas (...) em que múltiplas fontes de evidência são usadas”. A hipótese dessa pesquisa tem de ser avaliada necessariamente em situações reais. O problema do *masking*, por exemplo, é menos relevante (e mais raro de ocorrer) em situações fictícias. Uma vez que os estudos foram feitos em situações reais e envolveu seres humanos, o controle requerido por um experimento não foi alcançado. O Estudo de Caso lida bem com essa dificuldade de controle por instrumentar o pesquisador para avaliações além da relação causa-efeito e por lidar bem com o uso de dados quantitativos e qualitativos. Na Figura 2, é ilustrado um exemplo de interrupção não programada nos testes que ocorreu durante o primeiro Estudo de Caso.



**Figura 2. Exemplo de interrupção não programada em estudo empírico**

A ocorrência do *masking* durante o uso do wearable proposto invalida a hipótese dessa pesquisa porque impacta significativamente o ritmo de caminhada do indivíduo e prejudica o uso dos seus sentidos para o sensoriamento do ambiente. Por isso, para essa investigação foi usada uma métrica objetiva para coletar observações que foram comparadas com testes estatísticos apropriados. Além da avaliação quantitativa, foram feitas entrevistas para investigar em profundidade a experiência dos participantes com a tecnologia proposta. Essa avaliação em profundidade, conjugando dados quantitativos e qualitativos é uma característica comum em Estudos de Caso e que não é possível em experimentos, para os quais os dados quantitativos são suficientes. Para preservar a validade interna dessa pesquisa, e evitar a ameaça da maturação, foi usado o método Latin Square de Ordem 5. Esse estudo empírico é descrito em detalhes no Capítulo 4.

No segundo Estudo de Caso, foi investigada a utilidade do wearable para a identificação de pontos de referência. A hipótese dessa pesquisa também é refutada se a tecnologia não produzir nenhum benefício na identificação de pontos de referência. O estudo foi projetado para comparar a quantidade de pontos de referência encontrada pelos participantes com e sem o apoio do wearable. O desempenho dos indivíduos ao explorar somente com a bengala foi comparado com o desempenho obtido ao usar o wearable. Esse estudo empírico é relatado em detalhes no Capítulo 5. As limitações de cada estudo são listadas na última seção dos seus respectivos capítulos. Conclusão e Trabalhos Futuros são discutidos no Capítulo 6.

## 2 Fundamentação Teórica

A representação espacial por indivíduos cegos, no contexto dessa pesquisa, é uma teoria subjacente à presente pesquisa de computação aplicada, uma vez que o desenvolvimento de wearables nessa pesquisa toma como premissa a teoria da diferença com o objetivo de gerar conhecimento sobre o desenvolvimento de wearables. As teorias de representação espacial por cegos são discutidas na Seção 2.1. Partindo das mesmas premissas desta pesquisa, Michael Brambring (1985) definiu um modelo de locomoção de cegos, que é usado como referência nessa pesquisa e apresentado na Seção 2.2.

As tecnologias assistivas são discutidas sob uma perspectiva histórica na Seção 2.3. Ainda na Seção 2.3, discute-se a classificação das tecnologias modernas de apoio ao tráfego (chamados de ETA – do inglês ‘*Electronic Travel Aids*’ e EOA – do inglês ‘*Electronic Orientation Aids*’). Trabalhos relacionados a esta pesquisa são listados e comparados na Seção 2.4.

### **2.1. Teorias sobre a representação espacial em indivíduos cegos**

A capacidade de obter uma representação do espaço é uma habilidade importante para a locomoção (WIENER; BÜCHNER; HÖLSCHER, 2009). Se um indivíduo vidente fechar os olhos e cruzar um espaço conhecido, certamente usará um ‘mapa mental do lugar’, obtido a partir da sua visão, para decidir o trajeto e evitar obstáculos conhecidos. Além do mapa mental obtido pela visão, o sujeito vidente usa um conjunto de conceitos espaciais e habilidades de orientação obtidos ao longo de sua vida. O indivíduo vidente começa a aprender sobre o espaço ainda na infância, desde o primeiro momento em que vê suas mãos, de modo que a visão, para esses indivíduos, tem papel fundamental na representação do espaço (UNGAR, SIMON, 2000). Defensores das teorias mais aceitas dizem ainda que algumas habilidades espaciais são inatas, como a percepção do espaço em três dimensões de forma independente da visão.

Em função da importância da visão para a formação de uma representação do espaço, a representação espacial em indivíduos cegos tem sido discutida há



séculos. O exemplo mais antigo conhecido originou-se de uma carta enviada pelo filósofo Molyneux (cuja esposa era cega) para seu colega Locke, em 7 de julho de 1688 (LOCKE, 1975). O experimento fictício proposto por Molyneux é conhecido como o “Problema de Molyneux”. No experimento, um homem adulto e cego de nascença recebe dois objetos para explorar com o sentido háptico. Os objetos, um cubo e uma esfera, são feitos a partir do mesmo metal e tem o mesmo tamanho e peso. Após um certo tempo de exploração háptica, os objetos são postos sobre uma mesa e ao homem é dado o sentido da visão. Molyneux, elabora várias perguntas a partir da restrição de que ao homem não será permitido usar o sentido háptico. Entre as perguntas, destacam-se: (1) será o homem capaz de distinguir e determinar qual dos objetos é um cubo e qual é uma esfera? (2) Será o homem capaz de distinguir qual objeto está mais próximo usando exclusivamente o sentido da visão? A comunidade científica formulou três respostas para essas questões (concernentes à percepção de três dimensões), e cada resposta corresponde a uma das três teorias sobre representação espacial em indivíduos cegos: deficiência, ineficiência e diferença.

A teoria da **deficiência** diz que a ausência de experiência visual resulta na total ausência de compreensão espacial. A teoria da **ineficiência** afirma que a ausência de experiência visual não implica em ausência de compreensão espacial, mas que é possível adquirir uma representação similar do espaço, embora essa representação seja necessariamente menos eficiente que a de um sujeito vidente. Por fim, a teoria da **diferença** também afirma que é possível ao indivíduo cego obter a representação de espaços e diferencia-se da teoria da ineficiência por afirmar que a compreensão do espaço entre indivíduos videntes e cegos é qualitativamente diferentemente, mas funcionalmente equivalente (ANDREWS, 1983; FLETCHER, 1980).

A teoria da deficiência era a mais aceita no século XVIII, sendo George Berkeley um dos principais autores a defender essa teoria. Entre os defensores da teoria da deficiência, destacam-se ainda Locke e Molyneux, conforme comentários de Locke na segunda edição de seu livro:

I agree with this thinking gentleman, whom I am proud to call my friend, in his answer to this problem; and am of opinion that the blind man, at first sight, would not be able with certainty to say which was the globe, which the cube, whilst he only saw them; though he could unerringly name them by his touch, and certainly distinguish them by the difference of their figures felt. (LOCKE, 1975, cap. 9)

Em seu trabalho “*An Essay towards a New Theory of Vision*”, Berkeley (1709) argumenta que a percepção de elementos espaciais, como forma e distância, é aprendida e ocorre sempre pela **associação** entre visão e sentido háptico. Os primeiros dados experimentais usados para investigar as teorias de representação espacial datam de 1728, quando o cirurgião britânico William Cheselden removeu a catarata de um jovem que a adquiriu congenitamente (CHESELDEN, 1728). Num primeiro momento o rapaz não conseguiu distinguir objetos, independente da diferença em forma e magnitude dos mesmos. Os defensores da teoria da deficiência apontaram os dados como prova inequívoca da sua validade, porém muitas críticas surgiram sobre a validade do experimento, notadamente: a) o jovem não teve tempo de recuperar-se da cirurgia e não enxergava bem no momento do experimento, b) ao jovem foram feitas perguntas tendenciosas, e c) os resultados derivaram da capacidade intelectual do jovem, que já não conseguia distinguir algumas formas mesmo antes da cirurgia.

No século XIX, com a popularização da cirurgia da catarata, muitos novos experimentos foram feitos. Contudo, os casos não puderam ser facilmente comparados em função das diferenças nas condições pré- e pós-operatórias dos pacientes. Nesse mesmo período, especialistas começaram a investigar a visão de animais e bebês recém-nascidos, como uma abordagem para investigar o problema de Molyneux. Alguns desses pesquisadores, como Adam Smith e Johannes Müller, argumentam que a visão de animais recém-nascidos e bebês é comparável à de um homem cego que passou a enxergar<sup>4</sup> (HELMHOLTZ, 1925; LENOIR, 1993). A hipótese da capacidade inata (cujos defensores são chamados de “nativistas”) passou a ser um forte argumento contra a teoria de Berkeley, uma vez que alguns desses animais percebem a distância imediatamente após o nascimento (de modo que o treino e a associação da visão com o sentido háptico não são necessários, como defendido por Berkeley).

---

<sup>4</sup> Hermann von Helmholtz foi sucessor de Johannes Müller e suas obras são as fontes mais acessíveis de detalhes das teorias de Müller, especialmente pelas comparações feitas por Helmholtz, um “Empirista” que discordava de parte da teoria de seu mentor “Nativista”. Timothy Lenoir apresenta uma extensa discussão sobre as teorias de Müller e Helmholtz em sua obra intitulada “*The Eye as a Mathematician*” (1993).

Os defensores da teoria da ineficiência – em oposição à teoria de Berkeley – afirmam que as noções de distância e forma são inatas, mas também aperfeiçoadas pela experiência e associação dos sentidos (HELMHOLTZ, 1925; LENOIR, 1993). Entre pesquisadores do século XX, Géza Révész (1950) é um dos poucos a defender a teoria da ineficiência. Révész (1950) afirma que a representação espacial em cegos é baseada em coordenadas hápticas e autocentradas (egocêntrica, baseada no toque e movimentos do corpo), enquanto videntes representam o espaço por meio de referências externas (alocêntricas), normalmente vinculadas a pontos de referência, caminhos e visão planimétrica. Diversos pesquisadores provêm fortes evidências empíricas para essa diferença na forma de representar o espaço entre cegos e videntes (BYRNE; SALTER, 1983), inclusive defensores da teoria da diferença (BRAMBRING, 1985; MILLAR, SUSANNA, 1994).

**Tabela 1. Pesquisadores e teorias de representação espacial**

	Século XVII	Século XVIII - XIX	Século XX - XXI
Teoria da deficiência	John Locke, William Molyneux, George Berkeley	William Cheselden	
Teoria da ineficiência		Adam Smith, Johannes Müller	Géza Révész, Hermann von Helmholtz, Timothy Lenoir
Teoria da diferença			Susana Millar, Michael Brambring, Simon Ungar, Sona K Andrews, Janet Fletcher

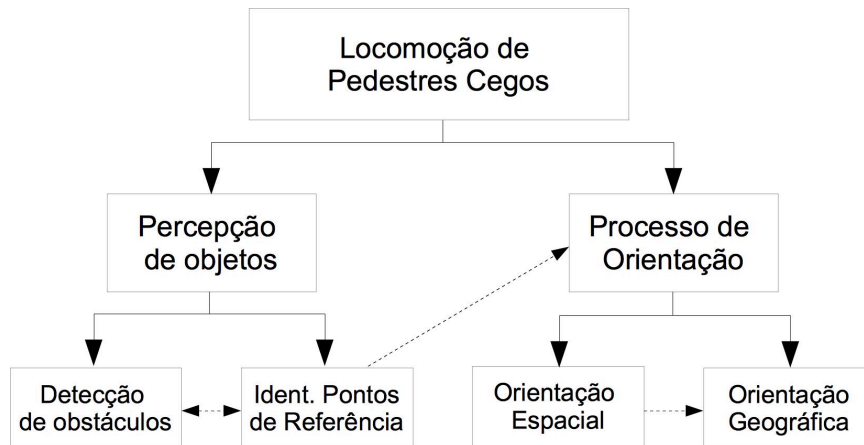
A posição de consenso da atualidade é assumir a teoria da diferença (essa tendência pode ser vista na Tabela 1). Michael Brambring (1985), Millar (1995; 1994), Ungar *et al.* (1995; 1997; 2000), entre outros, apresentam dados experimentais relevantes que apoiam a teoria da diferença. Brambring (1985) clarificou algumas diferenças qualitativas na descrição de rotas por indivíduos cegos e videntes. A conclusão de Brambring é que cegos usam muito mais informações sensoriais para descrever uma rota que indivíduos videntes. Além da quantidade de informação, indivíduos cegos têm melhor noção de distância que

videntes e – em concordância com Révész (1950) – tendem a usar uma orientação autocentrada, relacionando os objetos do espaço com o seu próprio corpo, enquanto videntes não informam distâncias (ou a fazem de maneira muito menos precisa) e tendem a usar preferencialmente referência externa – facilitada pela visão – para os pontos de referência. A dificuldade em diferenciar as teorias da ineficiência e diferença advém da dificuldade em esclarecer se os indivíduos cegos não conseguem traçar uma rota de melhor desempenho ou se as ‘longas’ rotas descritas são fruto da preferência por um caminho com mais informação sensorial, menos sobrecarga cognitiva, menos obstáculos, entre outras características importantes para indivíduos privados da visão.

A presente pesquisa toma como premissa as teorias da ineficiência e diferença, ou seja, que indivíduos cegos são capazes de adquirir uma representação do espaço – independente da qualidade da rota. Essas duas teorias são as mais aceitas na atualidade. O modelo de Brambring, descrito na seção seguinte, é usado para organizar as pesquisas em tecnologias assistivas para apoiar a mobilidade de cegos. Nas demais seções desse capítulo discutem-se: o conhecimento gerado em tecnologia computacional para apoiar a mobilidade, e os problemas gerados por esses dispositivos. Em seguida, é estabelecida uma agenda de pesquisa a partir de oportunidades identificadas na literatura.

## **2.2. Modelo de Brambring para a locomoção de cegos**

A dificuldade de mobilidade em indivíduos cegos é caracterizado pela incidência concomitante e cumulativa das dificuldades de perceber objetos e de orientar-se num ambiente (BRAMBRING, 1985). Essa divisão do problema de mobilidade em dois subproblemas, dificuldade de percepção e dificuldade de orientação, é proposta por Brambring (1985) e usada com frequência (HERSH; JOHNSON, 2008; UNGAR, SIMON, 2000) para caracterizar os dispositivos eletrônicos de apoio ao tráfego (como dispositivos para detecção de obstáculos e dispositivos para navegação). Dispositivos projetados para apoiar a percepção são considerados “primários”, enquanto os dispositivos projetados para apoiar a orientação (também chamada de “navegação”) são considerados “secundários” (HERSH; JOHNSON, 2008). O modelo de Brambring é ilustrado na Figura 3.



**Figura 3. Modelo de Brambring para a locomoção de cegos**

Segundo Brambring (1985) e Hersh & Johnson (2008), a percepção refere-se à obtenção de informações sobre o ambiente por meio dos sentidos e a orientação é o conhecimento da sua posição num caminho. De maneira iterativa, a cada mudança de posição o indivíduo combina as informações obtidas pela percepção e orientação para decidir que direção tomar.

### 2.2.1. Dificuldade de Percepção

A percepção do espaço próximo ou háptico<sup>5</sup>, para videntes e cegos, é geralmente centrada no corpo do indivíduo (*body centred*), enquanto a percepção do espaço locomotor<sup>6</sup> é geralmente centrada em pontos de referência. Embora haja evidência dessas preferências na literatura, qualquer tarefa espacial pode ser realizada com percepção centrada no corpo ou em pontos de referência (UNGAR, 2000). Indivíduos cegos, no entanto, não conseguem perceber tão bem o espaço locomotor sem mover-se: é preciso locomover-se para explorar espaços mais distantes, o que lhes dificulta manter a referência corporal (é preciso traduzir as referências existentes para a nova posição do corpo). Por isso, cegos têm dificuldade em combinar as informações de percepção dos espaços háptico e

<sup>5</sup> Espaço háptico, ou espaço-próximo, é o espaço explorável pelo toque, que está ao alcance das mãos e bengala sem necessidade de locomoção do indivíduo (HERSH; JOHNSON, 2008; UNGAR, 2000).

<sup>6</sup> Espaço locomotor (também chamado de "*far-space*") é o espaço geográfico que requer locomoção para ser alcançado e está além do alcance das mãos e bengala (UNGAR, 2000; HERSH & JOHNSON, 2008).

locomotor (MILLAR, 1994). É possível perceber o espaço locomotor sem a visão (por meio de odores, sons particulares, mudanças súbitas de temperatura, etc.), mas os outros sentidos são menos precisos para determinar a posição que o sentido da visão (JANSSON, 2008).

Além da precisão na localização de um ponto de referência, a visão tem um papel importante na percepção por possibilitar a combinação de estratégias de percepção (centrada no corpo e referenciamento externo), o que facilita a criação de um mapa cognitivo de obstáculos, ameaças e pontos de referência. O vidente pode também “sentir” o espaço locomotor sem mover-se e ao mesmo tempo usar a exploração háptica para sensoriar o espaço próximo, especialmente para percepção de texturas, temperaturas e outras tarefas nas quais o sentido háptico é mais adequado que a visão. A importância de combinar estratégias para a formação de um mapa cognitivo é reforçada nos estudos de Ungar & Blades (1997), Millar (1995; 1994) e Hersh & Johnson (2008), na qual o desempenho de cegos em tarefas espaciais complexas foi melhor entre os indivíduos que usaram mais referências externas (foram disponibilizados mapas táteis e um Optacon<sup>7</sup>) em conjunto com as referências centradas no corpo.

Os dispositivos eletrônicos de apoio ao tráfego (*Electronic Travel Aids* – ETAs) usam a estratégia de “ampliar o espaço próximo”, ou seja, ampliar o espaço explorável pelos demais sentidos sem locomover-se. É o caso da bengala comum. Com a bengala, o indivíduo consegue explorar 1m a mais (3 pés) do espaço próximo ao solo e imediatamente a frente de seu corpo (BALL, 2008; HOYLE; WATERS, 2008). A bengala eletrônica amplia essa distância para até 3 metros (HOYLE; WATERS, 2008) e possibilita reconhecer objetos com bases menores e projeções aéreas, pois os pontos de sensoriamento são múltiplos (próximos ao solo e também direcionados para obstáculos até a altura dos olhos). De maneira geral, os objetivos desses ETAs são: (1) detectar obstáculos na altura das pernas, peito e cabeça, e (2) identificar se há espaço suficiente no trajeto (caminhos que se estreitam, paredes, andaimos, etc.), e (3) detectar mudanças no terreno (degraus, buracos, pisos escorregadios, etc.).

---

<sup>7</sup> Optacon é um dispositivo similar a um escâner de mão usado por cegos para a leitura de material impresso não escrito em Braille.

Entre os dispositivos não-eletrônicos de apoio ao tráfego, o mais comum é a bengala. Há também uma versão eletrônica da bengala (UltraCane). Ambas requerem treinamento para um uso eficiente. Por exemplo, ao aumentar o “espaço próximo” com a bengala eletrônica (em estudo com indivíduos experientes no uso da bengala comum), observou-se que os indivíduos desenvolveram um padrão de caminhada anormal, parando excessivamente em função de obstáculos distantes – o que diminui o desempenho geral num primeiro momento (HERSH; JOHNSON, 2008; JANSSON, 2008; MILLER, 1967). Segundo os autores, o efeito é revertido após aproximadamente três meses de treino com a bengala eletrônica. Ao aumentar o espaço de exploração háptica por meio de tecnologia, objetiva-se que o indivíduo tenha mais recursos para usar o referenciamento externo, que é então combinando com informações obtidas pela estratégia centrada no corpo (ao explorar o espaço próximo). No entanto, em diversos estudos na literatura, o que se observou foi uma sobrecarga cognitiva do indivíduo devido ao excesso de informações obtidas e transmitidas em maneira e quantidades inadequadas (BORENSTEIN; ULRICH, 1997; BRABYN, J A, 1982; MEIJER, 1992; ULRICH; BORENSTEIN, 2001).

O problema do mascaramento dos sentidos, *masking*, é comumente associado à sobrecarga cognitiva imposta por ETAs. O *masking* é descrito na literatura como a dificuldade de sentir o ambiente por meio dos outros sentidos (notadamente a audição) causada pelo excesso de *feedback* (BRABYN, J A, 1982; FARCY *et al.*, 2006; KAY, L., 1974; KAY, LESLIE, 1964). Frequentemente o *masking* é relatado em estudos nos quais a tecnologia faz um mapeamento de uma imagem em um padrão audível para ser interpretado pelo indivíduo (MEIJER, 1992; SHOVAL *et al.*, 1994; SHOVAL *et al.*, 1998). Os padrões audíveis são sempre considerados difíceis de aprender e requerem muita atenção do indivíduo, que passa a ficar inapto para sentir o ambiente com as técnicas que já está acostumado a usar.

### **2.2.2. Dificuldade de Orientação**

No modelo de Brambring, o processo de orientação é dividido em espacial e geográfico. A orientação espacial refere-se ao espaço próximo ao corpo e é evidenciada pela habilidade de manter uma posição no ambiente imediato do

viajante (HERSH; JOHNSON, 2008, pág. 172), como manter a posição ótima num pavimento acidentado sem desviar-se do curso desejado. A orientação geográfica refere-se ao espaço locomotor e é a habilidade de um indivíduo determinar sua posição no espaço geográfico durante o tráfego (HERSH; JOHNSON, 2008).

A identificação de pontos de referência para apoiar a orientação espacial e geográfica é um tema que tem sido pouco investigado (há uma preponderância de pesquisas ligadas à detecção de obstáculos, conforme observado nessa revisão de literatura) e que possui algumas oportunidades em aberto para a pesquisa e o desenvolvimento de ETAs (HERSH; JOHNSON, 2008), por exemplo: localização de portas ou objetos desejados no destino desejado (como lixeiras ou cadeiras), otimização do tráfego por meio da percepção de pontos críticos (como a indicação do caminho menos acidentado numa via), detecção de cruzamentos de ruas, detecção e identificação de placas de sinalização, detecção e identificação de meios de transportes e outros serviços públicos (HERSH; JOHNSON, 2008).

Essas tecnologias de orientação tem o potencial de apoiar o indivíduo na criação de uma representação espacial mais rica que, por sua vez, tem papel central na orientação de indivíduos. Na literatura, alguns estudos foram conduzidos para investigar a capacidade de representação espacial de indivíduos cegos. Esses estudos apresentam evidências de que a *“falta de visão não impossibilita a aquisição de representações espaciais”* (MILLAR, S., 1995; MILLAR, 1994; UNGAR *et al.*, 1995; UNGAR, 2000). Contudo, para essa representação, indivíduos cegos usam preferencialmente a estratégia de referenciamento centrado no corpo, tanto para tarefas no espaço háptico como no espaço locomotor – o que compromete seu desempenho, já que a estratégia de referenciamento externo apresenta melhores resultados em cenários complexos e quando há necessidade de locomoção. Os indivíduos com cegueira congênita geralmente apresentam ainda mais dificuldades em usar estratégias de referenciamento externo em relação a indivíduos que adquiriram a cegueira ao longo da vida.

Para as pesquisas em ETAs, o aspecto humano não pode ser negligenciado. É preciso levar em conta diferenças entre os indivíduos, como: cegueira congênita ou adquirida (e a idade em que foi adquirida), idade, gênero, etc. Como comentado por Hersh & Johnson (2008), sobre as pesquisas de tecnologias para



apoiar a mobilidade de cegos, “no passado houve uma tendência em focar nos aspectos técnicos da locomoção de cegos e pouca atenção foi dada para a dimensão humana” (tradução livre). Os autores especulam que a falta de atenção para os aspectos humanos seja uma das razões da baixa adoção dessas tecnologias. A bengala comum, o cão guia e o guia vidente ainda são os recursos mais usados por cegos para apoiar sua mobilidade (HERSH; JOHNSON, 2008, pág. 173). Pesquisas recentes em ETAs têm focado na descrição do equipamento, no peso, ergonomia, facilidade de uso, atenção demandada, entre outras características consideradas intervenientes na adoção de uma tecnologia (BALL, 2008; HERSH; JOHNSON, 2008).

Com relação ao desempenho, os ETAs secundários geralmente apresentam melhores resultados na orientação geográfica que na orientação espacial, como é o caso de equipamentos baseados em GPS (*Global Positioning System*) ou outros sistemas de posicionamento como o GIS (*Geographic Information System*). A direção do indivíduo, nesses sistemas, é inferida por uma combinação de sensores de movimento e sistemas de posicionamento e esse tipo de inferência é impreciso, especialmente durante as mudanças de direção. Atualmente, os melhores sistemas de posicionamento possuem uma margem de erro de até pouco menos de 3.5 metros horizontais no melhor caso, e 7.8 metros no pior caso (95% de confiança) (D.O.D., 2014)(FAA GPS PRODUCT TEAM, 2014) e também são sujeitos a áreas de sombra geradas por prédios altos e ambientes internos. O objetivo desses sistemas de navegação ou orientação geográfica é construir uma rota para o destino desejado e atualizá-la ao longo do trajeto para apoiar o pedestre.

ETAs secundários projetados para apoiar a orientação espacial (espaço háptico) geralmente consistem em combinações dos dados de sistemas de posicionamento com dados de sensores de movimento, como acelerômetros, giroscópios e magnetômetros (usados em bússolas). O objetivo é aumentar a precisão e diminuir as falhas em casos de áreas de sombra. Esses sensores de movimento, no entanto, são sujeitos a falhas durante o uso que comprometem sua confiabilidade para tarefas que requerem precisão. Os acelerômetros, por exemplo, oferecem leituras muito rápidas, mas os dados tem muitos ruídos e são sensíveis à movimentação (pois é gerada aceleração), o que prejudica a leitura angular. Giroscópios, por sua vez, reagem muito mais lentamente à inclinação e

apresentam um “*drift*”<sup>8</sup> crescente durante o uso, o que os torna menos confiáveis para tarefas mais longas. Geralmente combinam-se acelerômetros com giroscópios para obter uma leitura mais precisa da inclinação e direção dos sensores. Os magnetômetros são sujeitos à alterações drásticas na sua precisão em função de campos magnéticos presentes no ambiente. Estruturas metálicas no ambiente, como um extintor de incêndio, são suficientes para inutilizar a leitura dos dados desse sensor em alguns casos.

### 2.2.3. Discussão: Fatores Humanos e *Masking*

A maior parte dos dispositivos primários e secundários de apoio ao tráfego tem como funções: (a) obter informações do espaço próximo (por exemplo, ETAs para detecção de obstáculos e orientação espacial), e (b) obter informação sobre o espaço locomotor (identificação de pontos de referência e orientação geográfica). A maior parte das pesquisas é direcionada à investigação de métodos para obter essa informação e menos esforço tem sido dedicado à investigação sobre a forma de comunicar essa informação ao indivíduo (HERSH; JOHNSON, 2008). Alguns autores argumentam que essa é uma das razões para a grande quantidade de dispositivos que não são adotados por deficientes visuais (BRABYN, 1985; FARCY *et al.*, 2006).

A comunicação ao indivíduo por meio de *feedback* audível tem sido relacionada ao problema do *masking*, enquanto a comunicação por meio do *feedback* háptico não possui resolução suficiente para ambientes reais de uso, além da dificuldade de selecionar áreas na pele para o uso do *feedback* háptico. Alguns indivíduos cegos são também diabéticos (o glaucoma, comum em diabéticos, é uma das causas da cegueira) e uma das consequências dessa condição é a perda de sensibilidade nas extremidades. Mãos e dedos, por exemplo, possuem sensibilidade háptica muito maior que o braço. As abordagens híbridas (*feedback* audível e háptico combinados) são as menos investigadas na literatura.

---

<sup>8</sup> *Drift*, nesse contexto, é um desvio do valor de leitura que se obtém do sensor em estado de repouso. Esse valor é usado nos cálculos de inclinação e, para compensar esse desvio, alguns equipamentos tem uma função de calibração, que consiste em movimentar intensamente o sensor e depois repousá-lo para que esses valores de repouso sejam capturados novamente e armazenados.

Outra característica que pede a atenção do projetista de ETAs é a necessidade de treinamento para processar informação háptica ou audível e em que idade esse treinamento proporciona melhores resultados. Alguns estudos indicam que um treinamento adequado em crianças tem o potencial de superar (ou ao menos reduzir o impacto) de limitações relacionadas à interpretação do *feedback* oferecido (MILLAR, 1995; MILLAR, 1994), de modo que esses pesquisadores investigam o treinamento precoce como forma de minimizar o impacto do *masking* no usuário da tecnologia. Na presente pesquisa, rejeita-se essa abordagem de treinamento precoce, pois a mesma busca adequar o indivíduo à tecnologia, em vez de adequar a tecnologia ao indivíduo - o que não é esperado numa pesquisa em computação.

Por fim, para evitar o *masking*, é importante também investigar o montante adequado de informação que deve ser transmitida ao indivíduo e o momento exato de transmiti-la. Transmitir poucas informações prejudica a formação da representação espacial pelo indivíduo, enquanto o excesso de informação transmitida sobrecarrega seus sentidos e toma a atenção necessária para perceber o ambiente ao seu redor.

### **2.3. Tecnologia Assistiva Eletrônica e a Segunda Guerra Mundial**

A partir dos anos 1950 e 60, após a Segunda Guerra Mundial, obtiveram-se muitos avanços no desenvolvimento de tecnologias assistivas. Quanto aos dispositivos eletrônicos desenvolvidos a partir dessa época, o avanço foi possibilitado pela miniaturização dos componentes eletrônicos que tem ocorrido desde a invenção do transistor em 1947 (RIORDAN; HODDESON, 1998; ROSS, I. M., 1998). Atualmente, os componentes eletrônicos estão muito pequenos, são vestíveis e, em alguns casos, ocultáveis sob a maquiagem – o que possibilita um uso discreto e sem ocupar as mãos (VEGA; FUKS, 2013). O poder computacional desses componentes também aumentou desde 1947 e hoje é possível embarcar software nesse hardware miniaturizado, o que possibilita o desenvolvimento de sistemas cientes de contexto (*context-aware systems*), muito frequentes em publicações recentes da literatura.

Nos primeiros dispositivos eletrônicos de apoio ao tráfego (ETA – *Electronic Travel Aids*), laser e ultrassom foram os sensores mais usados e o

desenvolvimento foi principalmente voltado à detecção e desvio de obstáculos. Alguns exemplos de protótipos das décadas de 50 a 70 são o ‘Franklin Institute Electronic Cane’ (GIBSON, 1963), ‘Mowat Sensor’ (KAY, 1984) e o ‘Pathsounder’ (WARREN; STRELOW, 1985). Uma característica dos equipamentos dessa geração é o tamanho, suficiente para protótipos, mas ainda grande, além de pesado, para uso em situação real (DAKOPOULOS; BOURBAKIS, 2010).

Nos anos 70 houve avanços no planejamento de rotas principalmente por causa do surgimento do papel cápsula (que expande quando aquecido), que facilitou a produção de mapas táteis em comparação aos materiais que o precederam. Essa tendência se manteve durante as décadas de 1980 e 1990. Nos anos 1990, percebe-se um aumento no número de pesquisas direcionadas à localização e orientação (HARPER, 1998). Os sistemas desenvolvidos nessa década, como ‘Audio Signs’ e ‘Sound Buoys’, foram projetados para transmitir uma informação sonora a um indivíduo que se aproxima da faixa de detecção do dispositivo fixado no ambiente. Esses sistemas foram bem sucedidos e são usados atualmente em algumas cidades (por exemplo, em sinalizadores de semáforos), mas requerem o replanejamento do espaço urbano e considerável investimento financeiro. As tecnologias mais recentes são wearable e, em alguns casos, implantáveis. Por fim, a área de Beauty Technology (VEGA; FUKS, 2013) destaca-se como um ramo da Computação Wearable que esconde a tecnologia sem a característica invasiva dos implantes. Já foram testadas aplicações dessa tecnologia para o benefício de pessoas com deficiência.

## **2.4.Trabalhos relacionados**

Nessa seção é apresentada uma revisão de pesquisas para o desenvolvimento de ETAs. São listados 12 protótipos na Tabela 2.

A maior parte (7/12) dos protótipos avaliados foi projetada para dar *feedback* exclusivamente por meio de áudio. Uma conclusão recorrente dos autores dessas pesquisas é que os padrões de áudio são difíceis de aprender, especialmente quando usados em mapeamentos de imagem. Além disso, quando o usuário consegue interpretar o áudio, o seu tempo de resposta ao estímulo é muito alto, tornando o mecanismo inviável para o uso em situações reais. Na literatura, o

problema do “mascaramento” é relacionado à dificuldade do indivíduo em ouvir o ambiente por causa da sobrecarga de informação imposta pelo dispositivo, geralmente por meio de *feedbacks* audíveis (ULRICH; BORENSTEIN, 2001). O *feedback* háptico também é difícil de ser interpretado quando se usa um mapeamento de imagem para matrizes de motores de vibração.

**Tabela 2. Protótipos de dispositivos para apoio ao tráfego**

Protótipo	Tipo Feedback / Sensor	Problema atacado	Aval. por usuários?	Sujeitos (V)endados (C)egos	# Sujeitos
Echolocation (IFUKUBE <i>et al.</i> , 1991)	Áudio / Ultrassônico	Detecção Obstáculos	<input checked="" type="checkbox"/>	V	2
NavBelt (SHOVAL <i>et al.</i> , 1994)	Audível / Ultrassônico	Detecção Obstáculos	<input checked="" type="checkbox"/>	V	?
vOICe (MEIJER, 1992)	Audível / Câmera	Detecção Obstáculos	<input checked="" type="checkbox"/>	--	--
Univ. Stuttgart (HUB <i>et al.</i> , 2004)	Audível / Câmera	Navegação indoor	<input checked="" type="checkbox"/>	--	--
Florida Int. Univ. (AGUERREVERE, 2004)	Audível / Ultrassônico	Detecção Obstáculos	<input checked="" type="checkbox"/>	V	4
Virtual Acoustic Space (GONZALEZ-MORA <i>et al.</i> , 1999)	Audível / Câmera	Representação espacial	<input checked="" type="checkbox"/>	C / V	6/6
NAVI (SAINARAYANAN <i>et al.</i> , 2007)	Audível / Câmera	Detecção Obstáculos	<input checked="" type="checkbox"/>	--	--
Guelph Project (ZELEK <i>et al.</i> , 1999)	Háptico / Câmera	Navegação indoor	<input checked="" type="checkbox"/>	--	--
GuideCane (BORENSTEIN; ULRICH, 1997)	<b>Força direta/</b> Ultrassônico	Detecção Obstáculos	<input checked="" type="checkbox"/>	C / V	3/7
ENVS (MEERS; WARD, 2005)	<b>Eletro-tátil /</b> Câmera	Detecção Obstáculos e navegação outdoor	<input checked="" type="checkbox"/>	V	?
CyARM (ITO <i>et al.</i> , 2005)	Háptico e Audível / Ultrassônico	Detecção obstáculos	<input checked="" type="checkbox"/>	V	4
ITU-ENSAIT (BAHADIR <i>et al.</i> , 2012)	Háptico Ultrassônico	Detecção obstáculos	<input checked="" type="checkbox"/>	--	--

O sensor mais frequentemente usado foi a câmera, embora sonares também sejam frequentes. Uma característica comum a quase todos os protótipos baseados em câmera é que um laptop geralmente é usado para processar as imagens, com exceção do CyARM – cujo hardware tem o tamanho semelhante ao de um *tablet* moderno. Os protótipos nos quais o usuário teve de carregar um laptop tem o uso comprometido em situações reais, em função do peso e da indiscrição.

Apenas o protótipo ENVIS (baseado em feedback eletro-tátil) foi testado em situações reais, como ruas (internas ao campus) e estacionamentos. Apenas o protótipo “GuideCane” foi concebido a partir de estudos com usuários e 7 (de 12) protótipos tiveram algum tipo de avaliação feita com usuários após a construção do protótipo. Dos resultados, concordamos com os autores sobre a necessidade de avançar as pesquisas em tecnologias assistivas. Não há estudos suficientes com usuários e em situações reais. Segundo Dakopoulos & Bourbakis (2010), tanto os protótipos como os produtos comerciais disponíveis ainda não são suficientemente bons para uso pela população em geral.

Vale destacar que apenas o protótipo GuideCane apresentou características autônomas. No caso do GuideCane, um servomotor é usado para esterçar a direção do protótipo e desviar de obstáculos. Para o deficiente visual, saber que há um obstáculo não é suficiente. É preciso tomar uma decisão sobre qual direção seguir e essa é uma decisão difícil de ser tomada por portadores de deficiência visual severa. A principal vantagem dessa abordagem foi minimizar a quantidade de informação transmitida: o indivíduo segue o GuideCane como seguiria um cão guia, sem necessidade de interpretar o *feedback* de atuadores de som ou vibração. A principal desvantagem do GuideCane é não identificar degraus e buracos no solo.

O GuideCane se destaca pela autonomia na tomada de decisão sobre a direção a ser tomada (para desviar de obstáculos). O dispositivo decide a direção e aciona um servo motor que modifica a direção. O usuário pode anular essa decisão por meio de comandos (botões) presentes na haste do mesmo. Após um desvio de curso, o GuideCane corrige seu rumo para a posição anterior à do obstáculo. Com esse tipo de operação autônoma, o usuário não precisa ativamente escanear uma região, tomar decisões, ou enviar comandos. Escanear, tomar decisões e enviar comandos é um tipo de interação difícil e cansativa, conforme ressaltado por Ulrich e Borenstein (2001) ao desenvolver o GuideCane. Essas características também aproximam o GuideCane dos modernos dispositivos cientes de contexto.

### 3 Estudo Exploratório: Observações no IBC e Prototipação Participativa

O estudo relatado nesse capítulo foi realizado com o objetivo de compreender a relevância dos problemas encontrados na literatura para a comunidade local, neste caso a comunidade de alunos e professores do Departamento de Reabilitação do Instituto Benjamin Constant. Outro objetivo desse estudo foi a prototipação de wearables para serem usados nas investigações subsequentes. A locomoção do indivíduo cego é muito particular. Projetar wearables para esses indivíduos é desafiante por que geralmente a cegueira é acompanhada de outras condições de saúde, como diabetes e deficiências motoras ou intelectuais, o que torna o projeto de wearables complexo e diminui as possibilidades de encontrar um projeto universal.

O método usado para essa prototipação é descrito em (FUKS *et al.*, 2012). Em resumo, o trabalho inicia-se com um estudo observacional. Em seguida, são definidos critérios norteadores e restrições para orientar o trabalho a ser realizado nas oficinas de cocriação. Para as oficinas, busca-se um grupo heterogêneo de modo que haja diversidade de formações, idades e culturas, mas sempre constituído de indivíduos relacionados ao contexto do estudo. Nas oficinas, aplicam-se técnicas de solução criativa de problemas (como *Brainstorming*) e técnicas de prototipação adequadas ao tipo do protótipo. O estudo observacional é relatado na Seção 3.1, enquanto a prototipação realizada na oficina de cocriação é descrita na Seção 3.2.

#### 3.1. Estudo Observacional

Após a revisão de literatura, a etapa seguinte nessa pesquisa foi realizar um estudo observacional. Esse estudo foi realizado no Instituto Benjamin Constant durante oito meses no ano de 2013.

O objetivo do estudo foi investigar se o problema identificado na literatura também é relevante para a comunidade local. Além disso, buscou-se compreender melhor a locomoção de pedestres cegos e os problemas que eles encontram. Nessa

fase, os dados coletados foram vídeos de transeuntes, entrevistas com cegos (alunos do instituto), e instrutores de mobilidade. Todos os nomes citados são pseudônimos. A Tabela 3 lista as lições obtidas com esse estudo:

**Tabela 3. Destaques do estudo observacional**

<b>Destaque / Lição aprendida</b>	<b>Indivíduos observados</b>	<b>Caracterização</b>
Inadequação Postural em deficientes visuais	cegos de nascença, com baixa visão ou cegueira adquirida.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Curvatura dos ombros,</li> <li>• posição inadequada da cabeça,</li> <li>• posição inadequada dos pés</li> </ul>
Mapa mental	Deficientes visuais que não possuam deficiência intelectual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exemplos de estruturas,</li> <li>• Estratégias de referênciação,</li> <li>• Dificuldades</li> </ul>
Controle do trajeto	Indivíduos cegos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contagem de passos vs. referências externas</li> <li>• Sobrecarga associada</li> </ul>
Orientação espacial	Indivíduos cegos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificuldade de andar em linha reta,</li> <li>• Dificuldade no referenciamento centrado no corpo</li> <li>• Uso de referências externas</li> </ul>
Visão geral do espaço	Indivíduos cegos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificuldades,</li> <li>• Estratégias de observação usadas por cegos</li> </ul>

Sobre a inadequação postural, os principais erros posturais são a posição inadequada da cabeça (inclinada para frente ou rotacionada), curvatura dos ombros e posição inadequada dos pés. Durante o período de observação esses casos foram filmados, mas não foi possível pedir autorização dos participantes (transeuntes) para o uso de sua imagem. Dessa forma, na Figura 4, ilustramos os problemas com imagens obtidas a partir dos vídeos de outras fases da pesquisa.



**Figura 4. Exemplos de problemas posturais em indivíduos cegos**



Os instrutores de mobilidade informaram que os problemas posturais são os primeiros problemas tratados com os novos alunos. Alguns comentários, transcritos no Quadro 1, relacionam os problemas mais comuns.

[34':55"] *A postura de quem tem baixa visão é relativamente ruim porque a pessoa tende a mudar a postura por causa do campo de visão. São pessoas que fazem alterações posturais mais evidentes. [01:00:00] Nos indivíduos de baixa visão é comum ter inclinação de cabeça e tronco ou então rotação de cabeça. Tudo isso para se adequar ao campo de visão limitado.*

[Thales, 30 anos, fisioterapeuta e instrutor de mobilidade do IBC].

[02':15"] *É importante manter a postura correta e, mesmo sem visão, olhar para o horizonte. As primeiras coisas que eu vejo nos alunos é a posição dos pés e a curvatura dos ombros. Eles costumam curvar os ombros para não esbarrar nos outros e os pés "10 para as 2" são uma maneira que eles encontram de ter mais apoio no chão.*

[Vivian, 31 anos, professora de ed. física e instrutora de mobilidade do IBC]

[3':20"] *A pessoa cega ou deficiente visual, por natureza, tem algum problema postural. Ela não vê, então ela não pode imitar a pessoa que enxerga. Ela é criança e não consegue imitar os pais... Ela acaba ficando curvada ou andando de lado por uma questão de localização...*

[Manu, 51 anos, cegueira congênita, psicóloga e professora de Braile do IBC]

### **Quadro 1. Comentários sobre problemas posturais em deficientes visuais**

O mapeamento cognitivo – ou mapa mental, como chamado pelos instrutores – é ensinado no curso de mobilidade. Frequentemente ouve-se um instrutor dizendo ao aluno que uma determinada referência deve fazer parte do seu mapa mental em função de alguma qualidade dessa referência (facilidade de reconhecimento, por exemplo). Essa observação é importante porque evidencia que o curso de mobilidade do IBC também toma como premissa as teorias da ineficiência e da diferença em detrimento da teoria da deficiência, assim como feito na presente pesquisa. Indivíduos cegos usam qualquer elemento que eles percebam no ambiente como referência (quando permanente) ou pista (quando temporário). Os comentários da Manu (Quadro 2), cega desde o nascimento, indicam alguns elementos usados como referências:

[6':30"] *Eu percebia uma abertura no corredor que era a janela e eu sabia que logo após a janela havia uma abertura maior que era a porta do banheiro. [8':00"] Tem um lugar aqui na rua, quando a gente sai e vai em direção ao Rio Sul, que eu uso como referência uma planta... é chato planejar um caminho para lá. Eu vou por vários, mas não acho nenhum seguro. [Manu].*

### **Quadro 2. Elementos usados como referência pelo cego ao mapear um espaço**

Ainda sobre o referenciamento do espaço, percebeu-se que os mecanismos de controle usados para conferir a rota são diversos. Em geral, todos os cegos conferem as referências para saber se estão no caminho. Paredes são as melhores guias, assim como os pisos táteis. A contagem de passos, entretanto, é menos usada atualmente. O Quadro 3 contém a transcrição de alguns comentários a respeito da contagem de passos.

[8':00"] *Contar passos, em geral, não é bom. É ruim porque o comprimento dos passos muda de pessoa para pessoa.* [Thales].

[8':00"] *Eu não conto passos, não conto colunas, não conto nada. **Contar me dá sono!** Além disso, eu sou dispersa. Se um colega está ao meu lado e conta os passos, eu não consigo prestar atenção aos obstáculos e acabo caindo.* [Manu].

### Quadro 3. Comentários sobre a contagem de passos

Para compreender melhor a estrutura desse mapa mental, especula-se que seja necessário um estudo em larga escala (com muitos participantes). Contudo, a partir das descrições de caminhos feitas pelos participantes dessa pesquisa, percebeu-se que alguns adotam uma lista encadeada. Não foi possível inferir se a lista é duplamente encadeada. O caso da participante Manu destaca-se porque ela afirma manter um grafo de caminhos, conforme comentários do Quadro 4.

[6':30"] *Eu acho que eu tenho todos os caminhos emaranhados na minha cabeça. Eu sei que num dado trecho tem as referências tais, tais e tais. Se eu mudar o caminho, vou passar por outras referências. Eu consigo ter tudo isso na minha cabeça. Se tirarem uma referência do caminho, eu percebo. Vou me manter no caminho e procurar pela próxima...* [Manu].

### Quadro 4. Relato sobre a estrutura usada no mapa mental

Referências comuns recomendadas no curso de mobilidade são: textura do piso, correntes de ar, material usado no piso e parede (concreto ou madeira, por exemplo), inclinações, grades, plantas, entre outros. Em geral, recomenda-se ao aluno guiar-se por referências, uma vez que as pistas são temporárias. No Quadro 5, a participante cita alguns elementos usados como referências.

[10':00"] *Postes, por exemplo, eu posso contar sabendo que no próximo eu devo virar à direita (...) Quando você vira na Xavier Sigaud [rua no entorno do instituto] tem vários postes à direita, depois tem uma vila de casas que é uma abertura grande e dá para perceber. Eu atravesso a rua quando chego nessa vila...* [Manu].

### Quadro 5. Elementos usados como referências ao mapear espaços

Quanto à qualidade da rota definida pelo indivíduo cego, a participante Manu explicou que não escolhe o caminho a seguir em função da distância. Ela disse usar o caminho que possui mais referências. Essa declaração, transcrita no Quadro 6, reforça a argumentação em favor da teoria da diferença.

[43':30"] *Entre dois caminhos como eu escolho? Ahhh, se o maior for 'melhor', eu vou pelo maior. Alguém diz: "ahhh, escolhe o menor...". NÃO! (com ênfase) E se o menor for muito aberto? O melhor é o que tem mais referências para eu perceber...*  
[Manu].

#### **Quadro 6. Comentários de um cego sobre a escolha entre dois caminhos**

Nas rotas descritas pelos participantes cegos e pelos instrutores de mobilidade estão sempre presentes referências que indicam o momento de mudar de direção. As referências intermediárias, usadas para confirmar que o cego está no caminho, são descritas apenas por alguns. As paredes são frequentemente usadas como guias para andar em linha reta e como fonte de referências, pois percebem-se mudanças na textura, portões, e grades. A dificuldade de andar em linha reta – subproblema ‘Orientação Espacial’ no Modelo de Brambling – é muito frequente entre os cegos. Os EOAs (acrônimo para *Electronic Orientation Aids*) encontrados na literatura, entretanto, tratam somente da Orientação Geográfica, embora haja uma interdependência entre as mesmas, de modo que a orientação geográfica apoia a inferência da direção. No Quadro 7 são transcritos comentários a respeito desse problema.

[37':00"] *A gente sabe que é mais fácil andar perto da parede com a bengala, mas a gente pede que não ande tão próximo para evitar galhos de plantas e cachorros (...)* [54':00"] *Andar em linha reta é muito difícil para eles. Por isso, geralmente, eles seguem as paredes (...)*  
[Vivian].

[34':00"] *Andar em linha reta? Xiii... para mim é muito difícil, muuuuuito difícil. Parece que tem um imã que me tira do trajeto toda hora. Além disso, se eu já estiver andando em linha reta e me disserem para andar reto, eu me confundo, deixo de andar reto e me perco. Andar reto sem parede requer muita atenção* [Manu].

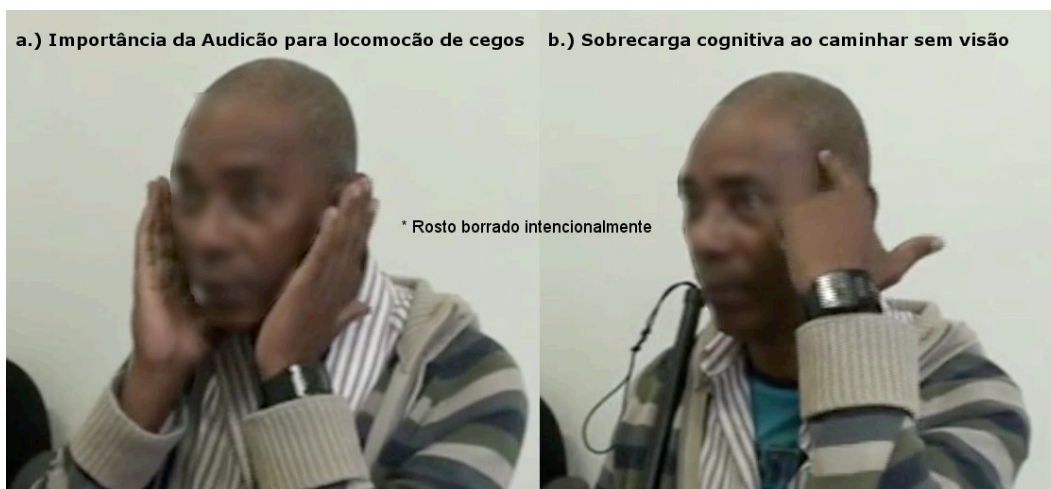
[44':00"] *Cachorro é um problema que gera medo nos cegos porque geralmente o cego se guia pelas paredes para identificar referências com a bengala e usar como guia, mas eu costumo dizer para meus alunos: "A vida é uma atividade ousada, ou nada."* [Thales]

#### **Quadro 7. Comentários sobre a dificuldade dos cegos de andar em linha reta**

Na literatura, Jansson (2008) faz diversas comparações entre o sentido háptico e a visão. Numa das comparações, Jansson descreve a dificuldade de obter uma visão geral de um lugar com o sentido háptico e na ausência da visão:

**The most important difference is probably the capacity of vision to provide a practically immediate overview of a scene.** There are often severe problems in getting an overview of a scene haptically, which may be a laborious and time-consuming task, using successive exploratory investigations of the scene. (JANSSON, 2008, p.138)

Com relação às dificuldades de caminhar sem a visão, o comentário mais contundente foi do participante Donatello (Figura 5) que falou a respeito da sobrecarga cognitiva inerente à caminhada sem visão. Nas palavras do entrevistado, “*videntes não usam isso aqui [apontando de forma enérgica para a cabeça] para caminhar, só para trabalhar*”. Ao comentar sobre a audição, o participante reforçou a importância de não bloquear a audição com fones: “*a nossa visão passa por aqui [apontando para os ouvidos]*”.



**Figura 5. Entrevistado em dois momentos: audição e atenção para caminhar**

Indivíduos cegos usam a audição em muitos momentos. Por exemplo, a audição é usada para localizar-se num ambiente quando é possível escutar o barulho de veículos na rua. A participante ‘Manu’ comenta que ainda na sua infância foi instruída a prestar muita atenção aos sons. Segundo ela, um exercício frequentemente praticado era deixar um objeto cair e ‘seguir’ o som produzido pela queda do objeto para localizá-lo.

Os participantes, quando questionados sobre a primeira coisa que um cego percebe ao chegar num lugar, responderam de forma unânime que é a amplitude

do lugar. Uma participante cega, descreveu seu comportamento ao chegar no lugar como o “comportamento de um bebê”, pois tudo que acontece nesse novo lugar lhe chama a atenção, assim como a um bebê. No Quadro 8, são transcritos alguns comentários dos participantes a respeito dessa dificuldade:

[21':30"] *A primeira coisa que um cego percebe ao chegar num lugar é a amplitude do mesmo e se é um ambiente fechado. Ambientes fechados tem acústica diferente [Thales]*

[19':00"] *A primeira coisa que eu percebo a chegar num lugar é o tamanho. Eu não consigo dizer quanto ele mede, mas eu consigo perceber a amplitude, janelas abertas, entradas de ar, de onde vem os sons... **Depois eu fico observando o movimento das pessoas.** Se alguém cruza da minha esquerda para minha direita, por exemplo, eu sei que devo virar para a direita para falar com essa pessoa... **A minha observação é como se eu fosse uma criança, um bebê.** Eu acho que um bebê, quando chega num lugar, quer saber tudo o que está acontecendo. Ele fica assim [Entrevistada balança a cabeça para ilustrar]... Eu não posso afirmar com certeza porque eu não vejo, mas eu acho que um bebê se comporta assim com a cabeça. **Tudo chama a atenção do bebê. Para mim também.** [Manu]*

#### **Quadro 8. A dificuldade de obter uma visão geral do espaço**

No final do período de observação, alguns participantes foram convidados a participar da oficina de cocriação. Uma entrevista foi realizada com esses participantes e questionou-se quais os problemas que eles enfrentam que deveriam priorizados no desenvolvimento de novas tecnologias. Os comentários são transcritos no Quadro 9.

[32':00"] *Seria bom uma tecnologia que me descrevesse as coisas. Uma tecnologia falante, que dissesse aonde eu estou e o que há neste lugar, quais objetos, quais obstáculos... O vibrante tem um problema: como é que eu vou saber do que se trata a vibração? São muitos detalhes, talvez se juntasse uma coisa que vibra com uma que fala... [Manu]*

[34':55"] *O mais urgente é evitar os obstáculos. A bengala não é boa para todos os obstáculos. Orelhão, por exemplo, está em cima e a bengala rastreia por baixo. [Thales]*

#### **Quadro 9. Necessidade de tecnologias para o dia-a-dia**

Após o período de observação, foi possível confirmar a importância das tecnologias para detecção de obstáculos e de tecnologias para apoiar o mapeamento cognitivo por pedestres cegos. Em função da disponibilidade de tecnologias maduras para a detecção de obstáculos e da ausência de pesquisas atuais em tecnologias de apoio à representação espacial, decidiu-se iniciar a prototipação com dispositivos para apoiar a representação espacial. Com isso, buscou-se obter relevância e originalidade. As lições aprendidas nessa pesquisa

servirão para apoiar futuras pesquisas em detecção de obstáculos, por exemplo ao gerar conhecimento sobre os recursos empregados para evitar o *masking*.

### 3.2. Oficina de Cocriação

Para as oficinas de cocriação foram convidados voluntários estudantes videntes de engenharia, design, informática, instrutores de mobilidade e cegos. Entre os potenciais usuários, quatro participantes são cegos e um dos participantes é instrutor de mobilidade. Ao todo, participaram 13 voluntários (identificados por pseudônimos), conforme listagem da Tabela 4.

**Tabela 4. Perfil dos Participantes da Oficina de Cocriação**

Pseudônimo	Idade / Sexo	Cego ou vidente?	Formação
Mary Louise	51anos / Feminino	Cego	Psicóloga
Gunther B.	20anos / Masculino	Vidente	Estudante de Engenharia
Nathalie	24anos / Feminino	Vidente	Mestranda em Design
Vicky	17anos / Feminino	Vidente	Estudante de Engenharia
Carlson	25anos / Masculino	Vidente	Doutorando Informática
Bertha	28anos / Feminino	Vidente	Estudante de Design
Brandon	19anos / Masculino	Vidente	Estudante de Engenharia
Vanity	31anos / Feminino	Vidente	Ed. Física / Inst. Mobilidade
Rachel Green	27anos / Feminino	Cego	Mestre em Literatura
Johnny Duque	26anos / Masculino	Vidente	Mestrando Informática
Jackie	22anos / Feminino	Cego	Estudante Secundarista
Ian	55anos / Masculino	Cego	Bacharel em Direito
Ryan	25anos / Masculino	Vidente	Estudante de Design

A oficina iniciou com uma sessão de *brainstorming* na qual se buscou listar os problemas enfrentados por um cego ao caminhar sem o apoio de um guia vidente. Muitos problemas foram listados e o grupo foi orientado a definir critérios norteadores para o design do Wearable de acordo com esses problemas. Após uma sessão de discussão, os participantes decidiram a seguinte lista de critérios norteadores:

- A tecnologia deve ser embarcada preferencialmente em wearables já usados pelo cego, como relógios, bengala e óculos;
- As mãos devem ser mantidas livres (uma mão com a bengala);
- O wearable nunca deve atrapalhar o cego a ouvir o ambiente, de modo que devem ser evitados fones intraauriculares, *headphones* e similares.

Depois de definir a lista de critérios norteadores, os participantes foram divididos em três grupos com pelo menos um cego em cada grupo. A instrutora de mobilidade foi orientada a participar de um grupo com apenas um cego com o objetivo de equilibrar a quantidade de *stakeholders* dentro de cada grupo. Finalmente, além dos *stakeholders*, cada grupo contou com um estudante de design e um de engenharia.

O método usado para prototipação foi o *Blank Model Prototyping* (BMP) (ARNOWITZ *et al.*, 2010), que requer a participação de usuários em potencial (neste estudo há 4 participantes cegos e 1 instrutor de mobilidade), e profissionais de design e tecnologia. *Blank Model Prototyping* é um método de prototipação rápida no qual se usam materiais simples como caneta, papel, tecidos, papelão, entre outros, para construir uma representação grosseira de um conceito tecnológico. O objetivo é prototipar rápido e testar o quanto antes. Cada grupo produziu seu protótipo em 2 horas e, em seguida, todos passaram para a fase de testes. O teste é realizado por meio de sessões de dramatização (*role-playing*), na qual os participantes assumem diferentes papéis: um deles ‘usa’ o protótipo, outro simula as respostas do dispositivo, e os outros tomam notas dos problemas. Cada grupo testou seu protótipo em sessões de 10 minutos, ilustradas na Figura 6.



**Figura 6. Teste dos protótipos em sessões de dramatização**

Várias funcionalidades foram discutidas e apresentadas durante as sessões de dramatização. Por exemplo, para a funcionalidade “comunicar novos pontos de referência ao usuário”, três diferentes soluções foram propostas. O Grupo 1 propôs usar *beeps* e arquivos MIDI (como os alertas de celular e dos sistemas operacionais) para identificar o tipo do ponto de referência; o grupo argumentou que é possível cobrir os pontos de referência que os interessam com 6 diferentes avisos audíveis. O Grupo 2 decidiu por usar um motor de vibração montado no

relógio para avisar um novo ponto de referência, que é informado por meio de “*text-to-speech*” quando o usuário apontar o relógio para o ponto de referência. Por fim, o Grupo 3 uma solução que usa exclusivamente *text-to-speech* (sem a necessidade de um comando do usuário).

A tecnologia escolhida para a tarefa de identificar pontos de referência foi a mesma em dois protótipos: processamento de imagens a partir de imagens obtidas das câmeras montadas nos óculos (Grupos 1 e 3). O Grupo 2 especificou uma solução baseada em rádio (rede Bluetooth, Wi-Fi ou similar), que também incorpora câmeras. O wearable proposto pelo Grupo 3 deve buscar o sinal de um equipamento transmissor de sinal de rádio (chamados de *Digital Beacons* nessa pesquisa) e informar ao usuário quando um novo transmissor é encontrado. Se o usuário quer identificar um ponto não mapeado pela rede sem fio, então ele deve apontar o relógio inteligente para o objeto, que usará um algoritmo de processamento de imagens para dizer o tipo de ponto de referência (uma porta, um banco, um corredor, etc.).

O método BMP foi usado com o objetivo de obter as impressões de potenciais usuários e coletar ideias detalhadas sobre o wearable a ser construído para a parte experimental dessa pesquisa. Nessa primeira iteração não foi feito nenhum protótipo para embarcar tecnologia na bengala. Contudo, os participantes cegos comentaram que tem preferência por embarcar tecnologia em acessórios que eles já usam. Assim, é possível que alterações na bengala sejam propostas em outras iterações.

No método de cocriação usado, não há um compromisso de desenvolver os protótipos exatamente como projetados pelos participantes – porque tratam-se de protótipos de baixa fidelidade e não consideram as restrições tecnológicas atuais, ou restrições orçamentárias. No caso dessa pesquisa, os três protótipos foram combinados em um quarto protótipo que contém as principais lições aprendidas nos outros três e que implementa uma versão simplificada da tecnologia para possibilitar testes em menos tempo e a execução de mais ciclos de prototipação.

### **3.3. Protótipo Funcional**

Para o desenvolvimento e teste de cada funcionalidade foi usado um processo de desenvolvimento iterativo. O primeiro passo foi avaliar a viabilidade



tecnológica de cada solução. Além disso, investigou-se a ocorrência de efeitos colaterais relativo ao uso da tecnologia. Problemas posturais e *masking* são efeitos colaterais frequentes em tecnologias assistivas wearable para apoiar a locomoção de pedestres cegos. Problemas posturais ocorrem independente do uso de tecnologia, mas novos problemas podem ser ocasionados pela tecnologia ou vícios posturais existentes podem se tornar mais frequentes após a adoção da tecnologia.

O *masking* é um fenômeno frequente e indesejado em ETAs e EOAs. Assim, nessa pesquisa, decidiu-se construir uma versão inicial do protótipo exclusivamente para investigar a ocorrência do *masking* no contexto onde ocorrerão os estudos e com as tecnologias decididas a partir das oficinas de cocriação. Estudos ergonômicos estão fora do escopo desta tese (fazem parte da pesquisa no contexto do projeto Smart Glasses<sup>9</sup>).

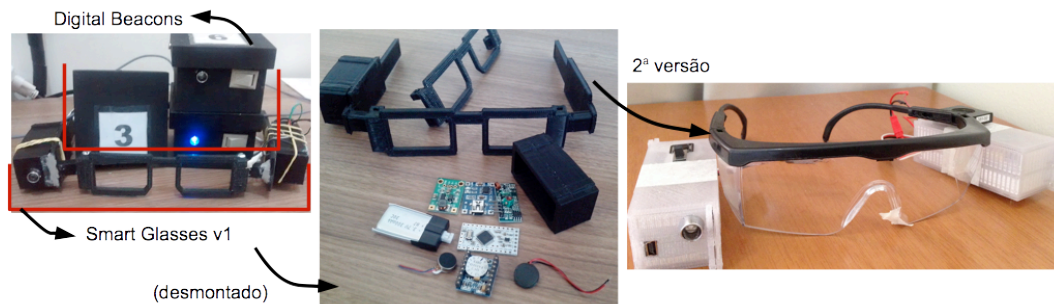
Para minimizar ou evitar a ocorrência de *masking*, desenvolveu-se uma versão mais simples do protótipo. Por exemplo, para a identificação de pontos de referência, foi preterida a tecnologia de visão computacional e desenvolvida uma versão com uma solução baseada em rádio (RF433Mhz e Bluetooth). Uma versão básica desta solução (sem triangulação, por exemplo) é mais simples e rápida de desenvolver que uma solução baseada em visão computacional.

Para a solução baseada em rádio foram desenvolvidos os *Digital Beacons* provenientes dos protótipos dos grupos 1 e 3. *Digital Beacons* são tangíveis equipados com um transmissor de ondas de rádio na frequência de 433Mhz, uma das frequências livres existentes, selecionada para a pesquisa em função da ampla disponibilidade de componentes. Cada *Digital Beacon* identifica um ponto de referência, como uma porta, banco, hall de entrada, corredor, etc. Cada *Digital Beacon* é feito com um microcontrolador (Arduino Mini Pro, nesta edição), 4 pilhas AA, reguladores de tensão, e o transmissor de rádio RF433Mhz. Na Figura 7 são ilustrados os Beacons e as duas primeiras versões dos Smart Glasses (resultado do processo iterativo de desenvolvimento), feitas para comunicar-se

---

<sup>9</sup> **Smart Glasses** é um projeto de pesquisa financiado pelo CNPq sob o número #458.766/2013-5. A pesquisa desta tese insere-se no contexto o projeto Smart Glasses, que inclui outras investigações como problemas posturais e tecnologias de identificação de pontos de referência baseada em ondas de rádio e visão computacional.

com esses *beacons*. O circuito eletrônico usado nos óculos é ilustrado no APÊNDICE A (Figura 16) e o algoritmo usado para identificar os beacons com os módulos de rádio RF433Mhz é ilustrado no APÊNDICE B (Figura 17). O diferencial do algoritmo é o reconhecimento preciso dos beacons feitos com um módulo muito simples (transmissores e receptores de 433Mhz, de U\$1 e sem qualquer informação de potência de sinal) mesmo com pouca distância entre os mesmos.



**Figura 7. Digital Beacons e Smart Glasses**

Foram desenvolvidos óculos com computação embutida para serem vestidos pelos participantes. O desenvolvimento da versão “relógio inteligente” foi postergado para outras iterações do processo (em função da maior parte dos protótipos serem de óculos). Para a primeira versão, foram usados modelos 3D de óculos, que foram impressos em uma impressora 3D doméstica. Nos testes, o modelo mostrou-se inadequado em função do desconforto e vários problemas de ergonomia. Em função desses problemas, foram adotados óculos de proteção manufacturados na versão seguinte e prototipadas caixas com tecnologia embarcada para serem acopladas aos óculos (Figura 4). O teste da primeira versão é ilustrado na Figura 8.

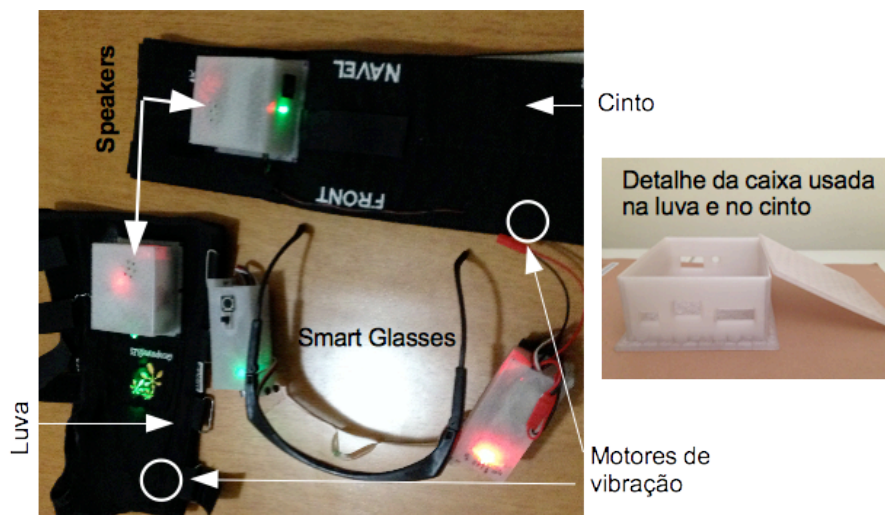


**Figura 8. Teste da primeira versão dos Smart Glasses na PUC-Rio**

Além dos problemas de ergonomia, identificou-se também uma fragilidade no protótipo considerada inadequada para o teste com usuários. Na Figura 7, por exemplo, o protótipo já é ilustrado com massa de epóxi, usada para consertar diversas partes quebradas do mesmo. A construção rápida desse protótipo possibilitou antecipar os problemas ergonômicos e fragilidade excessiva, além de antecipar também a necessidade de ajustes no alcance dos beacons (como ajustes nas antenas e na tensão aplicada aos módulos transmissores), bem como problemas no ajuste de volume do speaker, por exemplo.

Junto com a segunda versão dos óculos, foram também construídos uma luva e um cinto, ambos com um motor de vibração e um *speaker* (e microcontroladores) para possibilitar o teste de diferentes modos de feedback com os participantes do primeiro estudo de caso. O kit completo da segunda versão é ilustrado na Figura 9.

Nos óculos foram embarcados: um microcontrolador Arduino Mini Pro 16Mhz 5v, um módulo receptor RF433Mhz, baterias de Li-Po 3.7v, reguladores de tensão para 5v e 3.3v, um módulo USB para recarga de bateria, um módulo WTV020-SD para tocar arquivos de som. A luva e o cinto foram feitos com os mesmos componentes de um *digital beacon* com a adição de: um módulo Bluetooth 1.02 (JY-MCU), speakers e motores de vibração.



**Figura 9. Smart Glasses v2, luva e cinto**

O módulo Bluetooth foi usado para possibilitar conexão entre uma aplicação para Android, a luva e o cinto, enquanto speakers e motores de vibração foram adicionados para possibilitar o teste de diferentes modos de feedback com os participantes. O aplicativo para plataforma Android foi usado para configurar o

modo corrente de feedback durante os testes, possibilitando assim a execução de vários testes sem a recarga de firmware nos wearables. Por fim, a luva e o cinto foram programados para possibilitar ao usuário o envio de comandos (botão) para ouvir as informações de um beacon, sempre que um novo é encontrado.

## 4 Estudo de Caso I: investigação da ocorrência de *masking*

O *masking* é um problema que age de forma interveniente na locomoção de pedestres cegos quando apoiados por tecnologia. Em função do *masking*, que é caracterizado por uma sobrecarga dos sentidos associada à perda de desempenho na locomoção, o indivíduo pode ser sobrecarregado e não adquirir uma representação adequada do espaço. Assim, é importante para as investigações subsequentes que esse problema seja evitado. Se não for possível evitá-lo, sua ocorrência deve ser minimizada tanto quanto possível.

Ao projetar os wearables, decidiu-se por uma abordagem ainda não relacionada ao *masking* na literatura. O objetivo é projetar wearables que não sobrecarreguem os sentidos do indivíduo e, dessa maneira, evitar o *masking*.

O estudo descrito neste capítulo foi realizado com o objetivo de medir a ocorrência do *masking* com os wearables projetados, uma vez que espera-se que esses wearables sejam usados para estudos subsequentes desta pesquisa. O Estudo de Caso (YIN, 2014) foi conduzido no Instituto Benjamin Constant, uma instituição federal de ensino dedicada à deficientes visuais com 160 anos de história. Atualmente, além de uma escola regular (ensino fundamental e médio), o instituto tem um centro de reabilitação para cegos, que oferece cursos de Orientação à Mobilidade, trabalho artesanal, informática, música, entre outros. O Estudo de Caso foi realizado no Departamento de Reabilitação no primeiro semestre de 2014.

Para investigar a ocorrência de *masking* o dado mais importante é do tipo qualitativo: os participantes devem dizer quando o wearable os sobrecarrega e os atrapalha a sensoriar o ambiente ou quando o mesmo é desconfortável ao ponto de prejudicar seu desempenho. Para coletar esses dados, foram usadas entrevistas semiestruturadas, que foram roteirizadas de acordo com o MEDS (NICOLACI-DA-COSTA, 2007). O procedimento de seleção foi aceitar a participação de todos os voluntários cegos (excluíram-se voluntários com baixa visão e pessoas com outras deficiências além da cegueira) disponíveis no IBC à época do estudo.

Além dos dados qualitativos, o dado mais importante é o ritmo de marcha do indivíduo. Se o indivíduo tem um ritmo de marcha significativamente mais lento quando usa o wearable, então é preciso investigar a ocorrência de *masking*, uma vez que insegurança em trafegar no espaço é outro motivo comum para alteração no ritmo de marcha. O estudo foi realizado num espaço que os participantes trafegam com frequência: o próprio setor de reabilitação. O objetivo dessa escolha foi diminuir as chances do indivíduo sentir-se inseguro ao trafegar no espaço.

A respeito do ritmo de marcha, Clark-Carter (1985) realizou um extenso estudo sobre os problemas de mobilidade e como medi-los. De acordo com Clark-Carter, o desempenho de um pedestre cego nunca deve ser comparado ao de outro pedestre cego, mas ao seu próprio desempenho obtido ao caminhar com o apoio de um guia vidente. Comparações interpessoais são inadequadas, pois não levam em considerações diversas características particulares, como ritmo preferido do indivíduo, técnicas particulares de exploração do espaço háptico e locomotor, entre outras. Ainda segundo o autor, o desempenho ótimo de um cego é obtido quando o mesmo caminha guiado por um vidente. Assim, a meta de designer de wearables deve ser produzir wearables que possibilitem o desempenho mais próximo do desempenho do indivíduo guiado por um vidente.

Para este estudo, a métrica objetiva usada foi o desempenho individual relativo, obtido por meio da comparação da quantidade de passos/minuto do indivíduo ao usar cada wearable com a quantidade de passos/minuto do indivíduo guiado por um vidente. Uma métrica complementar não usada nesse estudo é a extensão da passada. Embora a extensão da passada não tenha sido medida, o espaço físico usado para os testes foi exatamente o mesmo para todos os participantes. Dessa forma, qualquer diferença significativa na extensão da passada afeta diretamente a quantidade de passos necessários para cobrir o espaço físico. Para evitar a *ameaça da maturação*<sup>10</sup> no projeto desse estudo, foi usado o método Latin Square de Ordem 5 (BAILEY, 2008). O Latin Square é útil para evitar a maturação porque cada participante realiza os testes numa ordem

---

<sup>10</sup> Nesse estudo, o desempenho pode ser uma função do tempo. Por exemplo, o desempenho piora após algum tempo se o participante se cansa ou melhora se obtém mais informações sobre o caminho

diferente, de modo que os efeitos do tempo são distribuídos igualmente entre cada teste.

Com relação aos participantes, os voluntários foram alunos do curso de mobilidade, geralmente indivíduos que ficaram cegos nos últimos cinco anos, e também alguns professores do instituto que nasceram cegos. O perfil dos participantes (identificados por pseudônimos) é listado na Tabela 3. Aos participantes solicitou-se uma autoclassificação da sua habilidade de mobilidade, descrita na última coluna da Tabela 5.

**Tabela 5. Perfil dos Participantes no Estudo de Caso 1**

Pseudônimo	Idade / Sexo	Cegueira congênita ou adquirida?	Nível mobilidade
Pietro	51 anos / Masculino	Adquirida há 3 anos	Básico
Andrews	46 anos / Masculino	Congênita	Avançado
Donatello	52 anos / Masculino	Adquirida há 4 anos	Avançado
Karlie	33 anos / Feminino	Congênita	Avançado
Monica	53 anos / Feminino	Adquirida há 19 anos	Intermediário
Carlson	21 anos / Masculino	Adquirida há 3 anos	Avançado
Wendy	33 anos / Feminino	Congênita	Avançado
Ross Geller	35 anos / Masculino	Congênita	Intermediário
Rachel Green	27 anos / Feminino	Congênita	Básico
Ian	55 anos / Masculino	Adquirida há 5 anos	Intermediário

O estudo foi conduzido no 1º andar do Instituto, um local previamente conhecido por todos os participantes, embora os participantes não pudessem dar informações detalhadas do local antes do estudo, como número de sala e o serviço oferecido. O número de sala e serviço prestado são informações dadas pelo wearable ao reconhecer o *beacon* de uma porta. A Figura 10 foi capturada a partir de vídeos do Estudo de Caso.



**Figura 10. Estudo de Caso realizado em situações reais no IBC**

Aos participantes solicitou-se a execução de 5 testes com wearables e 1 teste de controle. O teste de controle consistiu em percorrer o mesmo espaço percorrido ao usar os wearables, mas guiado por um vidente. Os 5 testes foram:

- A. (Cinto + *Beep* + Óculos) – Nesse teste, o participante veste um cinto que toca um *beep* a cada novo *beacon* detectado. Além do cinto, o participante veste os Smart Glasses, que possuem *speakers* externos usados para tocar a informação verbalizada proveniente do *beacon*. A cada novo *beacon* detectado o cinto dá um alerta sonoro do tipo *beep*. Os Smart Glasses dão a informação textual somente quando o participante pressiona o botão disponibilizado no cinto;
- B. (Cinto + Vibração + Óculos) – Nesse teste, o participante veste o mesmo cinto e óculos do teste A, porém o cinto é configurado para dar um alerta vibratório a cada novo *beacon* detectado (e não toca o *beep*). Para ouvir a informação sobre o *beacon*, o participante precisa pressionar um botão localizado no cinto;
- C. (Luva + *Beep* + Óculos) – Nesse teste, o participante veste uma luva que toca um *beep* a cada novo *beacon* detectado. Além da luva, o participante veste os mesmos óculos dos testes anteriores. A cada novo *beacon* detectado a luva dá um alerta sonoro do tipo *beep*. Os Smart Glasses dão a informação verbalizada somente quando o participante pressiona o botão disponibilizado na luva;
- D. (Luva + Vibração + Óculos) – Nesse teste, o participante veste a mesma luva e óculos do teste anterior, porém a luva é configurada para dar um alerta vibratório a cada novo *beacon* detectado (e não toca o *beep*). Para ouvir a informação sobre o *beacon*, o participante pressiona um botão localizado na luva;
- E. (Apenas os óculos) – Nesse teste, o participante veste apenas os óculos que são configurados para tocar a informação sobre a localização toda vez que um novo *beacon* é detectado. Não há aviso vibratório ou por *beep* e não há botão para o envio de comandos.

Para a realização dos testes, os participantes foram orientados a realizar os testes de acordo com a sequência definida em uma matriz 5x5 (foram definidas 2



matrizes, 5 participantes em cada uma). Essa matriz foi preparada conforme o método Latin Square de ordem 5 e é listada na Tabela 6.

**Tabela 6. Sequência de testes conforme Latin Square Ordem 5**

Participante	Sequência dos testes				
Primeiro bloco Latin Square de Ordem 5					
Pietro	A	B	C	D	E
Andrews	B	C	D	E	A
Donatello	C	D	E	A	B
Karlie	D	E	A	B	C
Monica	E	A	B	C	D
Segundo bloco Latin Square de Ordem 5					
Carlson	A	B	C	D	E
Wendy	B	C	D	E	A
Ross Geller	C	D	E	A	B
Rachel Green	D	E	A	B	C
Ian	E	A	B	C	D

Os testes foram todos registrados em vídeo. Foram produzidos 72 vídeos dos testes e 12 de entrevistas. Os dados são de 12 participantes (6 testes cada), dos quais dois participantes foram excluídos do estudo por solicitação. Os achados provenientes desse estudo são discutidos nas seções seguintes.

#### 4.1. Os wearables não prejudicaram o ritmo de caminhada

O desempenho relativo dos participantes foi calculado pela comparação entre o ritmo de marcha do teste de controle com o ritmo de marcha observado em cada um dos cinco testes com wearables. A comparação estatística do desempenho relativo foi a primeira abordagem usada nessa análise para investigar a ocorrência de *masking*. Um ritmo de marcha muito inferior ao ritmo ótimo do indivíduo pode ser resultado da sua insegurança em prosseguir a caminhada sem ouvir bem o ambiente ou pela sobrecarga cognitiva de interpretar um aviso durante a caminhada. Nesse estudo, a ausência de diferença significativa não significa a ausência do *masking*, mas que os wearables não atrapalharam o ritmo de marcha do indivíduo.

Para comparar o ritmo de marcha observado em cada um dos testes, foram organizadas 6 amostras: uma para cada teste com wearable e uma com as observações obtidas no teste de controle. Cada amostra foi composta de 10 observações, o ritmo de marcha de cada um dos 10 indivíduos no respectivo teste.

Embora o dado observado esteja numa escala de razão, não é possível usar testes paramétricos em função da impossibilidade de determinar distribuição Gaussiana. Assim, foi usado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis para k-amostras, com alfa pré-definido de 5%. Os p-valores calculados com a correção de Bonferroni são listados na Tabela 7.

**Tabela 7. P-valor a partir de teste Kruskal-Wallis c/ Bonferroni (post-hoc)**

	A	B	C	D	E	Control
A	1	0.788	0.758	0.710	0.878	0.823
B	0.788	1	0.961	0.910	0.908	0.971
C	0.758	0.961	1	0.951	0.873	0.935
D	0.710	0.910	0.951	1	0.823	0.886
E	0.878	0.908	0.873	0.823	1	0.940
Control	0.823	0.971	0.935	0.886	0.940	1

Nível de significância corrigido de Bonferroni: 0.0033

Todos os p-valores encontrados no teste foram maiores que 0.05, o que significa dizer que não há diferença significativa entre as observações de cada uma das 6 amostras. A interpretação desse resultado é que não há diferença significativa no desempenho dos participantes ao usar qualquer um dos wearables ou andar com um guia vidente. O participante, usando os wearables, teve desempenho similar ao que teria com um guia vidente, de modo que é possível concluir que os wearables não prejudicaram o ritmo de caminhada dos participantes. Outra conclusão é que nenhum wearable se destacou em relação aos outros ao comparar o desempenho dos participantes.

A comunicação do ponto de referência ao participante foi feita de maneira verbalizada no wearable. Essa abordagem não foi usada em nenhum dos trabalhos relacionados desta revisão de literatura. O sucesso obtido parece consequência de uma maneira mais eficiente de comunicar a localização ao indivíduo, uma vez que a informação verbal não sobrecarrega tanto o indivíduo quanto padrões audíveis gerados a partir do mapeamento de imagem. O indivíduo oralizado comunica-se verbalmente na maioria das vezes. No caso dos cegos, este meio é ainda mais usado em função de problemas de acessibilidade em dispositivos eletrônicos e da impossibilidade de efetuar leitura Braille. Por esse resultado, conclui-se que o aviso verbalizado foi útil para evitar o *masking* nesse contexto.

## 4.2.O uso dos sentidos remanescentes não foi prejudicado

Todos os participantes afirmaram espontaneamente que se sentiram confortáveis com os wearables e que não houve prejuízo no uso dos sentidos para sensoriar o ambiente, com exceção de uma participante que afirmou que a luva prejudica o uso da bengala na mesma mão. Não foi possível observar um padrão de preferência e as entrevistas trazem pistas de que essa é uma escolha pessoal, conforme trechos transcritos do Quadro 10:

[1':22"] **Eu prefiro a luva com vibração** porque o beep pode ser confundido num ambiente barulhento e eu tenho medo de não entender. [Pietro, 51 anos, cegueira adquirida]

[10':20"] **Eu gostei mais dos óculos sozinho.** [9':17"] *Prefiro os óculos porque ele fala onde eu estou e eu não preciso apertar botão nenhum. Achei melhor assim.* [3':12"] *Eu não ia gostar de usar um cinto desses (sic) na rua.* [5':10"] *eu não consegui colocar o dedo no botão certinho [da luva]... é... eu queria centralizar ele (sic) para pegar com esse dedo (anular) porque é mais fácil para apertar* [Carlson, 21 anos, cegueira adquirida]

[14':20"] **Meu kit preferido é a luva com vibração,** eu prefiro clicar antes de ouvir as mensagens dos óculos e eu não gostei muito desse beep (...) [6':30"] *Eu gostei desse [a luva] embora ela me atrapalhou (sic) um pouquinho, eu tive que mudar a bengala de mão por causa da luva e a gente não pode fazer isso. O cinto foi o pior... Eu achei difícil de sentir a vibração do cinto, não sei se é porque estava em cima da roupa, mas quando eu sentia eu já tinha passado do lugar...* [Karlle, 33 anos, cegueira congênita]

[7':36"] *Eu prefiro não ter nada de vibração e beep, é **melhor escutar direto dos óculos.** Esses beeps e vibrações pedem minha atenção e me tomam tempo.* [Wendy, 33 anos, cegueira congênita]

### Quadro 10. Comentários dos participantes sobre as qualidades dos wearables

Entre todos os wearables, o cinto foi classificado como o pior por 9 dos 10 participantes, apenas uma participante declarou que gostaria de usá-lo porque pode ser escondido debaixo da roupa. Essa participante prefere discrição a uma exposição proposital (alguns gostam de exibir a tecnologia, embora preocupem-se com a segurança). A exibição proposital, segundo alguns participantes, tem a função de anunciar o pedestre cego para os demais, como uma espécie de protocolo social. É o mesmo motivo pelo qual alguns cegos preferem usar a técnica de toque da bengala (tocá-la repetidamente no chão e em objetos do

caminho durante a exploração) em detrimento da técnica “Hoover<sup>11</sup>”. Alguns participantes preferem usar o dedo médio para clicar, outros preferem o anular ou o indicador. Dos dados obtidos nesse estudo não foi possível perceber um padrão nessas preferências, exceto gosto pessoal e diferenças entre a condição física do indivíduo. Um indivíduo com diabetes evoluída, por exemplo, perde a sensibilidade nas extremidades (é um sintoma comum associado ao diabetes) e pode achar inútil o feedback háptico na luva.

### 4.3.O wearable deve adequar-se ao ritmo de caminhada corrente

Nas entrevistas, alguns participantes declararam que gostariam que o wearable não desse informações tão detalhadas, pois eles “andavam rápido demais”. Alguns comentários das entrevistas são transcritos no Quadro 11.

*Eu achei eles (sic) legal, só que assim... conforme ele vai falando as salas... ele não fala no ritmo que eu tô andando... por eu andar rápido demais, quando ele fala eu já passei da sala... quando chega na terceira sala ele tá informando a segunda e não a terceira que eu estou (...)*  
[Carlson, 21 anos, cegueira adquirida]

[8':17"] (...) *está correta, mas deveria ser no ritmo que eu ando. (...) Acho que devia ter algum tipo de sensor que dissesse as mensagens conforme eu ando, mais rápido ou mais devagar, no meu ritmo. (...)*[9':26"] *Eu gosto das longas e das curtas, mas as longas deveriam ser somente para espaços amplos. Aqui tinha que ser mais curta, por que as portas são muito próximas. [10':04"] se não existir esse tipo de sensor, então é melhor falar só as curtas e me dar uma mais longa quando eu quiser* [Wendy, 33 anos, cegueira congênita]

[0':25"] *No primeiro teste eu preferi andar um pouco mais devagar para poder analisar o equipamento e obter todas as informações. Depois que eu escutei tudo passei a andar no meu ritmo.* [Ross Geller, 35 anos, cegueira congênita]

#### Quadro 11. Comentários dos participantes sobre a duração das mensagens

Conforme observado nos comentários do Quadro 11, esses participantes preferem uma mensagem curta sobre cada ponto de referência, como o número da porta em vez de dizer também os professores e o curso oferecido na sala. Participantes menos ousados e com menos experiência em caminhar sozinho com a bengala apreciaram a riqueza de informação provida pelo equipamento.

A partir dos comentários dos participantes conclui-se que a duração da mensagem não deveria ser fixa, mas deve ser ajustada de acordo com o ritmo do

---

<sup>11</sup> Técnica de exploração com a bengala que consiste em movimentos na forma de arco na distância de 1m à frente do indivíduo. O arco deve cobrir o espaço à frente do indivíduo sem avançar muito para as laterais. O nome da técnica é uma homenagem ao Dr. Richard Hoover.

indivíduo. Aumentar muito a velocidade da fala prejudica a compreensão da mensagem. Uma alternativa é embarcar diferentes mensagens, umas com mais e outras com menos informações. A partir da observação dos vídeos conclui-se que a velocidade do indivíduo é um bom indicador do seu nível de confiança naquele trajeto: indivíduos mais confiantes trafegam mais rápido que indivíduos menos confiantes. Contudo, o ritmo de confiança não é o único fator de influência. Dois participantes (entre dez) fizeram comentários afirmando conhecer o trajeto há muito tempo, mas não saber exatamente os serviços disponíveis. Esses participantes procuraram obter o máximo possível de informação e ouviram todas as mensagens.

Os requisitos de configuração em tempo de execução e personalização do comportamento do wearable representam uma oportunidade para o desenvolvimento de dispositivos cientes de contexto para apoiar a mobilidade de cegos. As funcionalidades desse dispositivo devem incluir, entre outras, a percepção do espaço em relação ao indivíduo: cada indivíduo tem um nível de confiança diferente em cada lugar.

#### **4.4. Limitações**

O presente estudo é limitado pelo contexto no qual foi realizado, como é comum em pesquisas do tipo Estudo de Caso. O problema do *masking* já foi observado em vários contextos e persiste por décadas, de modo que parece claro que o problema não está limitado ao contexto. Contudo, os efeitos observados com a solução tecnológica usada nesse estudo podem ser difíceis de serem replicados em outro contexto. Assim, a contribuição desse estudo para pesquisadores que buscam uma solução definitiva para o *masking* é a possibilidade de comparar depoimentos e resultados de desempenho desse estudo com os mesmos dados de pesquisas realizadas em outros contextos.

Embora seja difícil fazer uma declaração definitiva sobre os resultados obtidos com a abordagem *text-to-speech*, é razoável considerar que *text-to-speech* tem melhor desempenho que as abordagens usadas anteriormente em trabalhos da literatura. A comunicação oralizada e verbal é o meio mais frequente de comunicação dos seres humanos, excluindo indivíduos surdos não-oralizados e outras deficiências que prejudiquem a fala. A respeito da habilidade humana de reconhecer frases, Trevor Agus *et al.* (2010) relatam que o ser humano é capaz de

reconhecer frases curtas no intervalo entre 300 e 450ms e que a detecção de uma voz humana é feita em até 4ms. Esses números representam um argumento para o uso de comunicação verbal em vez de padrões audíveis provenientes do mapeamento imagem-áudio.

Finalmente, além da limitação ao contexto da pesquisa, não é possível afirmar que o feedback audível verbalizado é o único responsável pelos resultados alcançados. O número de *beacons*, por exemplo, pode ter influência na preferência do indivíduo por um modo de feedback particular. Por exemplo, se forem usados o triplo de *beacons*<sup>12</sup> no mesmo espaço físico, então talvez o participante prefira apenas saber da existência de um *beacon* por meio da vibração, em vez de ouvir com tanta frequência informações que não solicitou. O excesso de avisos pode perturbar o indivíduo e inclusive levar à ocorrência de *masking*. Assim, o número ideal de *beacons* permanece como uma oportunidade aberta de pesquisa, bem como a localização ideal dos mesmos.

---

<sup>12</sup> Um dado observado nesse estudo é que alguns participantes disseram que gostariam de ter ainda mais avisos ao longo do caminho, embora a maioria tenha afirmado que a quantidade de avisos é suficiente para o espaço mapeado.

## 5

**Estudo de Caso II: investigação da identificação de pontos de referência**

O objetivo desse Estudo de Caso é investigar se o wearable possibilita ao indivíduo reconhecer mais pontos de referência em comparação com o uso da bengala exclusivamente. Uma vez confirmado que o wearable não prejudica o ritmo de caminhada e não prejudica o uso dos sentidos, resultados obtidos no estudo anterior, busca-se investigar se o wearable amplia as capacidades de referenciamento ou, pelo menos, as facilita.

Para esse estudo, um pré-requisito é que o local do estudo seja desconhecido pelo participante. Um lugar conhecido, nesse contexto, é aquele cujas referências já foram memorizadas pelo indivíduo. Essa memorização requer um tempo de convivência com o lugar, cuja ordem de grandeza é em meses<sup>13</sup>. Assim, a regra de seleção de participantes para esse estudo foi aceitar a participação de todos os voluntários cegos (excluem-se os voluntários com baixa visão) que declarem não conhecer o terceiro piso do instituto. O terceiro piso foi escolhido por apresentar um tráfego muito reduzido de pessoas e crianças e ser desconhecido por alguns voluntários. A Tabela 8 lista os participantes (pseudônimos) desse estudo.

**Tabela 8. Lista de Participantes do Estudo de Caso**

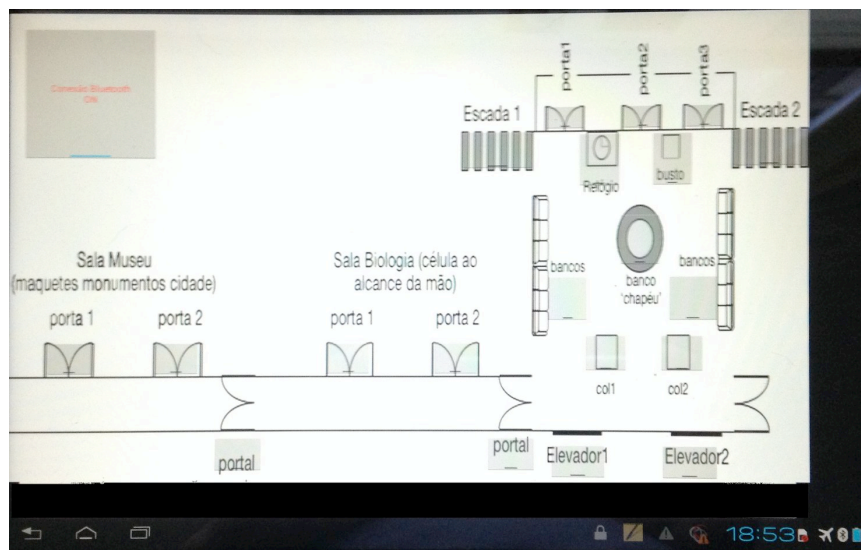
<b>Participante</b>	<b>Idade</b>	<b>Sexo</b>	<b>Tp Cegueira</b>
Karlie	31	Feminino	Congênita
Carlson	21	Masculino	Adquirida há 3 anos
Shirley	64	Feminino	Adquirida há 7 anos
Marco	64	Masculino	Adquirida há 15 anos
Selton	53	Masculino	Adquirida há 2 anos
Molina	23	Masculino	Adquirida há 1 ano
Renato	22	Masculino	Congênita

---

<sup>13</sup> No Estudo Observacional percebeu-se que o tempo necessário para obter proficiência no referenciamento de um local varia de indivíduo para indivíduo. O tempo mínimo observado no prédio do IBC foi de 6 meses e o máximo foi de mais de 2 anos.

Foram definidas duas tarefas nesse estudo com o objetivo de induzir os participantes à uma exploração objetiva do espaço. As tarefas são: explorar o local por 5 minutos buscando (1) o busto de Dom Pedro II e (2) a porta do Museu de Monumentos do RJ. Todos os participantes iniciam a exploração a partir do ponto definido como “Elevador 2” e são avisados que, ao final do período de 5 minutos de exploração, serão questionados sobre os caminhos que levam ao busto e o museu. A primeira parte do teste é realizada sem o apoio dos óculos durante 5 minutos. Na segunda parte, os voluntários vestem os óculos e tem os mesmos 5 minutos para explorar o local. Os participantes não recebem nenhuma informação da equipe.

Um aplicativo para plataforma Android foi desenvolvido com o objetivo de simular o uso de *beacons* e transmitir ao participante a informação sobre o ponto de referência. O aplicativo é constituído de uma planta parcial do terceiro piso do IBC. O aplicativo é ilustrado na Figura 11.



**Figura 11. Interface do aplicativo para Android usado nessa pesquisa**

Nesse aplicativo, um ponto de referência é comunicado ao wearable do participante sempre que o assistente de pesquisa toca na parte do mapa que o representa. Dessa maneira foi possível investigar as hipóteses dessa pesquisa sem alterar o espaço físico do IBC<sup>14</sup>.

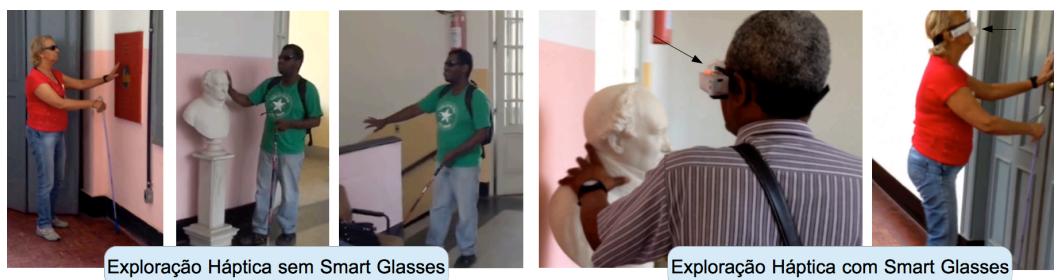
<sup>14</sup> O IBC foi consultado sobre a doação de *iBeacons* desse projeto para o setor DRT. Foi enviada também uma solicitação de autorização para fixá-los nos pontos de referência. O processo de autorização está em andamento. Espera-se que ao longo do projeto novos estudos sejam realizados já usando a infraestrutura de beacons que será doada ao IBC.



### 5.1.Participantes notaram mais pontos de referência ao usar Smart Glasses

Durante a exploração de um novo espaço sem o apoio de ETAs, o indivíduo cego usa a exploração háptica com a bengala como recurso principal. A exploração com as mãos só ocorre quando o mesmo julga necessário, por exemplo, quando ele desconfia que haja obstáculo acima da altura dos quadris (região não rastreada pela bengala) ou quando são orientados a fazer tal exploração. Em função disso, referências como uma estátua ou um busto podem ser negligenciadas, embora sejam representativas dos lugares que as mantém.

Nesse estudo os participantes foram orientados a explorar o lugar para encontrar o busto e a porta do museu. Os participantes foram avisados previamente que seriam questionados a respeito do caminho para chegar a essas referências. Após a realização da tarefa, os vídeos foram analisados e os pontos de referência explorados pelos participantes foram contados. A Figura 12 foi montada a partir de quadros dos vídeos do estudo.



**Figura 12. Exploração háptica durante Estudo de Caso**

Para a contagem dos pontos de referência, considera-se que um ponto de referência foi explorado quando um participante toca nele com a bengala ou mãos (caso esteja sem o wearable proposto) ou quando ele escuta a mensagem do wearable (ao usar o wearable proposto). Durante a análise dos vídeos nota-se, por exemplo, que alguns pontos de referência não foram percebidos porque o participante tocou com a bengala alguns centímetros antes ou depois do ponto de referência. Como consequência da ausência de percepção, o participante não realiza a exploração com as mãos. A contagem de pontos de referência explorados por cada participante em cada tarefa é listada na Tabela 9.

**Tabela 9. Pontos de Referência Explorados por Participante / Tarefa**

Ponto de Referência	Total		Karlie		Carlson		Molina		Selton		Marco		Shirley		Renato	
	A*	B**	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Sala Museu (1)	1	13	0	1	0	2	0	2	1	2	0	2	0	2	0	2
Sala Museu (2)	0	11	0	1	0	1	0	2	0	2	0	1	0	2	0	2
Portal 1	11	11	0	1	0	1	2	2	2	2	3	1	2	2	2	2
Sala Biologia (1)	2	11	0	1	0	1	1	2	0	2	0	1	0	2	1	2
Sala Biologia (2)	5	11	0	1	0	1	2	2	0	2	1	1	0	1	2	3
Portal 2	5	10	0	1	0	1	3	2	1	2	0	1	1	1	0	2
Colunas (1)	2	5	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1
Colunas (2)	3	7	2	1	0	2	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1
Bancos 1	6	5	3	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Escada 1	4	4	0	1	2	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1
Varanda 1	4	5	0	2	2	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1
Relógio	5	4	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Busto	5	4	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Banco Central	3	4	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
Escada 2	5	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Bancos 2	9	2	3	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
Elevador 1	7	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	0	2
Elevador 2	2	6	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Varanda 2	6	3	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Varanda 3	5	3	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
# Miss Out	85	45	9	1	9	3	12	7	16	12	13	10	17	10	9	2
# Reach	55	95	11	19	11	17	8	13	4	8	7	10	3	10	11	18

\* Tarefa 'A' foi realizada com o apoio da bengala **exclusivamente**

\*\* Tarefa 'B' foi realizada com o apoio da bengala e Smart Glasses

A partir dessa tabela, foram analisadas as explorações de cada ponto de referência. Por exemplo, ao comparar a quantidade de pontos de referência não explorados por Carlson na Tarefa A, o resultado é que 9 pontos não foram sequer notados (chamaremos de 'Miss') e 11 pontos foram explorados (chamaremos de 'Reach') na execução da mesma tarefa. Na execução da Tarefa B, Carlson deixou de explorar apenas 4 pontos (Miss), enquanto 16 pontos foram explorados (Reach) na execução da mesma tarefa. As ocorrências de 'Miss' (cada zero na tabela) e 'Reach' (cada valor maior que zero) foram contadas para todos os participantes e sumarizadas numa tabela de contingência (Tabela 10).

**Tabela 10. Tabela de Contingência de eventos Miss e Reach**

	Tarefa A	Tarefa B
# Eventos Miss	85	46
# Eventos Reach	55	94

Os dados da Tabela 10 foram comparados usando o Teste Exato de Fisher (SPRENT; SMEETON, 2007). O Teste de Fisher é especificamente projetado para tabelas de contingência 2x2, embora possa ser aplicado em matrizes  $m \times n$ . O teste é uma alternativa ao teste do chi-quadrado e deve ser escolhido quando as amostras são pequenas, embora possa também ser usado com qualquer tamanho de amostra. O resultado do teste para estes dados é um p-valor menor que 0.0001, ou seja, o risco de rejeitar a hipótese nula é menor que 0.1% e, portanto, deve-se rejeitar a hipótese nula e aceitar a hipótese alternativa. A hipótese alternativa diz que há vínculo entre as variáveis Tarefa (coluna) e Evento (linha), pois foi encontrado um desvio significativo entre os valores observados e esperados. O valor esperado provém da aleatoriedade e, portanto, da ausência de vínculo entre as variáveis 'Evento' e 'Tarefa'. Esse resultado significa que Evento e Tarefa estão relacionados, de modo que o evento Reach é mais provável de acontecer na Tarefa B, enquanto o evento Miss é mais provável de acontecer na Tarefa A. A conclusão é que o há uma evidência forte em favor da hipótese de que o wearable apoiou a identificação de mais pontos de referência nesse estudo. A participante Karlie compara suas experiências com e sem o wearable durante a entrevista, conforme transcrição no Quadro 12.

*Eu consigo dizer que há um espaço aberto e têm algumas coisas no centro, as quais eu não descobri. Só descobri o banco né, você me acompanhou aqui, e eu procurei me localizar pelas laterais, que foram as paredes, né? (...) Eu consegui reconhecer pilastras, né, as colunas, um armário, e esse banco... eu acho... [Comentários da Karlie depois de executar a Tarefa A]*

*(...) [O wearable] dava toda a ideia de um local que até então, pra mim, era desconhecido, eu fui a primeira vez descobrindo por... tanto que eu achei que era um armário ali, onde eu passei a mão que parecia uma porta de madeira, que me surpreendeu, e não era, né... era um relógio. [Comentários da Karlie depois de executar a Tarefa B]*

#### **Quadro 12. Comentários de uma participante após executar Tarefas A e B**

Nesse estudo, o tempo para a execução das tarefas foi propositalmente curto. Construir um mapa mental sem informação visual é uma tarefa que consome tempo. Para memorizar o primeiro andar do mesmo edifício, por exemplo, alguns reabilitandos precisam de mais de 6 meses. Os comentários dos participantes sobre o tempo para a realização das tarefas são transcritos no Quadro 13.

*Olha, para o objetivo que eu tinha, que era encontrar um Museu que não estava tão próximo do ponto de partida, eu acho que [o tempo] foi curto. [Karlie]*

----

**Renato:** [O tempo] *Sem os óculos foi [curto].*

**Entrevistador:** *Você não chegou no Museu...*

**Renato:** *Porque eu não sabia.*

**Entrevistador:** *E se tivesse mais tempo?*

**Renato:** *Não, e se eu chegasse não ia saber que cheguei.*

----

**Selton:** (...) [o tempo] *não foi muito [adequado] não.*

----

**Shirley:** *Não [foi suficiente]; e pudesse ter mais tempo era bom, né?*

### **Quadro 13. Comentários sobre o tempo para exploração**

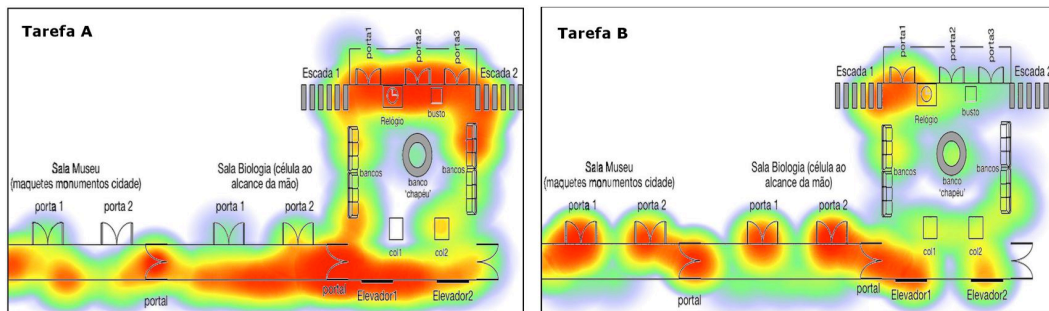
Além do tempo curto para evitar a memorização, aos participantes foram passadas as tarefas de encontrar e listar o caminho para 2 pontos de referência, mas a avaliação do estudo foi baseada no número de pontos de referência explorados durante a busca e não no sucesso/falha dos participantes no cumprimento das tarefas. Essas duas providências, tempo curto para exploração e ocultação do real objetivo das tarefas, foram tomadas com o objetivo de proteger esse estudo da *ameaça de testagem*<sup>15</sup>, uma vez que esperava-se um número muito reduzido de voluntários aptos a participar do estudo em função das regras de exclusão definidas.

#### **5.2. Não houve diferença nas estratégias de exploração**

A estratégia usada pelos participantes do estudo para explorar o espaço desconhecido foi registrada em mapas de calor. Um mapa de calor foi produzido para o trajeto usado pelos participantes ao executar a Tarefa A e outro mapa foi produzido para o trajeto usado ao executar a Tarefa B, ilustrados na Figura 13. O objetivo é possibilitar a comparação visual dos caminhos usados pelos participantes ao explorar o espaço físico destinado à execução das tarefas.

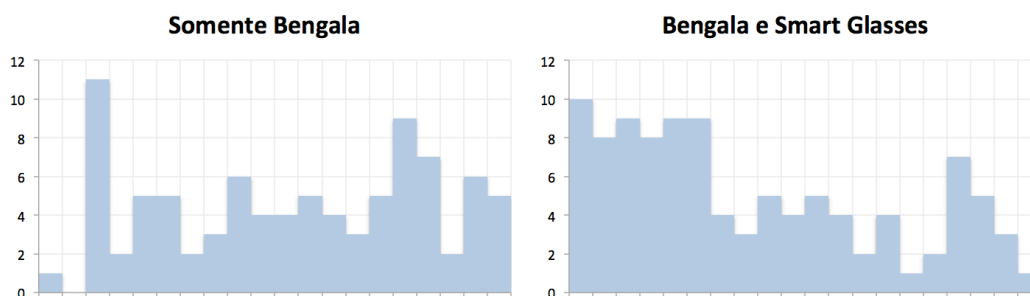
---

<sup>15</sup> A ameaça da testagem consiste no risco dos efeitos observados na variável dependente não decorrerem da manipulação realizada, mas da influência de um tratamento inicial realizado.



**Figura 13. Estratégias de exploração do espaço**

De uma maneira geral, os participantes mais inseguros escolheram a parede mais próxima para seguir. Por isso, o corredor à esquerda (que leva ao museu) é a área mais quente, bem como os pontos de referência desse trecho. A escolha da parede se dá pela segurança que se obtém ao usá-la como guia. Ao explorar um espaço aberto, como o círculo central onde se encontra o busto, o participante está mais sujeito a acidentes. A parede mais próxima para os participantes é a que tem os elevadores, por isso, ao executar a Tarefa A eles se mantiveram nesse lado e não perceberam as portas das salas de biologia e museu. Alguns, no entanto, fizeram o caminho de volta pela parede que tem as portas e as reconheceram na Tarefa A. Quanto à Tarefa B, os participantes receberam o aviso da porta ao passar próximo dela. Esse aviso despertou-lhes a curiosidade e os participantes dirigiram-se ao outro lado do corredor para explorar as portas.



**Figura 14. Estratégias de exploração do espaço: histogramas**

A diferença visual na exploração foi testada com estatística não-paramétrica. Para esse teste foi usada a frequência de exploração de cada ponto de referência de modo a formar um histograma (Figura 14). A forma desse histograma foi comparada com o teste de Kolmogorov-Smirnov (SPRENT; SMEETON, 2007), um teste adequado para conferir diferenças em duas distribuições. O resultado é que não foi encontrada diferença significativa nas distribuições.

### 5.3.Limitações

Os resultados desse estudo são limitados ao grupo e ao contexto no qual o mesmo foi realizado. O teste exato de Fisher e a triangulação desses resultados por meio de entrevista reforçam as evidências em favor da hipótese dessa pesquisa, contudo, ainda não é possível generalizar esses resultados. Nesse estudo, o número de *beacons* é ainda mais relevante que no estudo anterior, pois não se avalia somente o *masking*, mas também a utilidade da tecnologia proposta. Os participantes, como no primeiro estudo, disseram que todos os pontos de referência foram úteis e indicaram que não seria um problema se mais pontos fossem adicionados. A influência do número de *beacons* nos resultados de uma investigação desse tipo, entretanto, permanece como uma oportunidade aberta de pesquisa.

Outra limitação desse estudo é o número de participantes. Para generalizar esses resultados é preciso investigar com mais participantes de diferentes perfis. Não se sabe se a proposta de solução dessa pesquisa é adequada para crianças, por exemplo, já que todos os participantes são adultos.

A proposta de solução dessa pesquisa não foi estudada com participantes com deficiência auditiva associada. Alguns voluntários com deficiência auditiva auxiliados por aparelhos auditivos e implantes cocleares procuraram o autor da pesquisa e solicitaram participação. Esses participantes apreciaram o equipamento e disseram que é possível testá-lo se puderem também usar seus aparelhos auditivos. Um estudo com esse perfil de participantes é útil para investigar a extensão dos resultados dessa pesquisa.

## 6 Conclusão e Trabalhos Futuros

Nessa pesquisa investigou-se como wearables podem apoiar a aquisição de uma representação espacial por indivíduos cegos. A literatura foi revisada, uma teoria selecionada, um modelo teórico da mesma foi adotado e um problema investigado. O *masking* foi caracterizado nessa pesquisa por meio da organização de referências sobre o mesmo na literatura e pela corroboração do mesmo com evidências encontradas nos estudos observacional e empírico desta pesquisa.

O wearable proposto foi útil para aumentar o número de pontos de referência percebidos pelos participantes do Estudo de Caso. A proporção de eventos ‘Miss’ na tarefa realizada sem o apoio do wearable foi significativamente maior que a proporção do mesmo evento na tarefa realizada com o apoio do wearable proposto. O Teste Exato de Fisher, por não usar aproximações que são mais fortes conforme o tamanho da amostra, provê evidências fortes para o resultado dentro do grupo e contexto no qual a pesquisa foi realizada.

O *masking* é um problema relevante que, juntamente com a discriminação do equipamento, prejudica a adoção de ETAs e EOAs por indivíduos cegos (HERSH; JOHNSON, 2008). Nessa pesquisa a abordagem de comunicação verbalizada foi testada por se tratar de uma abordagem considerada original após a revisão de literatura. Como resultado, o *masking* foi evitado e esse resultado pode ser usado por outros pesquisadores que investigam o *masking* em contextos diferentes do contexto dessa pesquisa. Para esses pesquisadores, a abordagem de comunicação verbalizada apresenta-se como promissora e os resultados com a mesma encorajam a realização de estudos comparativos com outras tecnologias e em outros contextos.

Outra contribuição dessa pesquisa é um conjunto de recomendações para projetistas de wearables para indivíduos cegos. Nessa pesquisa, os participantes indicaram que é imprescindível manter as mãos livres, deve-se evitar bloquear os ouvidos e deve-se dar preferência a embutir computação nos acessórios já usados

por esses indivíduos, como relógios, bengala e óculos. Essa lista de recomendações não é exaustiva, mas trata-se de um ponto de partida para projetista de wearables.

Nessa pesquisa foram obtidos indícios da necessidade de embutir ‘inteligência’ nesses wearables. Vários participantes citaram especificamente a preferência por mensagens adequadas ao ritmo de caminhada do indivíduo. Esses indivíduos sugeriram como solução mensagens mais rápidas ou mais lentas (configurável como nos sintetizadores de voz de aparelhos de telefonia móvel), ou com mais ou menos informações. O consumo de bateria é um item crítico para esses indivíduos. Sair para um destino e ficar sem a tecnologia antes de conseguir retornar é algo que todos temem. O desenvolvimento de sistemas cientes de contexto capazes de inferir as posturas e movimentos do indivíduo tem o potencial de possibilitar mudanças no comportamento do wearable de modo a não consumir bateria na busca por *beacons* se o indivíduo está sentado, por exemplo. A investigação de modelos de predição do ritmo de caminhada para serem embarcados em wearables cientes de contexto permanece como trabalho futuro dessa pesquisa.

Outro resultado dessa pesquisa é que o wearable proposto não afetou a estratégia de exploração dos indivíduos desse estudo. Os indivíduos tendem a guiar-se pelas paredes e explorar menos frequentemente elementos na parte central de espaços abertos. Esse comportamento se manteve com o uso do wearable proposto. O resultado, inferido por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, encoraja a investigação dessas estratégias de exploração em outros contextos. O fato de não mudar a estratégia não é necessariamente algo bom. É preciso investigar se outros wearables influenciam a estratégia de exploração do indivíduo de modo a torná-la mais rápida ou mais completa, por exemplo. Aprofundar o conhecimento sobre as estratégias de exploração do espaço por indivíduos cegos e sobre a influência da tecnologia nas estratégias permanece como um trabalho futuro dessa pesquisa.

As lições aprendidas nessa pesquisa, de um modo geral, são úteis para a melhoria de ETAs (*Electronic Travel Aids*) e EOAs (*Electronic Orientation Aids*) para pedestres cegos. Os projetistas de ETAs beneficiam-se principalmente da investigação sobre o *masking*, enquanto os projetistas de EOAs podem combinar o uso de sistemas de posicionamento (como GIS e GPS) com as lições aprendidas

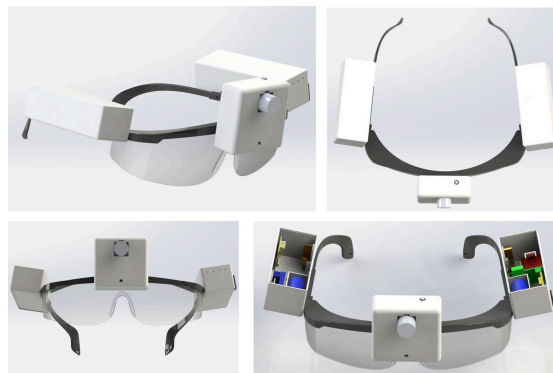


sobre a identificação de pontos de referência. A informação de um trajeto para o cego deve ter também referências normalmente não encontradas em sistemas de posicionamento e a possibilidade de agregar essas referências em novos dispositivos de orientação representa uma oportunidade de pesquisa em aberto.

Um trabalho futuro dessa pesquisa é a investigação das estruturas usadas pelos indivíduos para representar o espaço. Nessa pesquisa, comentários dos participantes indicaram que há diferentes estruturas usadas por indivíduos cegos para essa representação. Enquanto boa parte dos participantes lista caminhos na forma de listas encadeadas, alguns indivíduos os apresenta na forma de um grafo de caminhos. Uma investigação dessa estrutura tem o potencial de beneficiar o desenvolvimento de tecnologias de orientação para pedestres cegos. Sistemas de orientação, por exemplo, podem levar em consideração a forma que o indivíduo prefere representar o espaço para informar trajetos que são mais facilmente aprendidos pelo indivíduo.

Outro trabalho futuro dessa pesquisa é a investigação da influência dos wearables na correção, agravamento, ou adição de problemas posturais nos indivíduos. Vários participantes apresentam problemas posturais, como rotação e inclinação da cabeça e posicionamento inadequado dos pés. Outro problema recorrente é o padrão de caminhada, com passos mais curtos e arrastados, especialmente em indivíduos muito inseguros. Um wearable com uma câmera nas lentes, por exemplo, pode exigir do indivíduo o posicionamento correto da cabeça para melhorar o desempenho na identificação de pontos de referência por meio do processamento de imagens.

Uma nova versão do wearable dessa pesquisa já está em desenvolvimento. Nessa versão, uma câmera é posicionada entre as lentes do óculos. A nova versão desse projeto é ilustrada na Figura 15.



**Figura 15. Nova versão do wearable projetada para trabalhos futuros**

No protótipo da Figura 15 é usada uma câmera (Pixy) com microcontrolador anexado que possibilita o reconhecimento de objetos por contraste de cor. Além do reconhecimento de objetos, etiquetas de cor podem ser definidas e associadas a pontos de referência.

Um trabalho futuro que será realizado com o novo protótipo é a comparação entre a identificação de pontos de referência com a tecnologia de *beacons* (sinais de rádio com protocolo Bluetooth) e a identificação por meio da câmera e etiquetas de cor fixadas no ambiente. Essa característica da câmera pode ajudar a corrigir a postura nesses indivíduos, que deverão olhar para a frente sempre. Contudo, é possível que o uso da câmera prejudique a identificação de pontos de referência, uma vez que as ondas de rádio são percebidas num raio de distância do ponto de referência e a câmera limita o reconhecimento de pontos de referência no seu raio de visão, à frente do indivíduo.

Por fim, um trabalho futuro dessa pesquisa é investigar diferentes abordagens para a inclusão dessa ‘camada de informação’ extra nos sistemas de posicionamento. Por exemplo, um indivíduo cego pode deixar ‘migalhas de pão’ (mensagens audíveis para outros pedestres cegos) pelo caminho com dicas sobre trajetos e situações de perigo. Essa informação é usada por outro cego que caminha pelo mesmo trajeto. Se essa abordagem for bem sucedida num grupo pequeno, outra investigação possível é ampliar o seu uso e pesquisar algoritmos de recomendação para serem usados na seleção de dicas para o indivíduo que passa por um trajeto. Essa seleção pode ser baseada no perfil do indivíduo (deficiências associadas) ou na reputação do indivíduo que registra a dica.

## 7 Referências

AGUERREVERE, D. Portable 3D Sound / Sonar Navigation System for Blind Individuals. 2004, Miami, FL.: [s.n.], 2004.

AGUS, T. R. *et al.* Characteristics of human voice processing. maio 2010, [S.l.]: IEEE, maio 2010. p. 509–512. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5537589>>. Acesso em: 30 set. 2014.

ANDREWS, S. K. Spatial cognition through tactual maps. 1983, Washington, DC: Association of American Geographers, 1983. p. 30–40.

ARNOWITZ, J.; ARENT, M.; BERGER, N. *Effective Prototyping for Software Makers*. [S.l.]: Elsevier, 2010.

BAHADIR, S. K.; KONCAR, V.; KALAOGLU, F. Wearable obstacle detection system fully integrated to textile structures for visually impaired people. *Sensors and Actuators A: Physical*, v. 179, p. 297–311, jun. 2012. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924424712001409>>. Acesso em: 6 out. 2014.

BAILEY, R. *Design of comparative experiments*. vol. 25 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

BALL, E. M. Electronic Travel Aids: An Assessment. *Assistive technology for visually impaired and blind people*. London: Springer, 2008. p. 289–321.

BORENSTEIN, J.; ULRICH, I. The GuideCane—a computerized travel aid for the active guidance of blind pedestrians. 1997, [S.l.]: IEEE, 1997. p. 1283–1288. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=614314>>. Acesso em: 16 set. 2014.

BRABYN, J. *Electronic Spatial Sensing for the Blind*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1985. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-1400-6>>. Acesso em: 12 out. 2014.

BRABYN, J. A. New developments in mobility and orientation aids for the blind. *IEEE transactions on bio-medical engineering*, v. 29, n. 4, p. 285–9, abr. 1982. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6175559>>.

BRAMBRING, M. Mobility and orientation processes of the blind. In: WARREN, D. H. (NIJHOFF); STRELOW, E. R. (NIJHOFF) (Org.). *Electronic spatial*

*sensing for the blind*. Dordrecht, Netherlands: Nijhoff, 1985. p. 493–508.

BYRNE, R. W.; SALTER, E. Distances and directions in the cognitive maps of the blind. *Canadian Journal of Psychology*, v. 37, p. 293–299, 1983.

CHESELDEN, W. An Account of some Observations made by a young Gentleman, who was born blind, or lost his Sight so early, that he had no Remembrance of ever having seen, and was couch'd between 13 and 14 Years of Age. *Philosophical Transactions*, v. 402, p. 447–450, 1728. Disponível em: <<http://psycnet.apa.org/journals/cep/37/2/293/>>.

CLARK-CARTER, D. *Factors Affecting Blind Mobility*. 1985. University of Nottingham, 1985.

D.O.D. *Global positioning system standard positioning service performance standard*.

DAKOPOULOS, D.; BOURBAKIS, N. G. Wearable Obstacle Avoidance Electronic Travel Aids for Blinds: A Survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, v. 40, n. 1, p. 25–35, 2010.

DOUKAS, C. *et al.* Digital cities of the future: Extending @home assistive technologies for the elderly and the disabled. *Telematics and Informatics*, v. 28, n. 3, p. 176–190, ago. 2011. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S073658531000050X>>. Acesso em: 19 ago. 2014.

FAA GPS PRODUCT TEAM, W. J. H. T. C. *Global Positioning System (GPS) Standard Positioning Service (SPS) Performance Analysis Report 1284 Maryland Avenue SW*. [S.l.: s.n.], 2014.

FAN, C.; FORLIZZI, J.; DEY, A. Considerations for technology that support physical activity by older adults. 2012, New York, New York, USA: ACM Press, 2012. p. 33. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2384916.2384923>>. Acesso em: 26 out. 2014.

FARCY, R. *et al.* Electronic Travel Aids and Electronic Orientation Aids for blind people: technical, rehabilitation and everyday life points of view. 2006, [S.l.: s.n.], 2006. p. 12.

FLETCHER, J. F. Spatial Representation in Blind Children: Development Compared to Sighted Children. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, v. 74, n. 10, p. 381–385, 1980. Disponível em: <<http://eric.ed.gov/?id=EJ240660>>.

FUKS, H. *et al.* Collaborative Museums: an Approach to Co-Design. 2012, New York, New York, USA: ACM Press, 2012. p. 681–684. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2145204.2145307>>. Acesso em: 13 out. 2014.

GIBSON, R. J. The Franklin Institute Electronic Cane. *Human Factors in Technology*, p. 361, 1963.

GONZALEZ-MORA, J. L. *et al.* Development of a new space perception system for blind people, based on the creation of a virtual acoustic space. *Engineering Applications of Bio-Inspired Artificial Neural Networks*, p. 321–330, 1999.

HARPER, S. *Standardising Electronic Travel Aid Interaction for Visually Impaired People*. 1998. Master of philosophy in software engineering, UMIST, Manchester, UK, 1998.

HELMHOLTZ, H. VON. *Handbook of physiological optics*. [S.l: s.n.], 1925.

HERSH, M. A.; JOHNSON, M. A. Mobility : An Overview. *Assistive technology for visually impaired and blind people*. London: Springer, 2008. p. 167–208.

HOYLE, B.; WATERS, D. Mobility AT : The Batcane ( UltraCane ). *Assistive technology for visually impaired and blind peoples*. London: Springer, 2008. p. 289–321.

HUB, A.; DIEPSTRATEN, J.; ERTL, T. Design and development of an indoor navigation and object identification system for the blind. 2004, New York, New York, USA: ACM Press, 2004. p. 147. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1028630.1028657>>. Acesso em: 17 set. 2014.

IBGE. *Censo Demográfico: Resultados Gerais da Amostra*. . Rio de Janeiro: [s.n.], 2010.

IFUKUBE, T.; SASAKI, T.; PENG, C. A blind mobility aid modeled after echolocation of bats. *IEEE transactions on bio-medical engineering*, v. 38, n. 5, p. 461–5, maio 1991. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1874528>>. Acesso em: 16 set. 2014.

ITO, K. *et al.* CyARM: an alternative aid device for blind persons. 2005, New York, New York, USA: ACM Press, 2005. p. 1483. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1056808.1056947>>. Acesso em: 16 set. 2014.

JANSSON, G. Haptics as a Substitute for Vision. *Assistive technology for visually impaired and blind people*. [S.l: s.n.], 2008. p. 135–166.

KAY, L. A sonar aid to enhance spatial perception of the blind: engineering design and evaluation. *Radio and Electronic Engineer*, v. 44, n. 11, p. 605, 1974. Disponível em: <<http://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ree.1974.0148>>. Acesso em: 17 set. 2014.

KAY, L. An Ultrasonic Sensing Probe as a Mobility Aid for the Blind.

*Ultrasonics*, v. 2, n. 2, p. 53–59, 1964.

KAY, L. Electronic aids for blind persons: an interdisciplinary subject. *IEEE Proceedings A Physical Science, Measurement and Instrumentation, Management and Education, Reviews*, v. 131, n. 7, p. 559, 1984. Disponível em: <<http://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ip-a-1.1984.0071>>. Acesso em: 12 out. 2014.

LENOIR, T. *The eye as mathematician: Clinical practice, instrumentation, and Helmholtz's construction of an empiricist theory of vision*. [S.l.: s.n.], 1993.

LEVIT, H. Digital Hearing Aids: Wheelbarrows to Ear Inserts. *The ASHA Leader*, v. 12, n. 17, p. 28–30, 2007.

LOCKE, J. *An Essay Concerning Humane Understanding*. 4. ed. Oxford: Clarendon Press, 1975.

MARCONI, M. DE A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de Metodologia Científica*. [S.l.]: Atlas, 2010.

MEERS, S.; WARD, K. A Substitute Vision System for Providing 3D Perception and GPS Navigation via Electro-Tactile Stimulation. *International Conference on Sensing Technology*, n. November, p. 551–556, 2005.

MEIJER, P. B. An experimental system for auditory image representations. *IEEE transactions on bio-medical engineering*, v. 39, n. 2, p. 112–21, fev. 1992. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1612614>>. Acesso em: 16 set. 2014.

MILLAR, S. *Understanding and representing space: Theory and evidence from studies with blind and sighted children*. Oxford: Clarendon Press/Oxford University Press, 1994.

MILLAR, S. Understanding and representing spatial information. *British Journal of Visual Impairment*, v. 13, n. 1, p. 8–11, 1 mar. 1995. Disponível em: <<http://jvi.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/026461969501300102>>. Acesso em: 10 out. 2014.

MILLER, J. Vision, a Component of Locomotion. *Physiotherapy*, v. 50, n. October, p. 326, 1967.

MILLS, M. Hearing Aids and the History of Electronics Miniaturization. *IEEE Annals of the History of Computing*, v. 33, n. 2, p. 24–45, fev. 2011. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5771310>>. Acesso em: 25 out. 2014.

NICOLACI-DA-COSTA, A. M. O campo da pesquisa qualitativa e o Método de Explicitação do Discurso Subjacente (MEDS). *Psicologia: Reflexão e Crítica*, v. 20, n. 1, p. 65–73, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-)

79722007000100009&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 30 set. 2014.

PASCOLINI, D.; MARIOTTI, S. P. Global estimates of visual impairment: 2010. *The British journal of ophthalmology*, v. 96, n. 5, p. 614–8, maio 2012. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22133988>>. Acesso em: 23 set. 2014.

RÉVÉSZ, G. *The Psychology and Art of the Blind*. [S.l.: s.n.], 1950.

RIORDAN, M.; HODDESON, L. BIRTH OF AN ERA. *Scientific American*, v. 1, n. Special Issue, p. 10–17, 1998.

ROSS, D. A. Implementing assistive technology on wearable computers. *IEEE Intelligent Systems*, v. 16, n. 3, p. 47–53, maio 2001. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=940026>>. Acesso em: 26 out. 2014.

ROSS, I. M. The invention of the transistor. *Proceedings of the IEEE*, v. 86, n. 1, p. 7–28, 1998. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=658752>>. Acesso em: 12 out. 2014.

ROTHER, E. T. Revisão sistemática X revisão narrativa. *Acta Paulista de Enfermagem*, v. 20, n. 2, jun. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-21002007000200001&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-21002007000200001&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 26 out. 2014.

SAINARAYANAN, G.; NAGARAJAN, R.; YAACOB, S. Fuzzy image processing scheme for autonomous navigation of human blind. *Applied Soft Computing Journal*, v. 7, n. 1, p. 257–264, jan. 2007. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1568494605000670>>. Acesso em: 30 ago. 2014.

SCHRAGE, M. Cultures of Prototyping Michael Schrage. *Design Management Journal (Former Series)*, v. 4, n. 1, p. 55–65, 1993.

SHOVAL, S.; BORENSTEIN, J.; KOREN, Y. Mobile robot obstacle avoidance in a computerized travel aid for the blind. 1994, [S.l.]: IEEE Comput. Soc. Press, 1994. p. 2023–2028. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=351166>>. Acesso em: 16 set. 2014.

SHOVAL, S.; BORENSTEIN, J.; KOREN, Y. The NavBelt--a computerized travel aid for the blind based on mobile robotics technology. *IEEE transactions on bio-medical engineering*, v. 45, n. 11, p. 1376–86, nov. 1998. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9805836>>. Acesso em: 16 set. 2014.

SPRENT, I. P.; SMEETON, N. C. *Applied Nonparametric Statistical Methods*. 3rd. ed. [S.l.]: CRC Press, 2007.

ULRICH, I.; BORENSTEIN, J. The GuideCane-applying mobile robot

technologies to assist the visually impaired. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, v. 31, n. 2, p. 131–136, mar. 2001. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=911370>>. Acesso em: 2 set. 2014.

UNGAR, S. Cognitive Mapping without Visual Experience. *Cognitive mapping: past, present, and future*. [S.l.: s.n.], 2000. p. 221.

UNGAR, S.; BLADES, M. Strategies for Organising Information While Learning a Map by Blind and Sighted People. *The Cartographic Journal*, v. 34, n. 2, p. 93–110, 1997.

UNGAR, S.; BLADES, M.; SPENCER, C. Visually impaired children's strategies for memorising a map. *British Journal of Visual Impairment*, v. 13, n. 1, p. 27–32, 1 mar. 1995. Disponível em: <<http://jvi.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/026461969501300107>>. Acesso em: 10 out. 2014.

VEGA, K.; FUKS, H. Beauty technology as an interactive computing platform. 2013, New York, New York, USA: ACM Press, 2013. p. 357–360. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2512349.2512399>>. Acesso em: 31 out. 2014.

WARREN, D. H.; STRELOW, E. R. (ED. . Electronic Spatial Sensing for the Blind: Contributions from Perception, Rehabilitation, and Computer Vision. *Electronic Spatial Sensing for the Blind: Contributions from Perception, Rehabilitation, and Computer Vision*, v. 99, 1985.

WIENER, J. M.; BÜCHNER, S. J.; HÖLSCHER, C. Towards a Taxonomy of Wayfinding Tasks: A Knowledge-Based Approach. *Spatial Cognition & Computation*, v. 9, n. 2, p. 152–165, 2009.

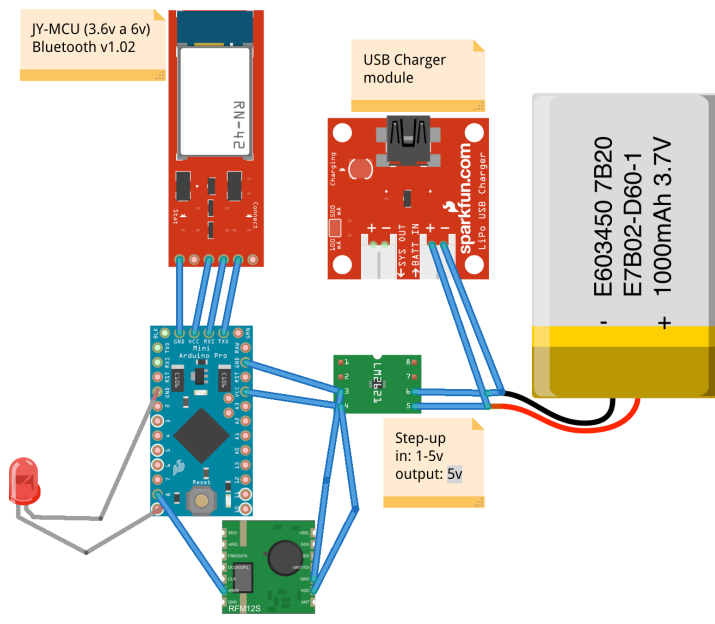
YIN, R. K. *Case study research: Design and methods*. Sage publications. [S.l.]: Sage publications, 2014. p. 312

ZELEK, J. *et al. A Stereo-vision System for the Visually Impaired*. 1999. University of Guelph, 1999., 1999.



## APÊNDICE A

Na Figura 16, é ilustrado o circuito eletrônico simplificado (componentes da plataforma Arduino conectados, em vez do esquemático) usado na luva, no cinto e nos óculos. O módulo Bluetooth dos óculos foi usado somente no Estudo de Caso II, embora já estivesse previsto desde o primeiro.



**Figura 16. Conexão dos componentes eletrônicos de todos os wearables**

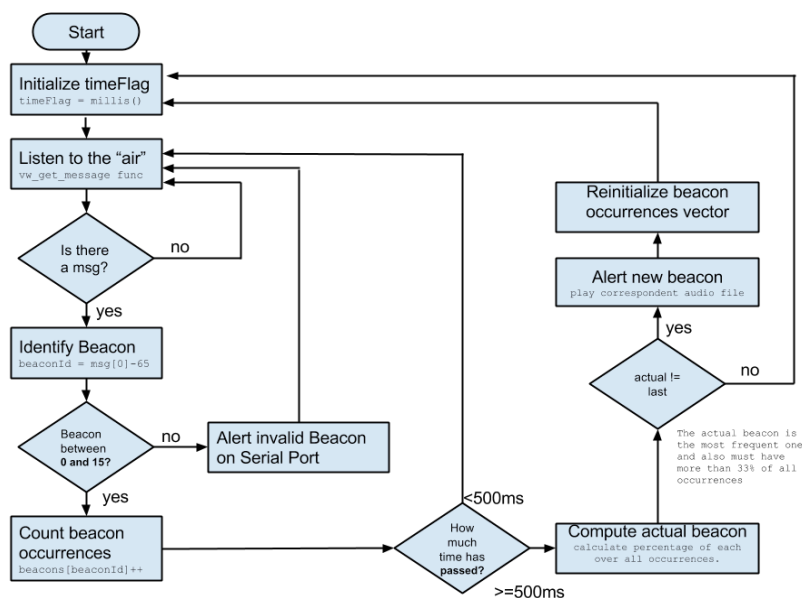
## APÊNDICE B

A Figura 17 contém um fluxograma que representa o Algoritmo usado nos óculos, luva e cinto. O código tem ligeiras alterações em função da montagem física e pode ser encontrado nos repositórios do GIT Hub:

Luva e Cinto: [https://github.com/wugulino/SmartGlasses\\_Glove\\_Belt](https://github.com/wugulino/SmartGlasses_Glove_Belt)

Óculos: <https://github.com/wugulino/SmartGlasses>

Android: <https://github.com/wugulino/SmartGlassesSetup>



**Figura 17. Fluxograma para identificação de beacons digitais com rede RF433Mhz**