ERICO DE SOUZA VERISCIMO

Interação 3D com retorno de áudio para a
identificação de objetos virtuais acessível a
usuários com deficiência visual

São Paulo

2016

ERICO DE SOUZA VERISCIMO

**Interação 3D com retorno de áudio para a
identificação de objetos virtuais acessível a usuários
com deficiência visual**

Versão corrigida

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Sistemas de Informação.

Área de concentração: Metodologia e Técnicas da Computação

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 20 de Setembro de 2016. A versão original encontra-se em acervo reservado na Biblioteca da EACH-USP e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD), de acordo com a Resolução CoPGr 6018, de 13 de outubro de 2011.

Orientador: Prof. Dr. João Luiz Bernardes Júnior

São Paulo

2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Biblioteca)

Veriscimo, Erico de Souza

Interação 3D com retorno de áudio para a identificação de objetos virtuais acessíveis a usuários com deficiência visual / Erico de Souza Veriscimo ; orientador, João Luiz Bernardes Júnior. – São Paulo, 2016.

91 p. : il

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Informação, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo.

Versão corrigida

1. Realidade virtual. 2. Áudio digital. 3. Terceira dimensão.
4. Deficiência visual. I. Bernardes Júnior, João Luiz, orient. II.
Título

CDD 22.ed.– 006.8

Dissertação de autoria de Erico de Souza Veriscimo, sob o título **“Interação 3D com retorno de áudio para a identificação de objetos virtuais acessível a usuários com deficiência visual”**, apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Sistemas de Informação, na área de concentração Metodologia e Técnicas da Computação, aprovada em ____ de _____ de _____ pela comissão julgadora constituída pelos doutores:

Prof. Dr. _____

Presidente

Instituição: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Dedico este trabalho a minha esposa Amanda, meus pais Antônio Veriscimo e Lineusa, aos meus irmãos Alex e Alexandre e a toda minha família que sempre me apoiaram.

Dedico especialmente ao meu eterno amigo Álvaro Gulliver, que tive a grande oportunidade de conhecer no curso do mestrado, mas, infelizmente não está mais entre nós. E por fim a todos os meus amigos.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a Deus o autor da minha vida, que sempre me deu o que precisei e não o que queria, pelo seu amor incondicional de Pai que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos.

Agradeço também meus pais, Antônio e Lineusa que sempre estiveram ao meu lado me apoiando, e por muitas vezes até sacrificaram seus sonhos para que o meu seja realizado, o mínimo que posso fazer é agradece-los e sempre que tiver a oportunidade confirmar o amor que sinto por eles. A minha linda esposa Amanda e toda minha família.

Não poderia de deixar de agradecer ao CADEVI que com muita gentileza e prontidão, permitiram a realização dos testes com seus alunos (pessoas com deficiência visual).

Um agradecimento especial ao meu orientador Prof. Dr. João Luiz Bernardes Júnior, por todo apoio e orientação. E ao meu grande amigo e padrinho Me. Leandro Luque por sua paciência e dedicação em me auxiliar sempre que possível.

Por fim agradeço aos meus amigos e a todos que fizeram parte deste trabalho.

“Tudo parece impossível até que seja feito”
(Nelson Mandela)

Resumo

VERISCIMO, Erico de Souza. **Interação 3D com retorno de áudio para a identificação de objetos virtuais acessível a usuários com deficiência visual.** 2016. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, AnoDeDefesa.

A Organização Mundial de Saúde estima que existam hoje 285 milhões de pessoas com deficiência visual grave em todo o mundo. Com o advento da tecnologia, ambientes virtuais em 3D estão sendo cada vez mais utilizados para diversas aplicações. Muitas destas aplicações, no entanto, não são acessíveis para usuários com deficiência visual, criando uma divisão digital. O objetivo deste trabalho é desenvolver uma nova técnica de interação 3D de baixo custo que permita a identificação de objetos virtuais com autonomia usando apenas propriocepção e retorno de áudio. Foi desenvolvido um protótipo implementando esta técnica e foram realizados primeiramente testes funcionais com usuários com visão para avaliar se o protótipo implementou de fato a técnica proposta. Em seguida foi realizado um pré-teste com um deficiente visual, seguido de aprimoramento do protótipo e um experimento com oito usuários com deficiência em que deveriam diferenciar objetos virtuais usando somente a técnica proposta. Os resultados se mostraram bastante positivos, com cerca de 84% de acerto sem nenhum treino anterior. Este resultado sugere que a técnica desenvolvida pode trazer diversos benefícios para a sociedade e para a computação, como uma maior inclusão de pessoas com deficiência visual em tarefas que exijam interação com o objetos virtuais em três dimensões em diferentes áreas de aplicação, inclusive para educação, com boa usabilidade, acessibilidade e dispositivos disponíveis por custos relativamente baixos.

Palavras-chaves: Interação 3D. Acessibilidade. Deficientes visuais.

Abstract

VERISCIMO, Erico de Souza. **3D interaction with audio feedback for identifying virtual objects accessible to visually impaired users**. 2016. 91 p. Dissertation (Master of Science) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, DefenseYear.

The World Health Organization estimates that there are currently 285 million people with severe visual impairment worldwide. With the advent of technology, 3D virtual environments are being increasingly used for several applications. Many of these applications, however, are not accessible to visually impaired users, creating a digital divide. Our goal is to develop a novel and low cost 3D interaction technique to allow the identification of virtual objects with autonomy using only proprioception and hearing. We developed a prototype implementing this technique, which was first tested with sighted users simply to verify whether it correctly implemented the proposed technique. Then we conducted a preliminary experiment with a blind user followed by some prototype improvement and an experiment with eight users with visual impairment in which they were asked to classify tridimensional virtual objects using only the proposed technique. The results were quite positive, with approximately 84% correct answers without any prior training. This result suggests that our technique may benefit society and computing, such as a better inclusion of visually impaired users in tasks that require interaction with virtual objects in 3D in different areas of application, including education, with good usability, accessibility and devices available for relatively low costs.

Keywords: 3D Interaction. Accessibility. Visually Impaired Users.

Lista de figuras

Figura 1 – Representação dos 6 graus de liberdade	25
Figura 2 – Disposição dos componentes da interação proposta por Amemiya et al	33
Figura 3 – Adaptação de uma bengala branca	34
Figura 4 – Ambiente virtual desenvolvido para treinamento do usuário	35
Figura 5 – Protótipo do trabalho de Tang	37
Figura 6 – Jogando tênis com o protótipo de Baldan	39
Figura 7 – Processo de criação de um modelo 3D aproximado de baixo-relevo	40
Figura 8 – Uso da técnica proposta por (ANDO et al., 2002)	41
Figura 9 – Uso da técnica proposta por (BAU; POUPYREV, 2012)	41
Figura 10 – Sistema proposto por (HERMANN; NEUMANN; ZEHE, 2012)	42
Figura 11 – Distribuição dos artigos por tarefa	43
Figura 12 – Distribuição dos tipos de ambientes na tarefa de navegar	44
Figura 13 – Distribuição dos artigos por dispositivo de entrada	45
Figura 14 – Distribuição dos artigos por dispositivo de saída	45
Figura 15 – Distribuição dos sensores utilizados no smartphone	46
Figura 16 – Distribuição dos artigos por sentido	46
Figura 17 – Distribuição dos artigos por tipo de retorno	47
Figura 18 – Distribuição dos tipos de retorno por áudio	47
Figura 19 – Representação gráfica da metodologia utilizada no trabalho	51
Figura 20 – Processamento utilizado na técnica de interação	53
Figura 21 – Diagrama de classe da arquitetura do protótipo	56
Figura 22 – Classificação dos dedos	58
Figura 23 – Exemplo das distâncias entre os dedos	59
Figura 24 – Ambiente virtual com a interação do usuário	60
Figura 25 – Funcionamento da interação	61
Figura 26 – Área de som do cubo	63
Figura 27 – Área de som do cone	64
Figura 28 – Área de som do esfera	65
Figura 29 – Área de som	66
Figura 30 – Taxa de acerto por tipo de deficiente visual, os de nascença ou que adquiriram a deficiência	74

Figura 31 – Taxa de acerto por classificação de idade	75
Figura 32 – Processo de seleção dos trabalhos encontrados	87
Figura 33 – Distribuição dos artigos por ano de publicação	90
Figura 34 – Distribuição dos artigos por país origem de pesquisa	90

Lista de algoritmos

Algoritmo 1 – Identificar o dedo estendido	57
Algoritmo 2 – Verifica se há ou não colisão com a área de som do cubo	62
Algoritmo 3 – Verifica se há ou não colisão com um cubo sólido	62
Algoritmo 4 – Verificação adotada na colisão com um cubo	62
Algoritmo 5 – Verifica se há ou não colisão com um cone	64
Algoritmo 6 – Verifica se há ou não colisão com uma esfera	65

Lista de tabelas

Tabela 1 – Categorização dos usuários	67
Tabela 2 – Resultado dos testes funcionais	67
Tabela 3 – Categorização das pessoas com deficiência visual	68
Tabela 4 – Profissão e percepção visual das pessoas com deficiência visual	69
Tabela 5 – Resultado dos testes	69
Tabela 6 – <i>String</i> de busca para a revisão sistemática	86
Tabela 7 – Veículos de publicação	89

Lista de abreviaturas e siglas

DV	Deficiente Visual
RS	Revisão Sistemática
3D	Três Dimensões
2D	Duas Dimensões
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
IHC	Interação Homem Computador
API	<i>Application Programming Interface</i>
CADEVI	Centro de Apoio ao Deficiente Visual
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
RV	Realidade Virtual
2DOF	Dois graus de liberdade
6DOF	Seis graus de liberdade

Sumário

1	Introdução	16
1.1	Contexto e Motivação	16
1.2	Delimitação do problema	18
1.3	Objetivos	18
1.4	Justificativa	19
1.5	Organização do texto	20
2	Conceitos fundamentais	21
2.1	Realidade virtual e aumentada	21
2.2	Interação Humano-Computador	22
2.3	Dispositivos de entrada e saída	24
2.4	Deficientes visuais	26
2.5	Acessibilidade	28
3	Revisão Sistemática da Literatura	31
3.1	Navegar	31
3.2	Localizar objetos	36
3.3	Identificar objetos	37
3.4	Manipular objetos	38
3.5	Explorar e analisar objetos	39
3.6	Sentir textura	40
3.7	Reconhecer gestos	41
3.8	Síntese dos trabalhos	42
3.9	Conclusões da revisão sistemática	47
4	Metodologia	49
5	Técnica de Interação para Identificação de Objetos Virtuais Acessível a Deficientes Visuais	52
5.1	Visão Geral	52
5.2	Descrição da Técnica	53
5.3	Desenvolvimento de um protótipo	54

5.4	Interação por meio do protótipo	60
5.5	Tratamento de colisão	61
5.6	Tecnologias utilizadas	66
6	Resultados	67
6.1	Testes funcionais	67
6.2	Testes com deficientes visuais	68
7	Discussão e conclusões	73
7.1	Trabalhos Futuros	77
7.1.1	Publicações	77
	Referências ¹	79
	Apêndice A–Revisão Sistemática sobre Interação 3D Acessível a Deficientes Visuais .	86
	Apêndice B–Links de documentos	91

¹ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

1 Introdução

Neste capítulo é apresentada uma introdução a este trabalho. O capítulo está dividido em cinco seções. A seção 1.1 apresenta uma contextualização do problema. A seção 1.2 delimita o problema que o trabalho propõe-se a resolver. A seção 1.3 apresenta os objetivos da pesquisa, bem como a contribuição para a área de pesquisa. A seção 1.4 descreve a importância de resolver o problema delimitado e, por fim, a seção 1.5 apresenta a organização do restante do texto.

1.1 Contexto e Motivação

A interação entre computador e pessoas é uma preocupação desde a criação das primeiras dessas máquinas. Inicialmente, ela se dava por meio de uma linguagem técnica, distante da linguagem e das abstrações humanas. Com o passar do tempo, foram propostas novas técnicas de interação, voltadas para reduzir a lacuna semântica entre o objetivo da interação e o meio pelo qual ele é atingido. Uma destas técnicas é a manipulação direta (MYERS, 1998). Por meio dela, metáforas associadas ao objetivo da interação são representadas no computador.

O primeiro registro de uso de uma técnica de interação de manipulação direta de objetos gráficos com um dispositivo apontador, tal como conhecemos hoje, aconteceu em 1963. O mouse começou a ser utilizado como dispositivo de apoio à técnica mencionada em 1968. Na mesma época, começaram a ser estudadas técnicas de interação tridimensional (MYERS, 1998).

Interação tridimensional (3D) pode ser considerada como a realização de tarefas pelo usuário diretamente em um contexto tridimensional (BOWMAN et al., 2004). Para esse tipo de tarefa, esta técnica é mais natural e intuitiva que as tradicionais. A partir da década de 80, tornaram-se progressivamente mais comuns experiências com sistemas interativos 3D, resultando em um grande volume de trabalhos sobre o uso de novas técnicas e de dispositivos de entrada (HAND, 1997).

Com o desenvolvimento da tecnologia, a interação 3D se tornou ainda mais presente em diversas áreas, seja no mercado de trabalho, no mundo acadêmico ou até mesmo no entretenimento, como é o caso dos jogos utilizando o sensor Kinect da Microsoft (KHOSHELHAM; ELBERINK, 2012). Porém, muitas destas interações não são acessíveis a

pessoas com Deficiência Visual (DV), dificultando a inclusão destas em algumas atividades como aplicações que utilizam somente a visualização ou identificação e manipulação de objetos virtuais. Estas atividades são comuns em alguns sistemas educativos ou da área médica, por exemplo.

Alguns trabalhos tentam minimizar este problema para objetos reais ([NANAYAKKARA et al., 2013](#); [KHAMBADKAR; FOLMER, 2013](#); [NANAYAKKARA; SHILKROT; MAES, 2012](#); [AL-KHALIFA; AL-KHALIFA, 2012](#)). Estes trabalhos buscam auxiliar pessoas com deficiência visual na tarefa de reconhecimento de objetos reais utilizando uma câmera ou um *smartphone* para aumentar o ambiente real com informações sobre os objetos com os quais o usuário interage apontando a câmera para eles. Por exemplo, quando um deficiente visual vai às compras e, em uma prateleira, aponta o *smartphone* ou a câmera para um produto, é feito um reconhecimento e pronunciado o nome do produto, por meio de algoritmos de processamento e análise de imagens. A mesma técnica pode ser utilizada de maneira ainda mais simples para identificação de objetos virtuais, visto que o sistema conheceria o objeto e não precisaria classificá-lo antes de emitir sua identificação para o usuário.

No entanto, esta técnica não permite que pessoas com deficiência visual identifiquem os objetos de forma autônoma e, portanto, não auxilia na criação de modelos mentais desses objetos. Um modelo mental é uma maneira de reconstruir o mundo externo e visual em nossas mentes ([MOREIRA; GRECA; PALMERO, 2002](#)). Quanto mais referências e atributos um modelo mental possuir, melhor ele será para estabelecer associações entre objetos e realizar agrupamentos e organização de conteúdo mental. Tendo em vista que cada modelo mental é algo pessoal e construído pelo próprio indivíduo ([FIGUEROA, 2012](#)) é importante que o mesmo consiga de forma independente realizar a construção do mesmo principalmente, mas não somente, durante processos de aprendizagem.

Há diversos cenários em que o uso de objetos virtuais e a criação de um modelo mental destes objetos pode ser vantajosa, como por exemplo a aplicação em educação em contextos em que seria impraticável disponibilizar um grande número de modelos físicos dos objetos para os aprendizes. Em uma revisão bibliográfica sistemática (RS) realizada durante este trabalho e que será discutida adiante, foi identificada uma lacuna quando se trata de identificação de objetos virtuais 3D acessível a pessoas com deficiência visual, principalmente utilizando dispositivos de baixo custo. A RS também apontou que, na ausência do retorno visual, os sentidos de propriocepção e audição são os mais utilizados

para fornecer retorno a usuários com deficiência visual em interação 3D. Assim, este trabalho propõe-se a explorar o seguinte problema:

1.2 Delimitação do problema

É possível desenvolver uma técnica de interação 3D para possibilitar que um usuário com deficiência visual identifique objetos virtuais com autonomia utilizando seus outros sentidos e dispositivos de custo relativamente baixo?

1.3 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é projetar, desenvolver e avaliar uma técnica de interação acessível a pessoas com deficiência visual que permita a identificação de objetos virtuais pelos mesmos com autonomia. Além disso, a técnica deve utilizar dispositivos de aquisição relativamente simples, tanto do ponto de vista de custo quanto de disponibilidade.

Para atingir este objetivo, os seguintes objetivos específicos foram cumpridos:

- realizar uma análise quantitativa e qualitativa das técnicas de interação 3D acessíveis a pessoas com deficiência visual descritas na literatura científica da área.
 - analisar possíveis lacunas em aplicações ou tarefas que utilizam as técnicas, principalmente no que se refere à identificação e à manipulação de objetos virtuais.
 - analisar quais os principais dispositivos de entrada e saída e os principais sentidos explorados na interação 3D acessível a pessoas com deficiência visual
- projetar uma técnica de interação 3D que facilite a realização da tarefa referente à lacuna encontrada na análise da literatura, utilizando essa análise também como guia para que sentidos, formas de entrada e saída e dispositivos com disponibilidade relativamente alta explorar nesta técnica.
- desenvolver um protótipo que implemente a técnica proposta.
- avaliar a técnica com usuários com deficiência visual.
- com base na análise dos resultados desta avaliação, propor melhorias na técnica desenvolvida e/ou testes adicionais.

1.4 Justificativa

Aumentar a acessibilidade em diferentes contextos é uma busca de grande relevância, inclusive no caso particular de pessoas com deficiência visual, em vista do grande número deles no Brasil e no Mundo e da importância de uma maior inclusão social, econômica e política dos mesmos. Aproximadamente 19% da população brasileira possui algum grau de deficiência visual ([POPULACIONAL, 2010](#)) e, no Mundo em 2010, o número de pessoas com deficiência visual grave era de 285 milhões de pessoas segundo estimativas da Organização Mundial da Saúde ([ORGANIZATION et al., 2012](#)).

Assim como qualquer outro cidadão, as pessoas com deficiência visual têm direitos ([ONU, 1975](#)) que devem ser respeitados, como:

- direito ao respeito por sua dignidade humana, tendo uma vida decente, tão normal e plena quanto possível;
- direitos à capacitação, visando à conquista da autoconfiança;
- direito a tratamento médico, psicológico e funcional, a aparelhos, à reabilitação médica e social, à educação, ao treinamento vocacional e à reabilitação, à assistência, ao aconselhamento e outros serviços que possibilitem ao máximo o desenvolvimento de suas capacidades e habilidades, acelerando o processo de integração social.

A falta de interação 3D acessível a pessoas com deficiência visual os exclui de diversas atividades e em diversas áreas, como na área de educação, por exemplo no ensino de geometria ([LAI et al., 2016](#)) ou anatomia ([MONTEIRO¹ et al., 2006](#)); na de entretenimento com jogos eletrônicos ([ALEXIADIS et al., 2011](#)); ou na área modelagem 3D, por exemplo para construção civil ([FOGGIATO; VOLPATO; BONTORIN, 2008](#)), dentre tantas outras. Dessa forma, a busca por maior acessibilidade, inclusive em interação 3D, colabora para que os direitos listados acima sejam cada vez mais respeitados e o desenvolvimento da técnica proposta nesse trabalho tem o potencial de diminuir a barreira digital entre os com ou sem deficiência visual, não só tornando a sociedade mais justa como criando novas oportunidades de educação, trabalho e consumo que podem trazer benefícios à sociedade como um todo.

Além disso, o desenvolvimento de novas técnicas de interação, especialmente quando se tratam de técnicas 3D ou acessíveis ou ambas e com potencial para aplicação em diferentes áreas de atividade, é uma importante área de pesquisa em Sistemas de Informação com

diversos problemas relevantes em aberto. Com base na literatura, pode-se afirmar que o problema analisado neste trabalho e a abordagem adotada para oferecer uma solução são inovadores. Abrangem ainda diferentes aspectos técnicos e de pesquisa. A principal contribuição deste trabalho para a linha de pesquisa de Interação Humano-Computador (IHC) em sistemas de informação deve portanto ser o projeto, desenvolvimento e avaliação desta nova técnica de interação 3D.

Frequentemente, essa busca por técnicas de interação inovadoras e acessíveis resulta no desenvolvimento de técnicas que podem beneficiar, em alguns contextos de uso ou aplicações, não só os usuários para os quais a técnica tornou-se acessível mas também usuários sem aquela deficiência (SHNEIDERMAN et al., 2009). É provável que isso também ocorra para a técnica desenvolvida nesse trabalho e, ainda que seja interessante explorar essa possibilidade, fez-se a opção de adiar esta exploração para trabalhos futuros e focar principalmente no uso da técnica por pessoas com deficiência visual.

1.5 Organização do texto

Esta dissertação está dividida em sete capítulos, incluindo esta introdução. Os demais capítulos estão organizados da seguinte forma:

- o capítulo 2 apresenta alguns conceitos importantes para o entendimento deste trabalho, como conceitos referentes a pessoas com deficiência visual ou de interação humano-computador e referentes aos dispositivos nela usados.
- o capítulo 3 apresenta os resultados de uma revisão bibliográfica sistemática voltada para a identificação de trabalhos publicados sobre técnicas de interação 3D acessíveis a pessoas com deficiência visual.
- o capítulo 4 discute a metodologia seguida neste trabalho.
- o capítulo 5 apresenta a técnica proposta.
- o capítulo 6 apresenta os resultados obtidos.
- o capítulo 7 apresenta uma discussão dos resultados e as principais conclusões deste trabalho.

2 Conceitos fundamentais

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário agregar contribuições de diversas áreas da Computação, como Realidade Virtual (RV), Interação Humano-Computador e Engenharia de Software. Com o objetivo de expor os principais conceitos necessários para a realização da proposta, este capítulo é organizado da seguinte maneira: a seção 2.1 apresenta os principais conceitos de realidade virtual e aumentada; a seção 2.2 discute conceitos sobre técnicas de interação; a seção 2.3 apresenta os conceitos de dispositivos de entrada e saída; a seção 2.4 apresenta conceitos fundamentais sobre as pessoas com deficiência visual e a seção 2.5 faz considerações sobre acessibilidade.

2.1 Realidade virtual e aumentada

A Realidade Virtual teve como uma de suas primeiras aplicações a simulação de voo, com a Força Aérea dos Estados Unidos (NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002). A indústria de entretenimento também teve um papel importante para o desenvolvimento da RV desde a construção de um simulador chamado Sensorama (OTHERS, 1962), uma cabine que combinava filmes 3D, som estéreo, vibrações mecânicas, aromas, e ar movimentado por ventiladores, tudo isso para proporcionar maior imersão ao espectador. Os primeiros trabalhos científicos nessa área surgiram em 1958, quando a empresa Philco construiu um par de câmeras remotas e o protótipo de um capacete com monitores que permitiam ao usuário um sentimento de presença em um determinado ambiente (NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002). Apenas em 1989 a empresa AutoDesk lançou o primeiro sistema de RV para computadores pessoais (NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002).

A definição de realidade virtual adotada neste trabalho é uma interface avançada com o usuário para acessar aplicações realizadas no computador, possuindo características de visualização e movimentação em ambientes tridimensionais em tempo real e a interação com objetos desse ambiente (TORI; KIRNER; SISCOOTTO, 2006). Deste modo, para uma aplicação ser considerada de realidade virtual, alguns pré-requisitos devem ser cumpridos: (i) uma interface de alta qualidade; (ii) alta interatividade; (iii) permitir que o usuário tenha o maior nível possível de imersão; (iv) o usuário deve estar envolvido na aplicação; e (v) a aplicação deve fazer uma ampliação do mundo real (NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002).

Portanto a RV se apoia em dois grandes pilares: a imersão e a interação. A imersão esta ligada à questão de noção de ponto de vista e de ilusão real (TORI; KIRNER; SISCOUITO, 2006), de modo que, quanto menos o usuário perceber o intermédio da tecnologia no ambiente virtual, tendo a impressão de estar interagindo com elementos reais, maior será a imersão da aplicação.

Alguns autores classificam aplicações de realidade virtual como somente um extremo no “contínuo de virtualidade”, em que objetos reais e virtuais podem ocorrer e interagir em um mesmo ambiente no que se denomina realidade misturada ou aumentada¹. No outro extremo desse contínuo estariam, por exemplo, aplicações de telepresença (MILGRAM et al., 1995). Entre os dois extremos, ambientes de RA são aqueles em que há interação em tempo real, objetos virtuais e reais coexistem na percepção do usuário e têm registro 3D entre si (AZUMA, 1997). Nesses ambientes, é comum dizer que informações virtuais “aumentam” objetos reais e isso mostrou-se como uma técnica bastante explorada nas aplicações que buscam auxiliar as pessoas com deficiência visual na interação com objetos reais.

Considerando que, em sistemas com realidade virtual, o usuário atua de forma multi-sensorial (KIRNER; KIRNER, 2011), no caso de um deficiente visual o sentido da visão não pode ser explorado porém outros sentidos podem, como a audição e a propriocepção. Sendo assim, os conceitos de RV relacionados a gráficos não serão apresentados ou utilizados neste trabalho. Ainda assim, é importante notar que as definições de RV e RA e todos os seus elementos podem perfeitamente englobar aplicações sem qualquer saída gráfica. Se o usuário estiver interagindo somente com objetos e informações virtuais em 3D, como é o caso da técnica proposta neste trabalho, trata-se de RV, e se há combinação de objetos reais e virtuais como é o caso de diversos trabalhos discutidos adiante, trata-se de RA.

2.2 Interação Humano-Computador

A interação entre computadores e seus usuários surgiu com a criação das primeiras máquinas. Inicialmente ela se dava por meio de uma linguagem técnica, distante da linguagem e das abstrações humanas. Com o passar do tempo, foram propostas novas

¹ Neste trabalho será utilizado somente o termo Realidade Aumentada (RA), como é normalmente utilizado como sinônimo de Realidade Misturada, sem utilizar termos diferentes com base na proporção entre elementos reais e virtuais como propões Milgram et al.

técnicas de interação, voltadas para reduzir a lacuna semântica entre o objetivo da interação e o meio pelo qual ele é atingido.

Segundo (BOWMAN et al., 2004), a interação permite a um usuário realizar uma tarefa através da interface do sistema. Uma técnica de interação é a forma através da qual o usuário realiza esta tarefa e inclui tanto componentes de hardware para entrada e saída de informação, quanto de software. Uma mesma tarefa pode ser realizada através de diversas técnicas diferentes, ainda que certas técnicas possam ser mais eficiente que outras dependendo do contexto de uso, incluindo características do usuário. Neste trabalho, procura-se usar os termos “tarefa” e “técnica” com esses significados. Por exemplo, o objetivo é projetar, desenvolver e avaliar uma técnica de interação acessível e 3D para a tarefa de identificação de objetos virtuais.

No começo da computação, até mesmo devido a seu público na época e a limitações do hardware, não era dada tanta importância ao processo de IHC, priorizando um processamento eficiente de dados. Com a evolução e disseminação dos computadores, cresceu a necessidade de metodologias específicas para IHC, trazendo inúmeros benefícios aos projetos de software (KELNER; TEICHRIEB, 2008).

Nas aplicações que exploram apenas duas dimensões, as técnicas de interação já estão bem consolidadas, incluídas nas interfaces do tipo WIMP - *Windows, Icons, Menus and Pointing Device*, utilizando dispositivo de apontamento, ou simplesmente mouse. Esta técnica é bastante explorada na maioria das interfaces projetadas para computadores pessoais 2D (KELNER; TEICHRIEB, 2008).

Porém, nas aplicações tridimensionais, técnicas especiais de interação são necessárias, já que o usuário interage e o sistema responde em três dimensões. Um exemplo disso acontece ao utilizar um dispositivo háptico. Neste caso, o usuário sente a reação do mundo virtual e pode reagir de forma diferente dependendo dos estímulos providos (KELNER; TEICHRIEB, 2008) .

Bowman et al.(BOWMAN et al., 2004) classificam as técnicas de interação para RV em quatro categorias principais: técnicas para seleção e manipulação, para controle do sistema, para navegação e de entrada simbólica. A categoria de seleção e manipulação envolve selecionar um determinado objeto e movimentá-lo no ambiente. A categoria de controle do sistema serve basicamente para modificar o estado do sistema ou o modo de interação utilizado por ele. A navegação está relacionada a uma viagem dentro dos sistema e, ao viajar, o usuário se movimenta entre dois ou mais lugares pela definição da

posição (e orientação) do seu ponto de vista (KELNER; TEICHRIEB, 2008). E, por fim, a categoria de entrada simbólica é baseada em teclado, caneta, gestos e na fala (BASTOS; TEICHRIEB; KELNER, 2006). Os autores não incluem a identificação dos objetos entre estas principais tarefas provavelmente porque assumem que isso vá ocorrer de forma visual como é comum na enorme maioria de ambientes virtuais ou aumentados, mas pode-se citar essa identificação não só como uma importante tarefa por si só como também como um passo importante nas tarefas de seleção e manipulação, por exemplo.

2.3 Dispositivos de entrada e saída

Os dispositivos de entrada e saída são dispositivos físicos (hardware) que permitem a comunicação do usuário com o computador (BOWMAN et al., 2004). Segundo Cohen e Manssour (MANSSOUR; COHEN, 2006), os dispositivos de entrada e saída são aqueles onde há captura de informações e exibição/resposta ao usuário. Existem dispositivos que fazem as duas tarefas, ou seja, são dispositivos de entrada e saída.

Os dispositivos de entrada no contexto de RV basicamente são classificados em duas categorias: dispositivos de interação ou de rastreamento. Nas duas categorias, as ações dos usuários são identificadas em um ambiente virtual. Como o contexto é tridimensional, a interação deve idealmente possuir seis graus de liberdade (6DOF - *degrees of freedom*), ou seja três rotações e três translações. Deste modo, os dispositivos devem atender esta especificação (MACHADO; CARDOSO, 2006). A Figura 1 mostra os seis graus de liberdade.

Atualmente existe uma grande variedade de dispositivos de interação disponíveis. A escolha do dispositivo adequado para uma aplicação depende do objetivo e do contexto da interação nessa aplicação. Alguns desses dispositivos disponíveis atualmente são:

Dispositivos convencionais com menos de 6DOF para movimentos, como um mouse, uma tela sensível a toque ou um controle remoto. Apesar de suas limitações de graus de liberdade, possuem um baixo tempo de resposta, pois seus eventos são rapidamente processados, além de baixo custo e alta disponibilidade.

Dispositivos 6DOF são dispositivos com grande poder captura de movimentos do usuário, facilitando a interação em todos os eixos de um ambiente tridimensional. Exemplo destes dispositivos são os dispositivos hápticos, mouses ou *joysticks* 3D.

Figura 1 – Representação dos 6 graus de liberdade

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Luvras de dados são luvas que conseguem reconhecer e capturar os movimentos dos dedos da mão do usuário. Na sua grande maioria utilizam sensores mecânicos ou de fibra ótica. Nas luvas de dados podem ser adicionadas sensores de movimento e neste caso é possível medir a trajetória da mão em movimento (MACHADO; CARDOSO, 2006), o que torna o dispositivo também de rastreamento.

Sensores de entrada biológicos são sensores que capturam sinais elétricos musculares, neurais, fazem reconhecimento de voz etc. Este tipo de dispositivo é muito útil quando, por algum motivo, o usuário não pode acessar o teclado (MACHADO; CARDOSO, 2006).

A outra categoria de dispositivos de entrada, os dispositivos de rastreamento, são responsáveis pela detecção da trajetória de um determinado objeto. Esse objeto pode ser a mão de um usuário, bem como os olhos ou mesmo o corpo todo. Basicamente existem uma fonte que emite o sinal, um sensor que faz o rastreamento e um controlador que faz o processamento e envia um sinal para um determinado computador. Estes dispositivos

podem ser mecânicos, magnéticos, ultrassônicos ou óticos (MACHADO; CARDOSO, 2006). O Microsoft Kinect (dispositivo com câmera de profundidade que rastreia a posição do corpo do usuário), o LEAP Motion (dispositivo que rastreia a posição de mãos e dedos) e rastreadores da direção do olhar são exemplos desses dispositivos de rastreamento para entrada.

Os dispositivos de saída são os responsáveis por enviar mensagens ao usuário. Pode-se classificá-los em três categorias: dispositivos visuais, dispositivos auditivos e dispositivos físicos (MACHADO; CARDOSO, 2006). A seguir, é apresentada sucintamente uma descrição de cada categoria.

Dispositivos visuais são dispositivos que retornam graficamente um estímulo provocado pelo usuário. Exemplos deste tipo de dispositivo são monitores, projetores, *head-mounted displays* (HMDs) etc.

Dispositivos auditivos são dispositivos que dão um feedback sonoro, seja este som mono, estéreo e ou tridimensional. Um exemplo destes dispositivos são fones de ouvido.

Dispositivos físicos são dispositivos que procuram estimular as sensações do tato, tensão muscular e temperatura. Um exemplo deste dispositivo é um dispositivo háptico (MACHADO; CARDOSO, 2006).

Na revisão da literatura sobre interação 3D acessível a pessoas com deficiência visual discutida adiante os dispositivos usados recebem bastante atenção e a escolha dos dispositivos para a técnica proposta foi uma consideração constante neste trabalho.

2.4 Deficientes visuais

Segundo o IBGE (POPULACIONAL, 2010), deficiente visual é aquele que não consegue enxergar de modo algum, que tem uma grande dificuldade de enxergar ou que tem alguma dificuldade de enxergar. De acordo com Amiralian (AMIRALIAN, 1997), passa a ser considerado cego aquele para quem o tato, olfato e a cinestesia são os sentidos primordiais na compreensão do ambiente exterior. Além destas definições os deficientes visuais em âmbito educacional são divididos em dois grupos: cegos e portadores de visão subnormal. A classificação é feita a partir da acuidade visual: de modo que cego é aquele que dispõe

de 20/200 de sua visão no melhor olho, após correção, isso corresponde a 10% de uma visão normal e o de visão subnormal, é aquele que dispõe de 20/70 de visão nas mesmas condições, que corresponde a aproximadamente 28,57% de uma visão normal ([MASINI, 2008](#)).

Estas pessoas com deficiência visual, algumas nascem e outras adquiriram com o tempo. As pessoas que adquirem a deficiência posteriormente poderiam antes ser proficientes e trabalhar com tarefas que normalmente são associadas ao uso de visão, como por exemplo a modelagem de objetos 3D em software. Assim, aumentar a acessibilidade da interação 3D pode não só abrir novas possibilidades para outras pessoas com deficiência, mas inclusive devolver às que perderam a visão, a capacidade de fazer novamente uso de habilidades que já tinham aprendido e treinado antes da perda de visão. O público alvo desta pesquisa: são pessoas com um grau de deficiência severo o bastante para não conseguirem enxergar nem identificar os objetos virtuais através da visão, seja por deficiência adquirida ou de nascença.

Economicamente, o deficiente visual tem grande importância, tanto como consumidor, já que em 2010 o número de pessoas com deficiência visual no Brasil correspondia a aproximadamente 19% da população brasileira, como enquanto força de trabalho, em particular no desenvolvimento de software. O Brasil, por razões históricas, acumulou um enorme conjunto de desigualdades sociais, exigindo que a inclusão social seja cada vez mais prioritária ([MOREIRA, 2006](#)). Entre os fatores de inclusão social está o suporte ao ensino. Embora o acesso de pessoas com deficiência em instituições de ensino seja crescente, ele é ainda muito deficitário, representando hoje um dos grandes desafios das instituições de Ensino Superior ([PEREIRA, 2007](#)).

Para este trabalho, a prioridade é o conhecimento sobre os sentidos que o deficiente utiliza para explorar o mundo. Segundo Amiralian ([AMIRALIAN, 1997](#)), para interagir com o ambiente exterior, o deficiente visual pode utilizar os seguintes sentidos:

- Tato: a capacidade de captar estímulos térmicos, mecânicos ou de dor através da pele.
- Audição: a capacidade de perceber o som.
- Cinestesia ou propriocepção: a capacidade de reconhecer a localização espacial do corpo ou parte do corpo ([MARTIMBIANCO et al., 2008](#)).
- Olfato: a capacidade de reconhecer odores.

- Paladar: a aptidão de reconhecer os sabores de substâncias depositadas sobre a língua.

Deste modo, para se tornar acessível para um deficiente visual, um sistema deve ser compreensível e utilizável empregando apenas os sentidos dos quais o mesmo consegue usufruir.

2.5 Acessibilidade

Conforme o Decreto N° 5.296, de 2 de Dezembro de 2004 ([BERSCH, 2008](#)), a acessibilidade pode ser compreendida como a possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, dos espaços, mobiliários e equipamentos urbanos, das edificações, dos transportes e dos sistemas e meios de comunicação por pessoa portadora de deficiência ou com mobilidade reduzida.

Segundo Torres e Mazzoni ([TORRES; MAZZONI, 2004](#)), observar a acessibilidade consiste em considerar a diversidade de seus possíveis usuários e as peculiaridades da interação dessas pessoas com o produto, o que pode se manifestar tanto nas preferências do usuário quanto nas restrições à qualidade do equipamento utilizado ou até mesmo na existência de necessidades educativas especiais que não podem ser ignoradas pelos desenvolvedores do produto.

Atualmente, com as diversas discussões sobre o assunto, acessibilidade pode ser entendida também como a forma de projetar um produto ou um serviço para todos, não importando quais as características ou necessidades das pessoas ([COSTA; MAIOR; LIMA, 2005](#)).

Deste modo, a acessibilidade pode ser considerada um processo dinâmico, associado não só ao desenvolvimento tecnológico, mas principalmente ao desenvolvimento da sociedade ([TORRES; MAZZONI; ALVES, 2002](#)).

No Brasil iniciou-se discussões sobre acessibilidade na constituição de 1988, que apenas restringiu a acessibilidade ao escopo do acesso aos logradouros e meios de transporte coletivo (o que até hoje, quase 30 anos depois, ainda é um grande desafio). Em 2004, houve acréscimo de todos os espaços, mobiliários, equipamentos urbanos, edificações, serviços de transporte e dispositivos, sistemas e meios de comunicação e informação ([COSTA; MAIOR; LIMA, 2005](#)).

Ainda no Brasil, alguns decretos foram declarados relacionados à acessibilidade. O Decreto nº 5.296, de 2 de Dezembro de 2004 (BERSCH, 2008), estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida e o Decreto Nº 6.949, de 25 de Agosto de 2009 (BRASIL, 2009) segue a Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com deficiência.

Há diversos tipos de acessibilidade, como: atitudinal, arquitetônica ou física, metodológica ou pedagógica, programática, instrumental, de transportes, comunicações e digital (DAES, 2013):

- acessibilidade atitudinal: está relacionada com a percepção do outro sem preconceitos, estigmas, estereótipos e discriminações. Os demais tipos de acessibilidade estão fortemente ligados a esse, pois é a atitude da pessoa que impulsiona a remoção de barreiras. Por exemplo: quando existe por parte dos gestores o interesse em implementar ou ampliar ações e projetos relacionados à acessibilidade em toda a sua magnitude (DAES, 2013), inclusive não excluindo pessoas de possíveis atividades profissionais devido a suas deficiências, na medida do possível e contando com o auxílio da tecnologia.
- acessibilidade arquitetônica ou física: remoção das barreiras ambientais físicas nas residências, nos edifícios, nos espaços e equipamentos urbanos. Por exemplo: rampas, banheiros adaptados, elevadores adaptados, piso tátil entre outros (DAES, 2013).
- acessibilidade metodológica ou pedagógica: refere-se diretamente à concepção subjacente à atuação docente, incluindo como a forma como os professores concebem conhecimento, aprendizagem, avaliação e inclusão educacional irá determinar, ou não, a remoção das barreiras pedagógicas. Por Exemplo: pranchas de comunicação, texto impresso e ampliado, software ampliador de comunicação alternativa, leitores de tela dentre outros recursos (DAES, 2013).
- acessibilidade programática: eliminação de barreiras presentes nas políticas públicas (leis, decretos, portarias, normas, regulamentos etc.). Por Exemplo: acontece quando o Instituto de ensino superior promove processos de sensibilização envolvendo o conhecimento, a informação e a aplicação dos dispositivos legais e políticas referentes à inclusão e à acessibilidade de estudantes com deficiência na educação superior. Por muitas vezes os estudantes não têm conhecimento dos seus direitos e, em razão disso, não enxergam a possibilidade de acessar a universidade (DAES, 2013).

- acessibilidade instrumental: relacionada aos instrumentos, utensílios e ferramentas de estudo, de trabalho, de lazer e recreação. Essa acessibilidade envolve as demais em sua materialidade, por muitas vezes refletindo a qualidade do processo de inclusão (DAES, 2013).
- acessibilidade nos transportes: forma de acessibilidade que minimiza as barreiras não só nos veículos, mas visa também nos pontos de paradas, incluindo as calçadas, os terminais, as estações e todos os outros equipamentos que compõem as redes de transporte (DAES, 2013).
- acessibilidade nas comunicações: é a acessibilidade que elimina barreiras na comunicação interpessoal, escrita e virtual. Por exemplo: conversação em língua de sinais, jornal, revista, carta, entre outras, outro exemplo seria a presença de um intérprete de Libras (Língua Brasileira de Sinais) na sala de aula (DAES, 2013).
- acessibilidade digital: reduz as barreiras na disponibilidade de comunicação, de acesso físico, de equipamentos e programas adequados, de conteúdo e apresentação da informação em formatos alternativos. Por exemplo: acervos bibliográficos em formato acessível ao deficiente (DAES, 2013).

Além destes vários tipos de acessibilidade, existem diversos desafios para provê-la, pois o mesmo sistema ou produto que é acessível a um deficiente visual pode não ser acessível a um deficiente auditivo e vice-versa. Deste modo há diversos tipos de acessibilidade para diversos tipos de deficiências, de necessidades e com variação de contexto (digital, comunicação, transporte, físico entre outros), aumentando a complexidade para desenvolver qualquer sistema buscando a acessibilidade total. E quando se trata de acessibilidade em interação 3D em computação, o desafio se torna por muitas vezes mais complexo pela necessidade de dispositivos especiais na realização da interação e a quebra do paradigma de interação clássica.

Porém, quando é realizada a acessibilidade de forma correta, alguns benefícios podem ser identificados, tais como: tornar uma sociedade mais justa e igualitária, aumentar a inclusão de pessoas com deficiência e reduzir o preconceito relacionado aos mesmos, além de muitas vezes haver benefícios mesmo para os usuários sem deficiências provenientes de um projeto acessível.

3 Revisão Sistemática da Literatura

Este capítulo apresenta a análise de trabalhos correlatos identificados por meio de uma Revisão Sistemática (RS) realizada em 2015 ([VERISCIMO; BERNARDES, 2016a](#)). O protocolo, a documentação da condução e algumas estatísticas relacionadas à revisão podem ser encontrados nos Apêndices [A](#) e [B](#). Resumindo a informação contida no artigo e nos apêndices, as perguntas de pesquisa da RS foram: 1) Quais são os tipos de interação 3D acessível a pessoas com deficiência visual ?; 2) Quais são os dispositivos de entrada e saída utilizados nestes tipos de interação? e 3) Como é dado o retorno ao deficiente visual durante a interação? Foram buscados artigos nas bases IEEEExplore, Biblioteca Digital ACM e SpringerLink, sem limitação de data e foram encontrados 330 artigos, já descartadas as repetições, contendo as palavras-chave. Após a análise dos critérios de inclusão e exclusão com base nos títulos e resumos restaram 71 trabalhos que foram lidos inteiramente, novamente aplicando os critérios de inclusão e exclusão. Ao fim, restaram 39 trabalhos que são discutidos aqui. O trabalho mais antigo foi publicado no ano de 2000, mas nota-se um forte crescimento no número de publicações somente a partir de 2012, com destaque para pesquisas realizadas nos Estados Unidos, Alemanha, Brasil e Japão.

As técnicas de interação 3D acessível identificadas nos trabalhos foram classificadas em 6 tipos de tarefas diferentes:

- navegar;
- localizar objetos;
- identificar objetos;
- manipular objetos;
- explorar e analisar objetos;
- sentir textura e reconhecer gestos.

Nas seções deste capítulo, são descritos os trabalhos relacionados a cada um dos tipos de tarefas encontrados.

3.1 Navegar

A tarefa de navegar consiste na movimentação de um usuário em um ambiente qualquer. No contexto da deficiência visual, essa tarefa está relacionada à locomoção de

uma pessoa em um local desconhecido por ele. Este local pode ser virtual, visando por exemplo treinar a pessoa, ou real, a fim de ajudar o usuário durante sua locomoção. No caso dos trabalhos analisados aqui, o mais comum era a navegação em ambientes reais aumentados com informações virtuais.

No ano 2000, foram propostas duas técnicas de interação 3D com a finalidade de treinar o usuário para mapear locais desconhecidos (SCHNEIDER; STROTHOTTE, 2000). Na primeira técnica, é utilizada uma câmera como dispositivo de entrada e áudio sintetizado como retorno. A interação acontece por meio de manipulação de objetos físicos ou quando o dedo do usuário toca em algum objeto físico mapeado pelo sistema, como uma rua ou um edifício, emitindo uma informação sobre o objeto selecionado, por meio de áudio com voz sintetizada. A segunda técnica funciona da mesma forma, porém os dispositivos utilizados são alterados, ao invés da câmera é utilizado um dispositivo háptico.

AMEMIYA et al. (2004) também utilizam um dispositivo háptico em sua técnica, porém para auxiliar na locomoção de um deficiente em um local desconhecido por meio de realidade aumentada como ilustrado na Figura 2. Para obter o posicionamento do usuário, são utilizadas etiquetas RFID¹ no piso do ambiente sobre o qual aconteceu a interação. Além do dispositivo háptico, foram utilizados outros dispositivos como: câmera e leitor de RFID. Pontos fixos foram espalhados pelo ambiente com o intuito de controlar a rota do usuário. Caso não seja identificado pela câmera o ponto fixo correspondente, uma mensagem por vibração é enviada ao usuário, para alertar que ele está seguindo por um caminho errado. O retorno é dado por meio de vibrações no dispositivo háptico.

Adaptando uma bengala branca utilizada por pessoas com deficiência visual, GALLO et al. (2010) potencializaram o alcance de exploração de ambientes por meio de retorno de vibração. A bengala é equipada com alguns sensores, dentre eles um ultrassônico, e alguns motores de vibração (Figura 3). A maneira de utilizar a bengala não se altera, de forma que o deficiente visual não tem que aprender nada novo ao utilizar a mesma.

Em 2010, é proposto um sistema de navegação para pessoas com deficiência visual guiados por ponto de interesse (MAGNUSSON et al., 2010). Utilizando um *smartphone* como dispositivo de entrada e saída, a interação acontece da seguinte maneira: o deficiente visual manipula o *smartphone* com a intenção de encontrar algum ponto de interesse, apontando o dispositivo, e recebe como retorno sonoro uma voz sintetizada e vibrações para guiar o

¹ Radio-Frequency Identification

Figura 2 – Disposição dos componentes da interação proposta por Amemiya et al

Fonte: (AMEMIYA et al., 2004)

mesmo. A técnica é aplicada em um jogo para crianças (MAGNUSSON et al., 2011), tendo com objetivo procurar animais e capturá-los com uma cesta virtual.

Para se locomover livremente dentro ou fora de edifícios, é proposta uma interação utilizando o Kinect da Microsoft como dispositivo de entrada e, como retorno, um cinto vibro-tátil e áudio (ZÖLLNER et al., 2011). Além disso, foi adaptada uma mochila para levar o laptop com o sistema que integra os dispositivos. O Kinect é utilizado para identificar obstáculos no percurso do usuário, alertado-o por meio de vibrações e voz sintetizada.

FALLAH et al. (2012) propõem uma técnica apenas para navegação de locais internos e previamente mapeados. É utilizado apenas um *smartphone* tanto como dispositivo entrada e saída. Como entrada é utilizado o GPS do aparelho e o retorno é feito por meio de voz sintetizada, por exemplo: "Siga a parede à sua esquerda até chegar a um cruzamento".

Figura 3 – Adaptação de uma bengala branca

Fonte: (GALLO et al., 2010)

Usando o Kinect da Microsoft para auxiliar na locomoção de locais desconhecidos, RIBEIRO et al. (2012) sugerem uma técnica diferente da proposta anteriormente (ZÖLLNER et al., 2011). Além do Kinect, também é utilizado um acelerômetro e giroscópio acoplados à cabeça do usuário e o retorno é feito com áudio 3D e voz sintetizada. A técnica consiste em um mapeamento do local e os objetos são transformados em sons 3D no qual o usuário consegue os percebê-los.

Também foi proposto um sistema de navegação baseado em GPS, utilizando um *smartphone* como dispositivo de entrada e saída porém apenas o áudio. Ao se aproximar de um ponto de interesse e retornado ao usuário via áudio (SOUKARAS et al., 2012).

Em 2013, um trabalho propõe um sistema de navegação baseado em alvo de cores, de forma que o deficiente visual explore o mundo utilizando a câmera do *smartphone* e, quando o dispositivo encontra um alvo baseado em cores, fornece retorno sobre o alvo (CHUANG; HSIEH; FAN, 2013).

Na pesquisa de BERRETTA et al. (2013), foi desenvolvido um ambiente virtual controlado pelo dispositivo Kinect. O ambiente criado foi um labirinto, ilustrado na Figura 4, com intuito de treinar a navegação do deficiente visual, em que o mesmo poderia

Figura 4 – Ambiente virtual desenvolvido para treinamento do usuário

Fonte: (BERRETTA et al., 2013)

caminhar, vira 90 graus a esquerda ou direita. Seus movimentos são captados pelo Kinect e, em caso de colisão com alguma parede um retorno sonoro é emitido.

JOSEPH et al. (2013) propõem um sistema de navegação para pessoas com deficiência visual utilizando um sistema *wearable* com uma câmera e um Kinect, acoplado na cintura com um cinto háptico com alto-falante integrado. O sistema utiliza retorno háptico e auditivo para guiar o deficiente visual de forma semelhante à técnica descrita anteriormente (AMEMIYA et al., 2004). Porém ao invés de pontos fixos e etiquetas RFID, são colocados apenas pontos de referência sobre o piso.

Um sistema de navegação baseado em pontos de interesses é proposto por (PANËELS et al., 2013), utilizando um *smartphone* como dispositivo de entrada por meio de sua bússola, giroscópio e GPS. O retorno ao usuário é feito em áudio 3D e voz sintetizada. O usuário pode alterar o modo de funcionamento apenas alterando a posição do dispositivo como horizontal para "pare e escute", vertical para modo caminhada, e ainda incluir novas informações como novos pontos de interesse e obstáculos como por exemplo riscos na calçada. HELLER; BORCHERS (2014) também utilizam o Smartphone, porém, como um microfone direcional virtual. De modo que o usuário move o dispositivo para detectar fontes de som virtual facilitando permitindo uma rápida orientação em sua navegação.

Jain (JAIN, 2014b; JAIN, 2014a) propõe um aplicativo de navegação para pessoas com deficiência visual em locais fechados, utilizando um sistema que consiste em dois

componente principais: Um módulo de parede e um módulo do usuário que consiste em etiquetas na parede com informação da localização da mesma, um *smartphone* e um dispositivo acoplado na cintura do usuário. É utilizado feedback de vibração para informar que o usuário está se locomovendo pelo caminho correto. Toda a informação é transmitida para o usuário através do modo Text-Speech. O módulo da cintura se comunica com o celular através de Bluetooth e com os módulos de parede por infravermelho.

Outra proposta é um sistema de locomoção baseado apenas no GPS de um *smartphone* com retorno por áudio e vibrações caso o usuário esteja em uma rota errada ou quando o mesmo chegar no local definido (RAPOSO et al., 2014). RODRIGUEZ-SANCHEZ et al. (2014) utilizam intensidade de vibração para transmitir distância entre o usuário e um objeto.

Com objetivo de auxiliar pessoas com deficiência visual a atravessarem a faixa de pedestre com segurança, SHANGGUAN et al. (2014) propõem um sistema de locomoção. O sistema utiliza uma câmera, sensores de orientação e microfone como dispositivos de entrada e áudio com lembretes de voz como retorno. O sistema pode ser dividido em 3 partes: localização de um cruzamento feita através da captura de sons pelo microfone, localização da faixa de pedestre feita através da câmera e sensor de orientação e, por fim, a orientação do usuário caso saia da faixa de pedestre por meio de áudio.

Também foi desenvolvido um projeto que permite marcar um roteiro e pretende auxiliar uma pessoa cega na realização de rituais religiosos (DOUSH; ALSHATTNAWI; BARHOUSH, 2015). O sistema móvel usa o sistema de posicionamento global (GPS) de coordenadas e toques do usuário como entrada e *text-to-speech* e vibrações como saída. Como diferencial, além de marcar o início e o fim de uma trajetória, também é possível marcar paradas entre esta distância.

3.2 Localizar objetos

Localizar objetos está relacionado à ação de encontrar um objeto virtual tridimensional ou real, em um ambiente.

Todos os trabalhos encontrados (DRAMAS et al., 2008; DEVILLE; BOLOGNA; PUN, 2010; TANG; LI, 2014; VÄÄNÄNEN-VAINIO-MATILÄ et al., 2013) utilizam realidade virtual por meio de uma câmera como dispositivo de entrada e retorno de áudio 3D (Figura 5). Quando o sistema encontra o objeto, envia sinal sonoro de sua localização. Como o som é

tridimensional, o mesmo tem como origem da emissão a posição do objeto, deste modo o usuário facilmente encontra o objeto.

Figura 5 – Protótipo do trabalho de Tang

Fonte: (TANG; LI, 2014)

3.3 Identificar objetos

A tarefa de identificar objetos consiste em um usuário ser capaz de reconhecer um objeto virtual ou real em um ambiente.

Para identificar objetos, AL-KHALIFA; AL-KHALIFA (2012) utilizam realidade aumentada, criando uma camada de objetos virtuais sobre um ponto de interesse. É utilizado como dispositivo de entrada e saída um *smartphone*. A interação é realizada apontando o *smartphone* para o objeto que se deseja identificar, assim que o objeto é selecionado é enviado uma requisição para um servidor, que faz a identificação e retorna um áudio ao deficientes com uma descrição do objeto.

No trabalho de Nanayakkara et al. (NANAYAKKARA et al., 2013; NANAYAKKARA; SHILKROT; MAES, 2012) é utilizado um dispositivo *wearable* contendo uma câmera que se comunica com um *smartphone* por meio de Bluetooth, eliminando a necessidade de apontar o *smartphone* para um determinado objeto, o que é substituído pela direção da cabeça. O processo de reconhecimento também é feito por um algoritmo de reconhecimento de imagens e o retorno com voz sintetizada, podendo reconhecer até mesmo cores.

KHAMBADKAR; FOLMER (2013) sugerem a utilização de um kinect acoplado no pescoço do usuário. Contudo o processo de interação é semelhante aos apresentados anteriormente, tendo como diferencial a identificação de presença humana.

3.4 Manipular objetos

Manipular objetos está associado a ação de alterar a posição um objeto em um ambiente virtual.

A proposta de [NIINIMÄKI; TAHIROGLU \(2012\)](#) está relacionada a uma nova técnica de interação 3D, por meio do sensor Kinect e retorno de áudio e háptico por uma luva. Todo objeto virtual é envolvido por uma esfera exterior e um cubo interior. Conforme o usuário toca nesta esfera recebe, um retorno de áudio e, conforme vai se aproximando do cubo o volume aumenta até que o mesmo toque o cubo. Então há também um retorno háptico, o som é alterado e o usuário pode manipular o objeto.

[BALDAN; GÖTZEN; SERAFIN \(2013\)](#) criam um protótipo de um jogo de tênis com retorno somente de áudio, no qual o usuário utiliza um smartphone como raquete de tênis, fazendo o movimento para acertar a bola com o smartphone, manipulando a raquete e a bola quando acertada, como ilustrado na Figura 6.

Assim como [NIINIMÄKI; TAHIROGLU, VÄÄNÄNEN-VAINIO-MATILA et al. \(2013\)](#) propõem uma técnica similar, utilizando como componentes principais rastreamento de movimento para a posição do usuário no espaço, luva com atuadores de vibração para os movimentos da mão e sensor de curvatura e Kinect usado para rastrear o movimento do usuário. Os objetos virtuais têm uma estrutura em camadas que inclui uma camada exterior esférica e uma interior em forma de cubo. O retorno de áudio é ativado quando a mão do usuário entra na esfera externa de um objeto. O som pode ser configurado para aumentar em tom, volume ou tempo com o aumento da proximidade do objeto, criando um diferencial do trabalho de ([NIINIMÄKI; TAHIROGLU, 2012](#)). Quando o utilizador toca no objeto virtual, o som de retorno da informação para e tanto o som de destino e o motor de vibração na palma da mão da luva estão ativados. Se o objeto é agarrado, a natureza do som muda. A vibração é sentida até a mão do utilizador se afastar do objeto.

Figura 6 – Jogando tênis com o protótipo de Baldan

Fonte: (BALDAN; GÖTZEN; SERAFIN, 2013)

3.5 Explorar e analisar objetos

Explorar e analisar objetos está relacionado a ação de explorar um objeto real e consequentemente analisar sua forma, tamanho e/ou alguma descrição.

Em RITTERBUSCH; CONSTANTINESCU; KOCH (2012) é proposta uma interface que combina retorno tátil com áudio 3D utilizando um dispositivo háptico. É feita uma metáfora de “Orelhas na mão”, assumindo que as orelhas do usuário estão na ponta do dispositivo apontador (háptico).

Os autores BUONAMICI et al. (2015) fazem um estudo de viabilidade de um novo sistema baseado em baixo-relevo. As mãos do usuário são rastreadas durante a “exploração” de uma obra de arte e um sistema de áudio fornece descrições verbais sobre a mesma. O rastreamento da mão é monitorado em tempo real usando o Kinect. Depois, o dispositivo foi usado como um scanner 3D para construir um modelo 3D aproximado de baixo-relevo como mostrado na Figura 7. O usuário só pode tocar na obra de arte com um dedo por vez.

Figura 7 – Processo de criação de um modelo 3D aproximado de baixo-relevo

Fonte: (BUONAMICI et al., 2015)

3.6 Sentir textura

A tarefa de sentir textura consiste em o usuário “tocar” um objeto e conseguir distinguir sua textura.

Em ANDO et al. (2002) é proposto um dispositivo que é colocado sobre a unha de um dos dedos e, quando o sistema detecta colisão entre esse dedo e os objetos virtuais, por exemplo ao tocar a linha de um desenho, o dispositivo retorna uma força maior, aumentando a sensação de toque sobre a linha (Figura 8).

Bau e Poupyrev (BAU; POUPYREV, 2012) têm como base o princípio da eletro-vibração inversa, em que um sinal eléctrico fraco é injetado em qualquer parte do corpo do utilizador, permitindo criar em torno dos dedos do usuário um campo eléctrico oscilante. Ao deslizar seus dedos sobre uma superfície de um objeto, o usuário percebe texturas táteis, como ilustrado na Figura 9. Ao rastrear os objetos e a localização do toque, são feitas associações a sensações táteis dinâmicas para o contexto da interação. Porém é necessário que os objetos que vão conduzir a eletro-vibração inversa sejam preparados antes da utilização.

Figura 8 – Uso da técnica proposta por (ANDO et al., 2002)

Fonte: (ANDO et al., 2002)

Figura 9 – Uso da técnica proposta por (BAU; POUPYREV, 2012)

Fonte: (BAU; POUPYREV, 2012)

3.7 Reconhecer gestos

Esta seção refere-se à capacidade de diferenciar os gestos feitos por uma pessoa.

HERMANN; NEUMANN; ZEHE (2012) desenvolveram um protótipo com sensor de movimento (giroscópio) acoplado a cabeça do usuário, com retorno auditivo por meio de fones de ouvido, como mostrado na Figura 10. Essa técnica permite descobrir qual movi-

mento da cabeça foi realizado, por exemplo: movimento de cima para baixo representando algo afirmativo ou um simples “Sim”.

Figura 10 – Sistema proposto por (HERMANN; NEUMANN; ZEHE, 2012)

Fonte: (HERMANN; NEUMANN; ZEHE, 2012)

3.8 Síntese dos trabalhos

As técnicas de interação encontradas foram classificadas por tarefas. Quanto ao número de citações por tarefa, pode-se observar na Figura 11 que a tarefa de navegação foi a mais explorada dentre as aplicações na literatura. Outra informação sobre navegação foi levantada aqui, indicando qual é o tipo de ambiente em que o usuário navega, real ou virtual (Figura 12), mostrando que ambientes reais são os mais utilizados, aumentados com informações virtuais. Em alguns trabalhos houve mais de uma tarefa.

Figura 11 – Distribuição dos artigos por tarefa

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Figura 12 – Distribuição dos tipos de ambientes na tarefa de navegar

Ambiente Virtual e Ambiente Real

■ Ambiente real com realidade virtual ■ Ambiente apenas viirtual

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Outras informações também foram extraídas, como pode ser avaliado na Figura 13, que revela quais os dispositivos de entrada utilizados nas técnicas pesquisadas, e na Figura 14, que mostra a mesma informação, porém para os dispositivos de saída. *Smartphones*, câmeras e o Kinect foram os dispositivos de entrada mais utilizados e o reproduutor de áudio (mono) foi o dispositivo mais utilizado para retorno ao usuário.

Figura 13 – Distribuição dos artigos por dispositivo de entrada

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Figura 14 – Distribuição dos artigos por dispositivo de saída

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Como no *smartphone* há um conjunto de sensores que pode ser utilizados, foi analisado também quais recursos do aparelho foram aproveitados na interação, como mostra a Figura 15, que revela que o sensor mais usado é o giroscópio, seguido do GPS e acelerômetro.

Figura 15 – Distribuição dos sensores utilizados no smartphone

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Uma informação muito relevante para este trabalho foi quais sentidos do deficiente visual as técnicas exploraram, informação apresentada na Figura 16. O sentido mais utilizado para interação foi à audição. Um trabalho pode ter usado mais de um sentido.

Por fim a ultima informação extraída foi referente ao tipo de retorno enviado ao usuário, o mais utilizado foi via áudio, como é possível analisar na Figura 17. Ainda foi extraído qual tipo de áudio foi utilizado neste trabalhos (Figura 18), com voz sendo o tipo de áudio mais utilizado.

Figura 16 – Distribuição dos artigos por sentido

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Figura 17 – Distribuição dos artigos por tipo de retorno

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Figura 18 – Distribuição dos tipos de retorno por áudio

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

3.9 Conclusões da revisão sistemática

A discussão apresentada nesse capítulo focou na análise do estado da arte de técnicas de interação 3D acessíveis a pessoas com deficiência visual, além de permitir a organização de ideias e a sumarização de informações relevantes.

Foram identificadas 7 tarefas distintas em 39 artigos analisados e, por meio de uma avaliação empírica, constatou-se que: 1) a tarefa mais citada foi a de navegação, sendo que 90% se dão em um ambiente real aumentado com informação virtual e somente 10% acontecem em ambientes inteiramente virtuais; 2) os sentidos mais utilizados pelas pessoas com deficiência visual em uma interação 3D acessível foram: audição, propriocepção e tato; 3) o tipo de retorno mais utilizado para se comunicar com o usuário foi o áudio e

deste 60% foi por meio de voz, 37% somente outros sons e 3% utilizaram ambos; 4) O dispositivo mais utilizado para realizar a interação foi o *smartphone*, por ele ter acoplado ao aparelho diversos sensores e outros dispositivos e ser ubíquo atualmente.

Por fim, pôde-se observar que ainda que a maior parte da pesquisa analisada seja voltada para o auxílio de pessoas com deficiência visual na navegação, parece haver um deficit de pesquisa nas demais tarefas. Alguns desafios que ainda não parecem ter sido superados e que, por isso, podem constituir importantes objetos de pesquisa são 1) na tarefa de navegação, lidar com um ambientes variáveis; 2) conciliar a tarefa de identificar objetos com a tarefa de manipular objetos, visto que uma depende da outra, pois se o usuário não sabe o que esta manipulando essa tarefa fica sem sentido; 3) ainda sobre identificação, levar em consideração a autonomia do usuário, de modo que o mesmo possa criar um modelo mental do objeto; 4) sistemas que integrem essas várias tarefas e técnicas.

4 Metodologia

Neste capítulo, é apresentada a metodologia seguida no trabalho.

Inicialmente foi realizada uma revisão exploratória sobre interação 3D acessível a pessoas com deficiência visual. Durante esta revisão, verificou-se a necessidade da realização de uma Revisão Sistemática (RS) sobre o assunto, pois não foi encontrada nenhuma revisão abrangente durante a revisão exploratória.

Deste modo, foi conduzida uma revisão sistemática sobre tipos de interações 3D acessíveis a pessoas com deficiência visual. Para tanto, foram seguidas as diretrizes propostas por Kitchenham ([KITCHENHAM et al., 2009](#)). Esta revisão é apresentada no capítulo 3, nos apêndices A e B e em [VERISCIMO; BERNARDES \(2016a\)](#).

Após a realização da revisão sistemática, foi confirmada uma lacuna no que se refere a técnicas de interação 3D acessíveis a pessoas com deficiência visual para a identificação e manipulação de objetos virtuais com autonomia. Com objetivo de restringir o tema, optou-se por focar o trabalho apenas na identificação de objetos.

A partir de informações obtidas nas revisões exploratória e sistemática, como informações sobre propriocepção, quais os sentidos mais utilizados pelo deficiente ao interagir com as técnicas propostas nos trabalhos, os tipos de retorno mais utilizados, dentre outros, foi projetada uma técnica inovadora combinando propriocepção e retorno de áudio.

Um protótipo foi desenvolvido com intuito de implementar e avaliar a técnica proposta. O desenvolvimento do protótipo teve início com o levantamento de requisitos funcionais e não-funcionais após a concepção da técnica. Foi utilizado um ciclo de desenvolvimento iterativo e incremental que envolveu, em cada interação, o refinamento da implementação. Foram utilizados ainda diagramas de classes para a modelagem do protótipo, refatorados a cada interação. A técnica e o desenvolvimento do protótipo são detalhados no capítulo 5.

Com intuito de realizar testes preliminares das funcionalidades do protótipo para verificar se o mesmo atendia os requisitos funcionais, foram realizados testes com quatro usuários com visão normal. Foram realizados os seguintes testes:

A. Saber se os dedos estão ou não sendo rastreados de forma correta.

Os usuários foram vendados para simular deficiência visual e foi solicitado que os mesmos permanecessem com os dedos sobre o rastreamento do sensor por 30 segundos. Ao iniciar o teste não era informada a posição do sensor. Não houve repetição neste teste.

B. Saber qual mão “tocou” virtualmente o objeto tridimensional.

Assim como no teste anterior, os usuários foram vendados e foi solicitado que os mesmos explorassem o ambiente virtual a fim de encontrarem um objeto e, quando encontrassem, distinguirem qual dedo da mão “tocou” o mesmo. Ao iniciar o teste era informada a posição do sensor. Este teste foi repetido cinco vezes por usuário trocando apenas a posição do objeto no ambiente virtual.

Com o objetivo de verificar o requisito não-funcional de tempo de resposta, o código foi instrumentado. Os resultados destes testes são apresentados no capítulo 6.

Findos esses testes preliminares, foi desenvolvido um protocolo experimental para testes com pessoas com deficiência visual, que foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da EACH-USP. A aprovação do projeto se deu sob o número 43559615.8.0000.5390 e o Apêndice B traz um link para *download* desse documento. O principal objetivo deste experimento era saber se a técnica desenvolvida é eficiente em permitir o reconhecimento dos objetos através da propriocepção e retorno auditivo. Os usuários do teste deveriam ter alto grau de deficiência visual, de modo a não conseguirem distinguir formas geométricas apenas com a visão. No experimento são apresentados alguns objetos geométricos tridimensionais simples e é analisado se o deficiente visual consegue identificar qual forma foi apresentada. Sempre são apresentados primeiramente objetos reais para que o deficiente visual possa comparar com o virtual, tendo em vista que muitos usuários poderiam não saber como se referir a formas geométricas específicas. O teste é repetido seis vezes com cada usuário, porém com formas virtuais diferentes, entre cubo, esfera e cone. Também antes do teste é realizada uma entrevista com o participante para explicar o “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido” e obter respostas demográficas para categorizar os usuários. Após o teste é realizada outra entrevista questionando o que os usuários acharam do sistema, sugestões de aplicação e sugestões de melhoria. Foi realizado um pré-teste com um usuário portador de deficiência que revelou uma possível melhoria na implementação da técnica, e então foram realizados testes com 8 participantes. Os resultados deste teste estão detalhados no capítulo 6.

A Figura 19 apresenta um resumo da metodologia seguida neste trabalho.

Figura 19 – Representação gráfica da metodologia utilizada no trabalho

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

5 Técnica de Interação para Identificação de Objetos Virtuais Acessível a Deficientes Visuais

Neste capítulo, é apresentada a principal contribuição deste trabalho, a nova técnica de interação 3D proposta para identificação de objetos virtuais acessível a pessoas com deficiência visual. A seção 5.1 apresenta uma visão geral da técnica proposta. A seção 5.3 descreve o desenvolvimento de um protótipo para sua validação. Na seção 5.4, a interação entre a técnica por meio do protótipo e o usuário é descrita. Na seção 5.5, é apresentada a solução adotada para o tratamento de colisões. Por fim, a seção 5.6 apresenta as tecnologias utilizadas.

5.1 Visão Geral

O desenvolvimento desta técnica está fundamentado em um dos desafios identificados na RS apresentada na seção 3.9. Seu objetivo é oferecer aos usuários autonomia na identificação de objetos virtuais, permitindo a criação de modelos mentais destes objetos. Para isso, ela utiliza os sentidos da audição e propriocepção, os mais explorados nos trabalhos correlatos.

Com o intuito de criar uma técnica acessível não só do ponto de vista da interação, mas também da aquisição dos dispositivos utilizados, foram utilizados somente aqueles de custo relativamente baixo e boa disponibilidade no mercado.

Para rastrear a posição das mãos do usuário, explorando seu sentido de propriocepção, foi utilizado o sensor Leap Motion¹ em vista de seu custo relativamente baixo, porém seria possível utilizar uma série de outros sensores para rastrear a posição dos dedos, como por exemplo um Kinect², Real Sense³ ou outra câmera de profundidade, duas câmeras simples em um par estereoscópio ou mesmo luvas de dados ou sensores presos aos dedos do usuário, e a técnica proposta continua sendo perfeitamente válida. Para explorar o sentido da audição como retorno, foram usados fones de ouvido estéreo e áudio tridimensional.

¹ <https://www.leapmotion.com/>

² <http://www.xbox.com/en-IN/Kinect/>

³ <http://www.intel.com.br/content/www/br/pt/architecture-and-technology/realsense-overview.html>

5.2 Descrição da Técnica

A nova técnica foi nomeada WT (*Without Touch*), pelo fato de não utilizar o toque físico na interação entre o usuário e o objeto virtual, ou seja, não é utilizado o tato.

A WT consiste em utilizar a posição rastreada dos dedos do usuário como entrada de dados, explorando sua propriocepção, além do retorno sonoro 3D como saída. Para tal se faz necessário dois dispositivos, um para rastrear as mãos e um reproduzidor de áudio 3D. A Figura 20 ilustra este processo.

Figura 20 – Processamento utilizado na técnica de interação

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Todo retorno ao usuário é feito por meio do áudio. Mensagens de erro, por exemplo, também são notificadas ao usuário dessa forma, como no caso de suas mãos não serem rastreadas em que um som informa isso.

Em um ambiente virtual com um determinado objeto, é possível por meio da técnica WT o usuário interagir com o objeto tocando virtualmente no mesmo. A cada toque no objeto um som é emitido, alertando que tocou em algo, então, ao ouvir o *feedback* sonoro, o usuário sabe onde estão as pontas de seus dedos através de sua propriocepção e, com essa informação, deve conseguir gradualmente gerar um modelo mental da forma da superfície 3D que está "tocando" com os dedos.

Conforme o usuário vai adentrando no objeto o som é silenciado, de forma que a técnica consiste na criação de uma "área de som" que corresponde à superfície do objeto, auxiliando o usuário a identificar sua forma, evitando a interpenetração do dedo no objetos, de forma que o usuário saiba sempre quando o dedo está na superfície do mesmo.

Verificou-se ser mais fácil para os usuários seguir a superfície do objeto tocando nela com somente um dedo do que com toda a mão, ao contrário do que se imaginava inicialmente. Assim, a técnica restringe os toques somente ao indicador de cada mão, exigindo que os outros dedos fiquem recolhidos.

Embora a técnica faça uso de som 3D, é difícil identificar somente dessa forma o dedo de qual mão tocou o objeto, pois a distância entre os dedos pode ser bem menor que a entre eles e os ouvidos, com ambos próximos e à frente do usuário. Assim, os sons emitidos quando cada dedo toca o objeto virtual são diferentes.

Como o usuário está utilizando movimentos em três dimensões e lidando com objetos virtuais e tarefas tridimensionais, mesmo que as pontas de seus dedos sempre definam um plano no qual ele interage, ainda pode-se considerar a interação como tridimensional.

5.3 Desenvolvimento de um protótipo

Para implementar e validar a técnica WT, foi desenvolvido um protótipo, tendo como início o levantamento de requisitos funcionais e não-funcionais. Para tanto, foi utilizada a técnica de *Brainstorming*, baseada na geração de ideias (BATISTA; CARVALHO, 2003). Os seguintes requisitos foram levantados:

Funcionais :

- informar ao usuário por meio de som se o rastreamento de seus dedos está ou não sendo feito de modo adequado;
- informar ao usuário por meio de som 3D quando o mesmo tocar virtualmente em um objeto 3D virtual;
- emitir um som diferente para cada mão cujo dedo “tocou” um objeto virtual.

Não-funcionais:

- a aplicação não pode demorar mais de 0.25 segundos para emitir o som quando for acionado, seja por toque em um objeto virtual ou por rastreamento inadequado dos dedos. Segundo trabalho (TOLIA; ANDERSEN; SATYANARAYANAN, 2006) intervalos entre 0,15 e 1 segundo de tempo de resposta não incomoda o usuário.
- utilização de dispositivos de baixo custo.

Na construção do protótipo foi utilizado um ciclo de desenvolvimento iterativo e incremental, que envolveu, em cada iteração, o refinamento da implementação. Foram ainda utilizados diagramas de classes para a modelagem do protótipo, refatorados a cada interação.

No desenvolvimento da arquitetura do protótipo foram utilizados dois padrões de projeto da “GoF (Gang of Four)”: o padrão *Observer* e o padrão *Command* (GAMMA et al., 2000). O padrão *Observer* foi utilizado para o controle da emissão do áudio 3D, ou seja, existe uma classe chamada *ObservadorColisão* que tem como responsabilidade observar as colisões das classes concretas estendidas da classe abstrata *AbstractForma3D*, e quando houver a colisão, a classe concreta irá notificar a observadora que emitira o som 3D. O uso do padrão *Command* nesta arquitetura serve para quando houver mais de uma instancia de classes concretas que estendem a classe *AbstractForma3D*, ou seja, mais de um objeto virtual no ambiente, garantindo que todas passem pelo processo de verificação de colisão, pois por meio do padrão é permitido empilhar as instâncias e garantir que será executado o mesmo processo para todas elas. Nas demais classes procurou-se seguir boas práticas de modelagem orientada a objetos a fim de facilitar a compreensão e futura manutenção do sistema. A arquitetura pode ser observada no diagrama de classes da Figura 21.

Em alguns testes durante o desenvolvimento, foram encontradas algumas dificuldades. Levando em consideração o uso de todos os dedos para a interação, tornou-se complexo para o usuário identificar qual dedo da mão, ou mesmo a palma, tocou virtualmente um determinado objeto, visto que o retorno não é tátil e sim auditivo por meio de som 3D e a distância de um dedo para o outro é pequena, tornando inviável distinguir qual dedo fez o toque somente pelo som. O uso de sons diferentes para todos os dedos também exigiria a memorização dessa informação, o que exigiria treinamento e seria complexo e pouco natural. A solução adotada para esta dificuldade, como já foi mencionado, foi o rastreamento apenas de dois dedos estendidos, um de cada mão do usuário.

O sensor utilizado para o rastreamento dos dedos estendidos foi o Leap Motion. Porém o mesmo faz o rastreamento de todos os dedos e não só dos estendidos. A solução adotada foi realizar a média das distâncias euclidiana entre os dedos, a Figura 22 mostra uma mão com todos os dedos abertos e classifica cada dedo com uma letra, já a Figura 23 exemplifica as distâncias entre o dedo indicado(b) e os demais. O cálculo para o dedo indicador (b) acontece da seguinte maneira, é somada a distância entre os dedos “b” e “a”, “b” e “c”, “b” e “d” e “b” e “e” e feita a média aritmética. Este mesmo calculo é feito entre todos os dedos e é adotado como dedo estendido aquele que obtiver a média mais alta.

O algoritmo 1 apresenta o cálculo para identificação do dedo estendido. No qual utiliza uma função chamada *dedoEstendido* que recebe como parâmetro de entrada uma variável do tipo *FingerList* e retorna um *Finger* que representa um único dedo, neste

contexto o dedo estendido. FingerList é uma lista que contém em cada posição da mesma um objeto que representa a posição em três dimensões da ponta de cada dedo rastreado pelo sensor. Além desta representação a FingerList contém o método *count* que retorna a quantidade de elementos da lista. A fim de investigar qual dedo esta estendido, faz-se a medida de distância entre todos os dedos e é armazenada em um vetor chamado *media*, logo após este processamento é identificado qual é a maior média, com isso é possível descobrir qual é o índice do dedo estendido e retorná-lo. Na equação 1 é demonstrado como é calculada a distância entre os dedos de uma mão.

$$f(n) = \sum_{i=1}^5 (d[n].x - d[i].x)^2 + (d[n].y - d[i].y)^2 + (d[n].z - d[i].z)^2 \quad (1)$$

Algoritmo 1 Identificar o dedo estendido

```

1: function DEDOESTENDIDO(FingerList dedos)
2:   vet[][] ← new double[dedos.count()][dedos.count()]
3:   media[] ← new double[dedos.count()]
4:   for i do 1 to dedos.count()
5:     for j do 1 to dedos.count()
6:       if (i <> j) then
7:         vet[i][j] ← Math.pow(dedos.get(i).tipPosition().getX() - de-
           dos.get(j).tipPosition().getX(), 2) + Math.pow(dedos.get(i).tipPosition().getY() -
           dedos.get(j).tipPosition().getY(), 2) + Math.pow(dedos.get(i).tipPosition().getZ() -
           dedos.get(j).tipPosition().getZ(), 2)
8:         media[i] ← vet[i][j]
9:   indice ← 0
10:  for i do 1 to dedos.count()
11:    if (media[indice] < media[i]) then
12:      indice ← i
13:  return dedos.get(indice);

```

Figura 22 – Classificação dos dedos

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Figura 23 – Exemplo das distâncias entre os dedos

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Outra dificuldade encontrada foi diferenciar qual mão “tocou” o objeto virtual apenas com retorno de áudio. A solução adotada foi emitir um som diferente para cada mão. Caso uma das mãos não seja rastreada pelo sensor, ou nenhuma seja, é emitido um som semelhante a um zumbido para alertar o usuário que o rastreamento de suas mãos não estão sendo feito de forma correta. Isso em geral ocorre devido ao usuário retirar as mãos do campo de visão do sensor e pode ser rapidamente corrigido pelo mesmo após receber o retorno sonoro.

Com essas funcionalidades já especificadas, foi desenvolvido um ambiente virtual, em que, além da representação do objeto virtual, cada ponta dos dedos considerados estendidos foi representada por uma esfera. Ainda que a técnica seja voltada para pessoas com deficiência visual, para que fosse possível acompanhar a interação visualmente durante o desenvolvimento e testes, esses objetos foram renderizados em 3D na tela do computador, como mostra a Figura 24.

Figura 24 – Ambiente virtual com a interação do usuário

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

5.4 Interação por meio do protótipo

A interação funciona da seguinte maneira: existe um ambiente virtual tal que o usuário possa interagir em três dimensões. Isso é possível graças ao sensor de rastreamento de mãos, desta maneira o usuário interage utilizando os movimentos dos braços e mãos, em vista que o sensor retornará a posição dos eixos X, Y e Z dos dedos do mesmo, permitindo assim o uso da propriocepção na interação.

Como já foi dito anteriormente, para cada dedo do usuário é criada uma esfera no ambiente virtual, correspondente a sua posição real dos seus dedos. Além das esferas, é criado um outro objeto no ambiente, podendo ser um cubo, esfera ou cone.

Navegando no ambiente o usuário pode colidir com esse novo objeto. Toda vez que houver colisão um som é reproduzido para informar que o mesmo aconteceu, sons diferentes são emitidos para cada dedo que colidiu.

O som que é emitido quando há colisões é 3D, tendo como origem o toque virtual do usuário no objeto. Para que este som seja reproduzido em três dimensões se faz necessário o uso de caixas de som estéreo ou fones de ouvido estéreo. A Figura 25 exemplifica o funcionamento da interação.

Figura 25 – Funcionamento da interação

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

5.5 Tratamento de colisão

Foram criadas “áreas de som” para cada objeto virtual, sendo eles uma esfera, um cone e um cubo. A área de som corresponde à superfície do objeto. As Figuras 26, 27 e 28 mostram as áreas de som.

Como são três formas geométricas diferentes, foram criados para cada uma um modo de tratamento de colisão exato, ou seja, uma forma específica para identificar se as esferas nas pontas dos dedos do usuário estão sobre a área de som.

Para o tratamento de colisão do cubo foi utilizado uma adaptação do método *Bounding Box* que consiste em encapsular um objeto com uma caixa (KERA et al., 2005), porém foi criado um intervalo nos eixos X, Y e Z chamado de área de som, de modo a não considerar a colisão com o objeto nas partes fora dela, conforme é detalhado na Figura 26.

O algoritmo 2 verifica se a posição do dedo está ou não sobre a área de som do cubo, enquanto o algoritmo 3 verifica apenas se a posição do dedo está ou não colidindo com o cubo, ou seja em qualquer parte do mesmo. No algoritmo 4 é detalhado como ocorre a

verificação da colisão com o cubo, levando em consideração três planos o algoritmo verifica cada plano separadamente e caso haja colisão em um dos mesmos o algoritmo notifica que houve uma colisão.

Algoritmo 2 Verifica se há ou não colisão com a área de som do cubo

```

1: function ENTRE(valor,min,max,intervalo)
2:   if ( $min \leq valor \wedge valor \leq max$ ) then
3:     if ( $min \leq valor \wedge valor \geq (min + inter)$ 
         $\wedge max \geq valor \wedge valor \leq (max - inter)$ ) then
4:       return true
5:   return false

```

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Algoritmo 3 Verifica se há ou não colisão com um cubo sólido

```

1: function ENTREABSOLUTO(valor,min,max)
2:   if ( $min \leq valor \wedge valor \leq max$ ) then
3:     return true
4:   return false

```

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Algoritmo 4 Verificação adotada na colisão com um cubo

```

1: function ISCOLISAO(x,y,z)
2:    $condicaoX \leftarrow entre(x, xMin, xMax, intervalo) \wedge entreAbsoluto(y, yMin, yMax)$ 
    $\wedge entreAbsoluto(z, zMin, zMax)$ 
3:    $condicaoY \leftarrow entre(y, yMin, yMax, intervalo) \wedge entreAbsoluto(x, xMin, xMax)$ 
    $\wedge entreAbsoluto(z, zMin, zMax)$ 
4:    $condicaoZ \leftarrow entre(z, zMin, zMax, intervalo) \wedge entreAbsoluto(x, xMin, xMax)$ 
    $\wedge entreAbsoluto(y, yMin, yMax)$ 
5:   if ( $condicaoX \vee condicaoY \vee condicaoZ$ ) then
6:     return true
7:   return false

```

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Figura 26 – Área de som do cubo

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

No tratamento de colisão do cone foi utilizado semelhança de triângulos para verificar se usuário tocou dentro da forma, pois o cone quando cortado verticalmente ao meio se transforma em dois triângulos retângulos idênticos e assim como o cubo também foi criado um intervalo nas bordas da figura chamado de área de som, desconsiderando colisões fora deste alcance. A figura 27 exemplifica a área. No algoritmo 5 é apresentado como é identificada uma colisão com o cone.

Algoritmo 5 Verifica se há ou não colisão com um cone

```

1: function ISCOLISAO(x,y,z)
2:   alturaReal  $\leftarrow$  Math.abs((origemY + hCone/2))
3:   alturaBidirecional  $\leftarrow$  Math.abs((origemY + hCone/2)/2)
4:   if ( $y \geq (alturaBidirecional * -1) \wedge y \leq ((alturaBidirecional * -1) +$ 
       $Math.abs(intervalo)/2) \vee (y \geq (alturaBidirecional - Math.abs(intervalo)/2) \wedge y \leq$ 
       $alturaBidirecional)$ ) then
5:     alturaDedo  $\leftarrow$  y;
6:     alturaDedo  $\leftarrow$  -alturaDedo - alturaBidirecional
7:     alturaProporcional  $\leftarrow$  Math.abs(alturaDedo) / alturaReal
8:     if (alturaProporcional * raio  $\geq$  Math.abs(x)) then
9:       if (alturaProporcional * this.raio  $\geq$  Math.abs(z)) then
10:        return true
11:   else if ( $y \geq (alturaBidirecional * -1) \wedge y \leq alturaBidirecional$ ) then
12:     alturaDedo  $\leftarrow$  y;
13:     alturaDedo  $\leftarrow$  -alturaDedo - alturaBidirecional
14:     alturaProporcional  $\leftarrow$  Math.abs(alturaDedo) / alturaReal
15:     if ( $((alturaProporcional * raio \geq x) \wedge (alturaProporcional * raio -$ 
       $Math.abs(intervaloRaio) \leq x) \vee (alturaProporcional * raio * -1 \leq x) \wedge$ 
       $(alturaProporcional * raio * -1 + Math.abs(intervaloRaio) \geq x))$ ) then
16:       if (alturaProporcional * raio  $\geq$  Math.abs(z)) then
17:        return true
18:     else if (alturaProporcional * raio  $\geq$  Math.abs(x)) then
19:       if ( $((alturaProporcional * raio \geq z) \wedge (alturaProporcional * raio -$ 
       $Math.abs(intervaloRaio) \leq z) \vee (alturaProporcional * raio * -1 \leq z) \wedge$ 
       $(alturaProporcional * raio * -1 + Math.abs(intervaloRaio) \geq z))$ ) then
20:        return true
21:   return false

```

 Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Figura 27 – Área de som do cone

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Para saber se houve colisão na esfera, foi verificado se a distância do ponto do dedo do usuário para o centro da esfera é menor que o raio e esta entre o intervalo definido pela área de som. A área de som da esfera é representada na Figura 28. No algoritmo 6 é detalhado como é investigado se há ou não colisão na esfera.

Algoritmo 6 Verifica se há ou não colisão com uma esfera

```

1: function ISCOLISAO(x,y,z)
2:   distancia  $\leftarrow$  Math.sqrt(Math.pow(x - oX, 2)
     + Math.pow(y - oY, 2)
     + Math.pow(z - oZ, 2)
   )
3:   distancia  $\leftarrow$  Math.abs(distancia)
4:   if (((distancia)  $\leq$  raio)  $\wedge$  distancia  $\geq$  (raio - intervalo))) then
5:     return true;
6:   return false;

```

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Figura 28 – Área de som do esfera

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

A Figura 29 exemplifica como funciona a área de som: mesmo se o usuário estiver colidindo com objeto virtual, só será emitido o som se o mesmo estiver tocando na área de som. Isso foi feito pois, durante um pré-teste, percebeu-se que emitir o retorno sonoro sempre que houvesse colisão com o sólido, e não somente com sua superfície, dificultava seguir essa superfície com os dedos e, portanto, a identificação do sólido.

Figura 29 – Área de som

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

5.6 Tecnologias utilizadas

Inicialmente, foi desenvolvida a primeira versão do protótipo utilizando JavaFx 3D (VOS et al., 2014) porém esta versão foi descontinuada por não ter suporte nativo a áudio 3D. Então foi desenvolvimento outra versão do protótipo, dessa vez com Java 3D (SELMAN, 2002) e suportando áudio 3D.

Na segunda versão a *API* (*Application Programming Interface*) utilizada para comunicação do protótipo com o sensor Leap Motion (MOTION, 2015) foi atualizada, gerando manutenção no código fonte, pois a versão anterior da *API* só reconhecia os dedos estendidos do usuário, já na nova versão eram reconhecidos todos os dedos, mesmo se estivessem dobrados. Para lidar com tal situação foi adotada a técnica de acúmulo das distâncias euclidianas entres os dedos e feito uma média aritmética de modo a assumir o dedo com a média mais alta como o estendido.

Atualmente o protótipo está na terceira versão. Na codificação do mesmo foi utilizado o repositório e controle de versão GIT (CHACON; STRAUB, 2014).

6 Resultados

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados dos testes descritos no Capítulo 4 com a técnica e o protótipo descritos no capítulo 5.

6.1 Testes funcionais

Com intuito de testar as funcionalidades do protótipo, foram realizados testes com quatro usuários de visão normal. A categorização dos usuários é detalhada da Tabela 1.

Tabela 1 – Categorização dos usuários

Identificação	Sexo	Idade	Possui deficiência visual
A	Masculino	36	Não
B	Feminino	61	Não
C	Masculino	24	Não
D	Feminino	19	Não

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Foram testadas as seguintes funcionalidades:

A - Saber se seus dedos estão ou não sendo rastreados de forma correta.

B - Saber qual mão do dedo tocou virtualmente o objeto tridimensional.

Estes testes estão descritos na seção 4. A Tabela 2 sumariza seus resultados.

Tabela 2 – Resultado dos testes funcionais

Usuário	Funcionalidade	Tempo	Acerto
A	A	3 seg	100%
B	A	4 seg	100%
C	A	2 seg	100%
D	A	2 seg	100%
A	B	15 seg (Acumulado)	100%
B	B	14 seg (Acumulado)	80%
C	B	13 seg (Acumulado)	100%
D	B	14 seg (Acumulado)	80%

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Os resultados comprovam que os requisitos funcionais estão sendo cumpridos no protótipo, obtendo na funcionalidade A 100% de acerto e com o tempo médio de 2,75

segundos, e na funcionalidade B 90 % de acerto com um tempo médio de 14 segundos que equivalem à média de 2,8 segundos por repetição do teste.

Além disso o tempo de resposta medido foi, em média, de 0,2166 segundos, tal que para o cubo o tempo de resposta ao colidir e emitir o som é de 0,21 segundos, para o cone 0,25 segundos e para a esfera de 0,19 segundos, mostrando-se assim cumprido o requisito não-funcional de tempo de resposta.

O outro requisito não-funcional exigia a utilização de dispositivos de baixo custo e também foi alcançado, já que para a técnica proposta só se faz necessário o uso de um fone de ouvido estéreo e um sensor Leap Motion (que custa em média US\$100, custo mais baixo que, por exemplo, o de um monitor).

6.2 Testes com deficientes visuais

O protótipo foi testado com oito usuários com deficiência visual. A Tabela 3 apresenta a caracterização destes usuários referente a gênero, como adquiriu a deficiência, caso tenha sido adquirida a quanto tempo a possui e, por fim, a idade.

Tabela 3 – Categorização das pessoas com deficiência visual

Usuário	Sexo	Deficiência	Tempo de Deficiência	Idade
A	Masculino	Adquirida	19 anos	55 anos
B	Feminino	Nascença	-	49 anos
C	Feminino	Nascença	-	73 anos
D	Feminino	Adquirida	17 anos	66 anos
E	Feminino	Adquirida	10 meses	55 anos
F	Masculino	Adquirida	32 anos	72 anos
G	Masculino	Nascença	-	35 anos
H	Masculino	Adquirida	5 anos	28 anos

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Além deste dados, também foi levantado a formação de cada participante, bem como sua profissão, se possui alguma percepção visual (ou seja, se enxerga algo, como vultos, e se conseguiria distinguir os objetos geométricos apenas com a visão). Todos os usuários que afirmaram ter alguma percepção visual, alegaram enxergar apenas a presença ou ausência de luz. A Tabela 4 detalha estes dados.

O teste foi conduzido da seguinte maneira: ao iniciar o teste foi entregue a cada participante três objetos geométricos físicas, um cone, um cubo e uma esfera, explicando ao mesmo os nomes das figuras. Depois foi explicado como funcionava o protótipo.

Tabela 4 – Profissão e percepção visual das pessoas com deficiência visual

Usuário	Formação	Profissão	Percepção visual ?	Distinguir formas ?
A	Superior Incompleto	Aposentado	Sim	Não
B	Médio Completo	Aux. de S. Radiológico	Sim	Não
C	Médio Completo	Aposentada	Não	Não
D	Médio Completo	Massa Terapêutica	Sim	Não
E	Médio com Técnico	Técnica em Nutrição	Sim	Não
F	Ciências Contábeis	Massagista	Não	Não
G	Médio Completo	Desempregado	Não	Não
H	Sistema de Informação	Programador	Não	Não

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

No ambiente virtual foi instanciado um objeto virtual correspondente a uma das formas já mencionadas e o usuário interage de forma a responder o nome da figura quando estiver seguro.

Houve 6 repetições para cada usuário, trocando apenas entre as formas geométrica. Não foi medido o tempo, pois no CADEVI (Centro de Apoio ao Deficiente Visual) onde aconteceu o teste, estava acontecendo ao lado um exercício com as pessoas com deficiência, que estava gerando um nível considerável de ruído e atrapalhando os usuários de tal maneira a introduzir grandes variações no tempo (o usuário tinha que esperar o nível de ruído externo diminuir para voltar a poder interagir com o sistema). A Tabela 5 mostra os resultados deste experimento.

Tabela 5 – Resultado dos testes

Usuário	Número de acertos	Número de repetições	Taxa de acerto
A	5	6	83,33%
B	5	6	83,33%
C	2	6	33,33%
D	6	6	100%
E	5	6	83,33%
F	5	6	83,33%
G	6	6	100%
H	6	6	100%

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Três usuários identificaram corretamente todas as formas. Quatro erraram somente uma e, normalmente, a primeira (o que não é surpresa visto que o protocolo experimental não incluía nenhum período de treinamento prévio com o sistema). Um participante mostrou grande dificuldade, identificando corretamente somente um terço dos objetos (o mesmo que se esperaria de respostas aleatórias), mas trata-se do participante de idade

mais avançada e que mostrou ter dificuldades de movimentação - além disso é comum haver deterioração da percepção com a idade, tanto da audição quanto da propriocepção (RIBEIRO; OLIVEIRA, 2007), o que sugere que, ainda que a técnica proposta seja acessível para pessoas com deficiência visual, não é muito acessível para usuários com outros tipos de dificuldade.

Após os testes os usuários foram questionados sobre a interação. As perguntas realizadas as pessoas com deficiência e suas respostas foram :

O que achou da interação?

Usuário A - “Legal, podemos utilizar para identificar as formas.”

Usuário B - “Um pouco difícil, a minha coordenação me deixou confuso.”

Usuário C - “Achei Médio, foi meio confuso não entendi direito o que era para ser feito e como funcionava.”

Usuário D - “Achei nem difícil nem fácil, muito bom uma nova experiência.”

Usuário E - “Como foi a primeira vez senti um pouco de dificuldade.”

Usuário F - “Eu sinceramente gostei, pois é um desafio da gente mais ou menos projetar alguma coisa na mente em uma dimensão diferente que estou condicionada.”

Usuário G - “Achei legal da para testar a propriocepção.”

Usuário H - ”Achei legal, fácil.”

Você percebeu algo que pode ser melhorado, para facilitar o reconhecimento da forma?

Usuário A - “Talvez, se pudesse utilizar apenas uma mão para interagir seria mais fácil.”

Usuário B - “Poderia ser um som contínuo quando tocasse como se tivesse fazendo um risco.”

Usuário C - “Sim, cada objeto ter um som diferente.”

Usuário D - “Não sei.”

Usuário E - “Não sei te dizer.”

Usuário F - “Poderia ser um som para cada forma, mas ficaria muito fácil de identificar.”

Usuário G - “Acho que não, deu para identificar bem.”

Usuário H - “Talvez uma dica para localizar o objeto.”

Você sentiu algum incômodo ao utilizar a interação?

Usuário A - “Não.”

Usuário B - “Braço cansado, a posição dos braços, pois eles ficam no ar.”

Usuário C - “Não.”

Usuário D - “Não.”

Usuário E - “O som estava um pouco alto.”

Usuário F - “Não, só o desafio de tentar descobrir o que era.”

Usuário G - “Não, só um desconforto no braço, mas nada, além disso.”

Usuário H - “Não.”

Você consegue imaginar uma aplicação em seu dia a dia, que essa interação ajuda-se ?

Usuário A - “Mexer no fogão, pois para saber se a chama do fogão esta acesa temos que colocar a mão para sentir o calor e isso é perigo. E esse aplicativo poderia ser feito no celular para podemos utilizá-lo em qualquer lugar, e também para alerta algo que possa ser perigoso para mim.”

Usuário B - “Sim, por exemplo: eu sinto falta de não ter nas portas e degraus, e até mesmo quando se aproximando do fogão, tipo apitar quando a chama estiver acesso ou se a televisão estiver ligada sem som.”

Usuário C - “Não.”

Usuário D - “O uso do computador.”

Usuário E - “Poderia ajudar a reconhecer objetos no dia a dia.”

Usuário F - “Eu sempre acredito na possibilidade de algo novo ajudar. Sim, Poderia ajudar a reconhecer objetos no dia a dia.”

Usuário G - “Acho que não.”

Usuário H - ”Poderia fazer algo para sentir os diagramas da área da programação.”

7 Discussão e conclusões

No capítulo 3, foram apresentados estudos sobre técnicas de interação 3D acessível a pessoas com deficiência visual. A revisão sistemática a partir da qual estes estudos foram identificados indicou a ausência de uma técnica que permita a uma pessoa com deficiência visual identificar objetos virtuais com autonomia. Neste contexto, o presente trabalho surge como uma importante contribuição de pesquisa ao desenvolver e avaliar uma técnica inovadora que oferece meios para que tal objetivo seja atingido utilizando dispositivos de baixo custo.

Os resultados da seção 6.1 validam o protótipo desenvolvido quanto à adequação à técnica proposta. Embora todos os usuários que realizaram estes testes tivessem boa visão e somente tenham sido vendados (simulando a deficiência) na realização dos testes, isto não reduz a qualidade dos resultados, tendo em vista que estes testes tinham como objetivo validar as funcionalidades do protótipo e não a interação em si. Em relação a números, a taxa de acerto média entre as funcionalidades testadas, foi de 95% de acerto, comprovando a implementação das funcionalidades. Durante estes testes, todos os participantes (assim como os desenvolvedores) mostraram grande dificuldade em identificar os objetos tridimensionais.

Na seção 6.2, foram detalhados os resultados dos testes com pessoas com deficiência visual, confirmando a hipótese inicial do trabalho, que questionava se era possível um deficiente visual, apenas com retorno de áudio 3D e por meio da propriocepção, identificar objetos virtuais. Os resultados dos testes confirmaram que 83% das tentativas de identificar qual objeto virtual foi apresentado ao usuário foram realizados com sucesso e esse número teria sido mais alto se um dos participantes não tivesse mostrado outras dificuldades para interagir com o sistema. Além disso, parte dos erros parece ter ocorrido devido a falta de treinamento dos participantes sobre como utilizar o protótipo, pois os erros aconteceram na sua maior parte nas primeiras interações, sendo seguidos por diversos acertos. Além disso, o elevado grau de ruído no local do experimento, já discutido, pode também ter influenciado para que a taxa de acerto não tenha sido maior.

Outro resultado interessante foi que as pessoas com deficiência visual que nasceram com a deficiência obtiveram uma menor taxa de acerto (72%) do que os que adquiriram com o tempo (90%). Um dos motivos que pode ter ocasionado este resultado foi o que os usuários que adquiriram a deficiência já conheciam as formas geométricas e tinham

modelos mentais das mesmas, enquanto os que nasceram com a deficiência não. A Figura 30 apresenta um gráfico com este resultado. As populações destes dois grupos, no entanto, eram bastante pequenas para que se considere este resultado muito confiável.

Figura 30 – Taxa de acerto por tipo de deficiente visual, os de nascença ou que adquiriram a deficiência

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Foi identificado que os usuários com mais de 70 anos tiveram dificuldades ao identificar as formas. Embora a taxa de acerto dos usuários maiores que 70 anos foi de 58%. Além de possíveis dificuldades motoras e de percepção que costumam surgir com o aumento da idade, uma outra variável importante a ser considerada é a falta de familiaridade com computador ou tecnologia da população mais velha, que também pode alterar a taxa de acerto. Um dos usuários da categoria maior de 70 anos, quando foi questionado sobre o que achou da interação, disse “Achei Médio, foi meio confuso, não entendi direito o que era para ser feito e como funcionava.”. Acreditasse que esse resultado ocorreu pela falta de familiaridade com tecnologia. Os usuários entre 25 e 50 anos obtiveram uma taxa de acerto de 92 % e os usuário entre 51 a 70 anos obtiveram uma taxa de acerto de 89% não demonstrando nenhuma dificuldade em interagir com o protótipo. A Figura 31 detalha este resultado.

Figura 31 – Taxa de acerto por classificação de idade

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

No que diz respeito à experiência dos usuários ao interagirem com a técnica, 4 usuários acharam fácil a interação, 2 médio e 2 tiveram algumas dificuldades. Porém somente um dos usuários que tiveram dificuldades sugeriu melhorias. Em sua opinião, ficaria mais fácil a interação se o emitido pelo protótipo fosse contínuo, semelhante a um risco, em vista que o som atual é descontinuado e emitido quando o toque acontece, similar quando uma pessoa bate com a mão em uma madeira (“toc toc”).

Outra melhoria considerável sugerida pelos usuários é a interação com apenas uma das mãos, o que seria interessante em vista de o usuário não precisar identificar qual mão tocou o objeto, tendo certeza então de que mão está efetuando o toque. Uma sugestão também importante a ser considerada é de dar uma dica de onde o objeto está localizado, isso pode ser facilmente contornado criando a figura logo acima do sensor.

Dois usuários deram a recomendação de criar sons diferentes para as diferentes formas, porém deste modo o usuário não teria como fazer um modelo mental do objeto que está tocando e apenas decoraria o som relacionado a figura - já existem outras técnicas que satisfazem esta necessidade de identificação sem criação do modelo mental, e de forma mais simples, dizendo o nome do objeto.

De todos os usuários apenas 3 disseram sentir algum incômodo ao interagir com o protótipo. Os incômodos foram relacionados ao volume do som, algo que pode ser sanado facilmente e ao cansaço nos braços, pois para interagir é necessário a utilização dos braços

no ar, tornado este fato uma limitação da técnica, algo comum para este tipo de interação e que torna a técnica mais adequada para aplicações em que seja usada esporadicamente e por curtos períodos de tempo, como aplicações em educação, que para aplicações que exijam longo uso contínuo, como aplicações em produção.

Outra limitação deste trabalho é que, com base no experimento realizado, não se pode afirmar que o usuário está de fato tendo a concepção do objeto em 3D ou 2D, visto que os objetos apresentados a eles tinham seções bidimensionais diferentes. Em diversos casos participantes responderam nos testes os nomes das figuras em 2D (por exemplo quadrado, ao invés, de cubo). Não foi possível determinar se foi a falta de contato ou o desconhecimento dessas formas 3D e seus nomes que colaboram com essa resposta, ou se o modelo criado pelo usuário ao interagir foi 2D. Em trabalhos futuros planeja-se repetir o experimento com formas com seções parecidas, como esferas e cones, para verificar esta questão. Outra fato importante é que o público alvo só foi envolvido mais ao fim do processo de desenvolvimento e depois na fase de teste. Consideramos mais recomendável para futuros trabalhos incluir esse público antes, já na fase de projeto.

De qualquer forma o autor acredita ser possível concluir que a hipótese levantada no início da pesquisa foi confirmada e que os objetivos foram cumpridos. Sim é possível desenvolver uma técnica de interação para que um deficiente visual possa identificar objetos, apenas explorando a propriocepção e retorno auditivo. A técnica para permitir essa tarefa foi projetada e implementada com base na revisão da literatura, com dispositivos de baixo custo e preenchendo uma lacuna encontrada nesta revisão. Foi ainda testada, obtendo resultados que sustentam estas afirmações.

Este trabalho contribui com uma nova técnica de interação 3D acessível a pessoas com deficiência visual, trazendo diversos benefícios para a sociedade e para a computação como: a própria técnica utilizando apenas propriocepção e retorno de áudio 3D utilizando dispositivos de baixo custo; o conhecimento que a propriocepção e a audição são suficientes para a identificação de objetos virtuais por pessoas com deficiência visual; a colaboração com a possível inclusão dos mesmos em diversas tarefas que exijam interação com o computador em três dimensões em diferentes áreas de aplicação.

7.1 Trabalhos Futuros

Baseado na última pergunta do questionário respondido pelos usuários após o teste, que interrogava sobre qual aplicação poderia ser utilizada com a nova técnica de interação, diversos trabalhos podem ser desenvolvidos.

Entre eles estão a aplicação de identificar outros objetos no dia a dia (embora seja possível que as técnicas já existentes, que identificam os objetos de forma mais automática, sejam mais úteis para esta tarefa) e a identificação de formas de perigo sem que o usuário tenha que tocar nelas fisicamente, além da identificação e manipulação de elementos diagramas usados na área da computação (em 2D). Além destas aplicações identificadas, outras podem ser facilmente identificadas e inclusive serviram como motivação para o trabalho, como o ensino de matemática, particularmente geometria, ou anatomia para pessoas com deficiência visual. Com intuito de identificar como a técnica poderia auxiliar no ensino, foi feita uma pergunta para duas professoras de matemática do ensino médio, questionando sobre como ensinariam um aluno deficiente visual a realizar cálculos de figuras tridimensionais, como o volume do mesmo. As professoras ficaram sem saber como realizar tal tarefa. Deste modo foi apresentado às professoras o protótipo e a técnica criada neste trabalho e feita uma segunda pergunta, como a técnica e ou o protótipo poderia auxiliá-las no ensino da matemática. Após conhecerem a ferramenta, identificaram rapidamente um meio de ensinar, pedindo apenas uma nova funcionalidade. A nova funcionalidade corresponde ao usuário fazer um movimento diferenciado com a mão, quando estiver tocando virtualmente na forma geométrica, por exemplo, juntar o dedo indicador com o polegar fazendo uma pinça e o protótipo informa o valor da aresta ou outras propriedades como área e volume.

Outro possível trabalho futuro seria verificar se o usuário está ou não identificando as formas em 3D ou 2D, como discutido anteriormente. Outro experimento importante para verificar a qualidade dos modelos mentais que a técnica pode permitir criar seria utilizando objetos mais complexos.

7.1.1 Publicações

Esta seção apresenta os trabalhos publicados até o presente momento.

1. VERISCIMO, E. D. S.; BERNARDES, J. L. A new 3D interaction technique accessible to the visually impaired. In: IEEE. Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR) XVII, 2015 ([VERISCIMO; BERNARDES, 2015](#));
2. VERISCIMO, E. S.; BERNARDES, J. L. 3D Interaction accessible to visually impaired users: a systematic review. In: HCI International, 2016 [Artigo Aprovado] ([VERISCIMO; BERNARDES, 2016a](#));
3. VERISCIMO, E. S.; BERNARDES, J. L. Autonomous Identification of Virtual 3D Objects by Visually Impaired Users with Proprioception and Audio Feedback. In: HCI International, 2016 [Artigo Aprovado] ([VERISCIMO; BERNARDES, 2016b](#));
4. VERISCIMO, E. S.; LUQUE, L.; BERNARDES, J. L. A new 3d interaction technique accessible to the visually impaired with Proprioception and Audio Feedback. Interacting with computers, 2016 [Artigo em elaboração]

Referências¹

- AL-KHALIFA, A. S.; AL-KHALIFA, H. S. Do-it-yourself object identification using augmented reality for visually impaired people. In: *Computers Helping People with Special Needs*. [S.l.]: Springer, 2012. p. 560–565. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 37.
- ALEXIADIS, D. S. et al. Evaluating a dancer’s performance using kinect-based skeleton tracking. In: ACM. *Proceedings of the 19th ACM international conference on Multimedia*. [S.l.], 2011. p. 659–662. Citado na página 19.
- AMEMIYA, T. et al. Virtual leading blocks for the deaf-blind: A real-time way-finder by verbal-nonverbal hybrid interface and high-density rfid tag space. In: IEEE. *Virtual Reality, 2004. Proceedings. IEEE*. [S.l.], 2004. p. 165–287. Citado 3 vezes nas páginas 32, 33 e 35.
- AMIRALIAN, M. L. T. *Compreendendo o cego*. [S.l.]: Casa do psicólogo, 1997. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 27.
- ANDO, H. et al. Smartfinger: nail-mounted tactile display. In: ACM. *ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications*. [S.l.], 2002. p. 78–78. Citado 3 vezes nas páginas 9, 40 e 41.
- AZUMA, R. T. A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, MIT Press, v. 6, n. 4, p. 355–385, 1997. Citado na página 22.
- BALDAN, S.; GÖTZEN, A. D.; SERAFIN, S. Mobile rhythmic interaction in a sonic tennis game. In: ACM. *CHI’13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. [S.l.], 2013. p. 2903–2906. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 39.
- BASTOS, N. C.; TEICHRIEB, V.; KELNER, J. Interação com realidade virtual e aumentada. *SBC*, 2006. Citado na página 24.
- BATISTA, E. A.; CARVALHO, A. M. B. R. Uma taxonomia facetada para técnicas de elicitação de requisitos. In: *WER*. [S.l.: s.n.], 2003. p. 48–62. Citado na página 54.
- BAU, O.; POUPYREV, I. Revel: tactile feedback technology for augmented reality. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, ACM, v. 31, n. 4, p. 89, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 9, 40 e 41.
- BERRETTA, L. et al. Virtual environment manipulated by recognition of poses using kinect: A study to help blind locomotion in unfamiliar surroundings. In: IEEE. *Virtual and Augmented Reality (SVR), 2013 XV Symposium on*. [S.l.], 2013. p. 10–16. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 35.
- BERSCH, R. Introdução à tecnologia assistiva. *Porto Alegre: CEDI*, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.
- BOWMAN, D. A. et al. *3D user interfaces: theory and practice*. [S.l.]: Addison-Wesley, 2004. Citado 3 vezes nas páginas 16, 23 e 24.

¹ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

BRASIL, A. Decreto de nº 6.949 de 25 de agosto de 2009. *Promulga a Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e seu Protocolo Facultativo, assinados em Nova York, em*, v. 30, 2009. Citado na página 29.

BUONAMICI, F. et al. Making blind people autonomous in the exploration of tactile models: A feasibility study. In: *Universal Access in Human-Computer Interaction. Access to Interaction*. [S.l.]: Springer, 2015. p. 82–93. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 40.

CHACON, S.; STRAUB, B. *Pro git*. [S.l.]: Apress, 2014. Citado na página 66.

CHUANG, C.-H.; HSIEH, J.-W.; FAN, K.-C. A smart handheld device navigation system based on detecting visual code. In: IEEE. *Machine Learning and Cybernetics (ICMLC), 2013 International Conference on*. [S.l.], 2013. v. 3, p. 1407–1412. Citado na página 34.

COSTA, G. R.; MAIOR, I. d. L.; LIMA, N. d. Acessibilidade no brasil: uma visão histórica. *III Seminário e II oficina Acessibilidade, TI e Inclusão digital. Faculdade de Saúde Pública/USP-São Paulo. Disponível em: j bauru. apaebrasil. org. br/arquivo. phtml*, 2005. Citado na página 28.

DAES. Referenciais de acessibilidade na educação superior e a avaliação in loco do sistema nacional de avaliação da educação superior (sinaes). 2013. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.

DEVILLE, B.; BOLOGNA, G.; PUN, T. Detecting objects and obstacles for visually impaired individuals using visual saliency. In: ACM. *Proceedings of the 12th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*. [S.l.], 2010. p. 253–254. Citado na página 36.

DOUSH, I. A.; ALSHATTNAWI, S.; BARHOUSH, M. Non-visual navigation interface for completing tasks with a predefined order using mobile phone: a case study of pilgrimage. *International Journal of Mobile Network Design and Innovation*, Inderscience Publishers (IEL), v. 6, n. 1, p. 1–13, 2015. Citado na página 36.

DRAMAS, F. et al. Designing an assistive device for the blind based on object localization and augmented auditory reality. In: ACM. *Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*. [S.l.], 2008. p. 263–264. Citado na página 36.

FALLAH, N. et al. The user as a sensor: navigating users with visual impairments in indoor spaces using tactile landmarks. In: ACM. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. [S.l.], 2012. p. 425–432. Citado na página 33.

FIGUEROA, A. M. S. *Os objetos nos museus de ciências: o papel dos modelos pedagógicos na aprendizagem*. Tese (Doutorado) — Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Citado na página 17.

FOGGIATO, J.; VOLPATO, N.; BONTORIN, A. Recomendações para modelagem em sistemas cad-3d. In: *4º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação COBEF, São Pedro*. [S.l.: s.n.], 2008. v. 15. Citado na página 19.

GALLO, S. et al. Augmented white cane with multimodal haptic feedback. In: IEEE. *Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), 2010 3rd IEEE RAS and EMBS International Conference on*. [S.l.], 2010. p. 149–155. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 34.

GAMMA, E. et al. Padrões de projeto. *Soluções reutilizáveis de software*, 2000. Citado na página 55.

HAND, C. A survey of 3d interaction techniques. *Computer Graphics Forum*, Blackwell Publishers, v. 16, n. 5, p. 269–281, 1997. ISSN 1467-8659. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/1467-8659.00194>>. Citado na página 16.

HELLER, F.; BORCHERS, J. Audiotorch: using a smartphone as directional microphone in virtual audio spaces. In: ACM. *Proceedings of the 16th international conference on Human-computer interaction with mobile devices & services*. [S.l.], 2014. p. 483–488. Citado na página 35.

HENNING, V.; REICHELT, J. Mendeley-a last. fm for research? In: IEEE. *eScience, 2008. eScience'08. IEEE Fourth International Conference on*. [S.l.], 2008. p. 327–328. Citado na página 88.

HERMANN, T.; NEUMANN, A.; ZEHE, S. Head gesture sonification for supporting social interaction. In: ACM. *Proceedings of the 7th Audio Mostly Conference: A Conference on Interaction with Sound*. [S.l.], 2012. p. 82–89. Citado 3 vezes nas páginas 9, 41 e 42.

JAIN, D. Path-guided indoor navigation for the visually impaired using minimal building retrofitting. In: ACM. *Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility*. [S.l.], 2014. p. 225–232. Citado na página 35.

JAIN, D. Pilot evaluation of a path-guided indoor navigation system for visually impaired in a public museum. In: ACM. *Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility*. [S.l.], 2014. p. 273–274. Citado na página 35.

JOSEPH, S. L. et al. Semantic indoor navigation with a blind-user oriented augmented reality. In: IEEE. *Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2013 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2013. p. 3585–3591. Citado na página 35.

KELNER, J.; TEICHRIEB, V. Técnicas de interação para ambientes de realidade virtual e aumentada. *Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações*, p. 53, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.

KERA, M. et al. Detecção de colisão utilizando hierarquias em ferramentas de realidade virtual para treinamento médico. 2005. Citado na página 61.

KHAMBADKAR, V.; FOLMER, E. Gist: a gestural interface for remote nonvisual spatial perception. In: ACM. *Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology*. [S.l.], 2013. p. 301–310. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 37.

KHOSHELHAM, K.; ELBERINK, S. O. Accuracy and resolution of kinect depth data for indoor mapping applications. *Sensors*, Molecular Diversity Preservation International, v. 12, n. 2, p. 1437–1454, 2012. Citado na página 16.

KIRNER, C.; KIRNER, T. G. Evolução e tendências da realidade virtual e da realidade aumentada. *Livro do XIII Pré-Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada, Uberlândia*, p. 10–25, 2011. Citado na página 22.

KITCHENHAM, B. et al. Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review. *Information and software technology*, Elsevier, v. 51, n. 1, p. 7–15, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 86.

LAI, C. et al. Geometry explorer: Facilitating geometry education with virtual reality. In: SPRINGER. *International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality*. [S.l.], 2016. p. 702–713. Citado na página 19.

MACHADO, L. dos S.; CARDOSO, A. Dispositivos de entrada e saída para sistemas de realidade virtual. Editora SBC, 2006. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 26.

MAGNUSSON, C. et al. Pointing for non-visual orientation and navigation. In: ACM. *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries*. [S.l.], 2010. p. 735–738. Citado na página 32.

MAGNUSSON, C. et al. Navigating the world and learning to like it: mobility training through a pervasive game. In: ACM. *Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. [S.l.], 2011. p. 285–294. Citado na página 33.

MANSSOUR, I. H.; COHEN, M. Introdução à computação gráfica. *RITA*, v. 13, n. 2, p. 43–68, 2006. Citado na página 24.

MARTIMBIANCO, A. L. C. et al. Treinamento do equilíbrio. *Acta Ortopédica Brasileira, Efeitos da propriocepção no processo de reabilitação das fraturas de quadril*, v. 16, n. 2, 2008. Citado na página 27.

MASINI, E. F. S. A educação do portador de deficiência visual—as perspectivas do vidente e do não vidente. *Em Aberto*, v. 13, n. 60, 2008. Citado na página 27.

MILGRAM, P. et al. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICS AND PHOTONICS. *Photonics for industrial applications*. [S.l.], 1995. p. 282–292. Citado na página 22.

MONTEIRO¹, B. S. et al. Anatomia 3d: Um atlas digital baseado em realidade virtual para ensino de medicina. 2006. Citado na página 19.

MOREIRA, I. d. C. A inclusão social e a popularização da ciência e tecnologia no Brasil. *Inclusão social*, v. 1, n. 2, 2006. Citado na página 27.

MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M.; PALMERO, M. L. R. Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias 13 (mental models and conceptual models in the teaching & learning of science). *Revista Brasileira de Investigación em Educação em Ciências*, v. 2, n. 3, p. 84–96, 2002. Citado na página 17.

MOTION, L. Leap motion. *línea*. Available: <https://www.leapmotion.com/>. [Último acceso: 7 Marzo 2014], 2015. Citado na página 66.

MYERS, B. A. A brief history of human-computer interaction technology. *interactions*, ACM, New York, NY, USA, v. 5, n. 2, p. 44–54, mar. 1998. ISSN 1072-5520. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/274430.274436>>. Citado na página 16.

NANAYAKKARA, S.; SHILKROT, R.; MAES, P. EYERING: a finger-worn assistant. In: ACM. *CHI'12 extended abstracts on human factors in computing systems*. [S.l.], 2012. p. 1961–1966. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 37.

- NANAYAKKARA, S. et al. Eyering: a finger-worn input device for seamless interactions with our surroundings. In: ACM. *Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference*. [S.l.], 2013. p. 13–20. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 37.
- NETTO, A. V.; MACHADO, L. d. S.; OLIVEIRA, M. C. F. d. Realidade virtual: Definições, dispositivos e aplicações. *Tutorial. Revista Eletrônica de Iniciação Científica da SBC, II*, v. 2, 2002. Citado na página 21.
- NIINIMÄKI, M.; TAHIROGLU, K. Ahne: a novel interface for spatial interaction. In: ACM. *CHI'12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. [S.l.], 2012. p. 1031–1034. Citado na página 38.
- ONU, O. das N. U. *DECLARACAO DOS DIREITOS DAS PESSOAS DEFICIENTES*. 1975. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/dec_def.pdf>. Citado na página 19.
- ORGANIZATION, W. H. et al. *Global data on visual impairments 2010*. [S.l.: s.n.], 2012. Citado na página 19.
- OTHERS and. *Sensorama simulator*. [S.l.]: Google Patents, 1962. US Patent 3,050,870. Citado na página 21.
- PANÉELS, S. A. et al. Listen to it yourself!: evaluating usability of what's around me? for the blind. In: ACM. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. [S.l.], 2013. p. 2107–2116. Citado na página 35.
- PEREIRA, M. M. Inclusão e universidade: análise de trajetórias acadêmicas na universidade estadual do rio grande do sul. 2007. Citado na página 27.
- PINTO, M. P. *Microsoft Excel 2010*. [S.l.]: Vila Nova de Famalicão: Centro Atlântico, 2011. Citado na página 88.
- POPULACIONAL, I. C. *Rio de Janeiro: IBGE, 2010*. [S.l.]: Disponível, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 26.
- RAPOSO, N. et al. An application of mobility aids for the visually impaired. In: ACM. *Proceedings of the 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*. [S.l.], 2014. p. 180–189. Citado na página 36.
- RIBEIRO, F. et al. Auditory augmented reality: object sonification for the visually impaired. In: IEEE. *Multimedia Signal Processing (MMSP), 2012 IEEE 14th International Workshop on*. [S.l.], 2012. p. 319–324. Citado na página 34.
- RIBEIRO, F.; OLIVEIRA, J. Aging effects on joint proprioception: the role of physical activity in proprioception preservation. *European Review of Aging and Physical Activity*, Springer Science Business Media, v. 4, n. 2, p. 71–76, aug 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11556-007-0026-x>>. Citado na página 70.
- RITTERBUSCH, S.; CONSTANTINESCU, A.; KOCH, V. *Hapto-acoustic scene representation*. [S.l.]: Springer, 2012. Citado na página 39.
- RODRIGUEZ-SANCHEZ, M. et al. Accessible smartphones for blind users: A case study for a wayfinding system. *Expert Systems with Applications*, Elsevier, v. 41, n. 16, p. 7210–7222, 2014. Citado na página 36.

- SCHNEIDER, J.; STROTHOTTE, T. Constructive exploration of spatial information by blind users. In: ACM. *Proceedings of the fourth international ACM conference on Assistive technologies*. [S.l.], 2000. p. 188–192. Citado na página 32.
- SELMAN, D. *Java 3D programming*. [S.l.]: Manning Greenwich, 2002. Citado na página 66.
- SHANGGUAN, L. et al. Crossnavi: enabling real-time crossroad navigation for the blind with commodity phones. In: ACM. *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*. [S.l.], 2014. p. 787–798. Citado na página 36.
- SHNEIDERMAN, B. et al. *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. 5th. ed. USA: Addison-Wesley Publishing Company, 2009. ISBN 9780321537355. Citado na página 20.
- SOUKARAS, D. P. et al. Augmented audio reality mobile application specially designed for visually impaired people. In: IEEE. *Informatics (PCI), 2012 16th Panhellenic Conference on*. [S.l.], 2012. p. 13–18. Citado na página 34.
- TANG, T. J.; LI, W. H. An assistive eyewear prototype that interactively converts 3d object locations into spatial audio. In: ACM. *Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers*. [S.l.], 2014. p. 119–126. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 37.
- TOLIA, N.; ANDERSEN, D. G.; SATYANARAYANAN, M. Quantifying interactive user experience on thin clients. *Computer Science Department*, p. 77, 2006. Citado na página 54.
- TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOUTTO, R. A. *Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada*. [S.l.]: Editora SBC, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- TORRES, E. F.; MAZZONI, A. A. Conteúdos digitais multimídia: o foco na usabilidade e acessibilidade. *Ci. Inf., Brasília*, SciELO Brasil, v. 33, n. 2, p. 152–160, 2004. Citado na página 28.
- TORRES, E. F.; MAZZONI, A. A.; ALVES, J. d. M. A acessibilidade à informação no espaço digital. *Ciência da Informação, Brasília*, SciELO Brasil, v. 31, n. 3, p. 83–91, 2002. Citado na página 28.
- VÄÄNÄNEN-VAINIO-MATTLA, K. et al. User experience and usage scenarios of audio-tactile interaction with virtual objects in a physical environment. In: ACM. *Proceedings of the 6th International Conference on Designing Pleasurable Products and Interfaces*. [S.l.], 2013. p. 67–76. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 38.
- VERISCIMO, E. de S.; BERNARDES, J. L. 3d interaction accessible to visually impaired users: A systematic review. In: *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Nature, 2016. p. 251–260. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-40244-4_24>. Citado 3 vezes nas páginas 31, 49 e 78.
- VERISCIMO, E. de S.; BERNARDES, J. L. Autonomous identification of virtual 3d objects by visually impaired users with proprioception and audio feedback. In: *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Nature, 2016. p. 241–250. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-40244-4_23>. Citado na página 78.

VERISCIMO, E. S.; BERNARDES, J. L. A new 3d interaction technique accessible to the visually impaired. In: IEEE. *Virtual and Augmented Reality (SVR), 2015 XVII Symposium on*. [S.l.], 2015. p. 208–211. Citado na página [78](#).

VOS, J. et al. Javafx 3d. In: *Pro JavaFX 8*. [S.l.]: Springer, 2014. p. 429–490. Citado na página [66](#).

ZÖLLNER, M. et al. *NAVI—A proof-of-concept of a mobile navigational aid for visually impaired based on the microsoft kinect*. [S.l.]: Springer, 2011. Citado 2 vezes nas páginas [33](#) e [34](#).

Apêndice A – Revisão Sistemática sobre Interação 3D Acessível a Deficientes Visuais

Este apêndice apresenta os protocolos e demais documentação da condução de uma revisão sistemática sobre interação 3D acessível a pessoas com deficiência visual, baseada em diretrizes propostas por Kitchenham et al. (KITCHENHAM et al., 2009), bem como algumas estatísticas sobre os trabalhos encontrados. O Apêndice B traz links para download dos documentos gerados durante a revisão.

Diferente do processo tradicional de revisão da literatura, uma revisão sistemática tem como base uma estratégia de busca definida, voltada para minimizar as tendências e detectar o máximo de literatura relevante.

Questões de pesquisa, Busca e Seleção de trabalhos

Foram propostas as seguintes questões de pesquisa neste estudo: 1) Quais são os tipos de interação 3D acessível a pessoas com deficiência visual?; 2) Quais são os dispositivos de entrada e saída utilizados nestes tipos de interação? e 3) Como é dado o retorno ao deficiente visual durante a interação?

Com objetivo de maximizar o número de trabalhos encontrados, foram escolhidas como fontes de dados de pesquisa as bases: IEEEExplore, Biblioteca Digital ACM e SpringerLink. A *string* de busca (Tabela 6) tem como alvo encontrar trabalhos que sejam relacionados a interação tridimensional acessível a pessoas com deficiência visual.

Tabela 6 – *String* de busca para a revisão sistemática

((“Interact 3D” OR “augmented reality” OR “Ambient Intelligence” OR “virtual reality”) AND (“blind user” OR “visually impaired” OR “blind people”))

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Para selecionar os trabalhos relevantes, foram criados critérios de inclusão e exclusão com o objetivo de delimitar a escolha dos trabalhos com apoio em avaliações qualitativas relacionadas ao objetivo de pesquisa.

Os trabalhos incluídos deveriam cumprir os seguintes critérios de inclusão: 1) Trabalhos publicados e disponíveis integralmente em bases de dados científicas e 2) Serão incluídos apenas trabalhos que realizem testes com pessoas com deficiência visual ou simulando a deficiência visual. Além disso para ser incluído o trabalho não deve cumprir nenhum dos seguintes critérios de exclusão: 1) Trabalhos que apresentem interação 3D não acessível a pessoas com deficiência visual; 2) Trabalhos que apresentem apenas interação 2D, acessível ou não e 3) Trabalhos relacionados somente a outras deficiências que não a visual.

Condução da revisão sistemática

Utilizando a *string* de busca (Tabela 6) nas bases de dados científicas, foram encontradas 330 referências, sendo 210 na base da Biblioteca Digital ACM (ACM), 23 na da IEEEExplore (IEEE) e 97 no SpringerLink (Springer). Depois da leitura do título e do resumo destas referências, 181 trabalhos foram descartados.

Após a leitura dos 71 artigos restantes, 39 foram descartados por não cumprir os critérios de inclusão e exclusão. Restaram 35 artigos, que foram lidos completamente e dos quais foram coletados dados. A Figura 32 mostra detalhadamente as quantidades de referências descartadas de cada fonte científica.

Figura 32 – Processo de seleção dos trabalhos encontrados

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Terminada a leitura dos trabalhos selecionados, os seguintes dados foram extraídos de cada artigo:

- Referência;
- Nome do arquivo;
- País;
- Ano de publicação;
- Quais sentidos do deficiente visual foi utilizado;
- Tarefa;
- Dispositivo de entrada;
- Dispositivo de saída;

•Resumo.

Foram utilizadas duas ferramentas de apoio para o desenvolvimento da RS: o Mendeley Desktop 1.12.4 ([HENNING; REICHELT, 2008](#)) para registrar os detalhes sobre referências encontradas e para as etapas da revisão uma planilha do Microsoft Excel 2010 ([PINTO, 2011](#)).

Estatísticas

Dos artigos analisados a maioria foi publicado em conferências da área de Interação Homem Computador (IHC). Apesar disso é relevante observar que as buscas sobre interação 3D acessível a pessoas com deficiência visual não se limitam a esta área da Computação. Pois foram intuídos nesta revisão trabalhos de outras áreas tais como: realidade virtual e aumentada, *mobile interfaces*, inteligência artificial e robótica. A Tabela 7 apresenta os veículos de publicação,

Todos os artigos selecionados foram publicados há menos de 15 anos e foi encontrado uma crescente após o período de 2010 acreditase que anteriormente a este período havia pouca disponibilidade ou déficit de tecnologia para realizar a pesquisa, conforme apresentado na Figura 33. Na Figura 34 é apresentado uma distribuição dos trabalhos por país de origem de pesquisa, em alguns casos o artigo foi publicado com mais de um país como origem de pesquisa. Revelando que os países, Estados Unidos, Alemanha , Japão e Brasil foram os que mais publicação sobre o assunto.

Tabela 7 – Veículos de publicação

ACM Transactions on Graphics	Journal (3%)
ACM SIGGRAPH conference abstracts and applications on - SIGGRAPH CHI Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP) IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics IEEE Virtual Reality International Conference on Machine Learning and Cybernetics Panhellenic Conference on Informatics Proceedings of ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing Proceedings of the International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services Proceedings of the ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems Proceedings of the ACM International Symposium on Wearable Computers Proceedings of the annual ACM symposium on User interface software and technology Proceedings of the Audio Mostly Conference on A Conference on Interaction with Sound Proceedings of the Augmented Human International Conference Proceedings of the IFIP TC International Conference on HCI Proceedings of the international ACM conference on Assistive technologies Proceedings of the international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility Proceedings of the International Conference on Computers Helping People with Special Needs Proceedings of the International Conference on Designing Pleasurable Products and Interfaces Proceedings of the International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia - MUM Proceedings of the Nordic Conference on Human-Computer Interaction Extending Boundaries - NordiCHI Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada Virtual and Augmented Reality (SVR)	Conferências, Simpósios e WorkShop (97%)

Figura 33 – Distribuição dos artigos por ano de publicação

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Figura 34 – Distribuição dos artigos por país origem de pesquisa

Fonte: Erico de Souza Veriscimo, 2016

Apêndice B – Links de documentos

Protocolo da Revisão Sistemática

<https://www.dropbox.com/s/m5nnwg5o8nlydqu/Protocolo%20da%20Revis%C3%A3o.pdf?dl=>

Condução da Revisão Sistemática no IEEE

<https://www.dropbox.com/s/h4kj5155dgj6bqb/Conducaodarevisao%20IEEE.pdf?dl=0>

Condução da Revisão Sistemática na ACM

<https://www.dropbox.com/s/44nqd5xdlkl9it/Conducaodarevisao%20ACM.pdf?dl=0>

Condução da Revisão Sistemática no SPRINGER

<https://www.dropbox.com/s/rc2rgwh0haejs0c/ConducaodarevisaoSPRINGER.pdf?dl=0>

Resumo do Protocolo de testes submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP)

<https://www.dropbox.com/s/0mh3e0u2ptsyeu3/Protocolo-de-teste.pdf?dl=0>

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

<https://www.dropbox.com/s/m4or38cmmmplpd1/TCLE.pdf?dl=0>