



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE INFORMÁTICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

ADALBERTO PEREIRA DE SOUZA LOPES

**MAPEAMENTO DE TÉCNICAS DE INTERAÇÃO PARA CONSTRUÇÃO DE  
AMBIENTES VIRTUAIS IMERSIVOS**

Recife

2019

ADALBERTO PEREIRA DE SOUZA LOPES

**MAPEAMENTO DE TÉCNICAS DE INTERAÇÃO PARA CONSTRUÇÃO DE  
AMBIENTES VIRTUAIS IMERSIVOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Área de concentração: Mídia e Interação

Orientadora: Prof. Dr. Judith Kelner

Co-Orientador: Prof. Dr. Felipe Borba Breyer

Recife

2019

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Mariana de Souza Alves CRB4-2105

L864m Lopes, Adalberto Pereira de Souza  
Mapeamento de Técnicas de Interação para Construção de  
Ambientes Virtuais Imersivos – 2019.  
146 f., fig., tab.

Orientadora: Judith Kelner.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de  
Pernambuco. CIn, Ciência da Computação. Recife, 2019.  
Inclui referências e apêndice.

1. Mídia e Interação. 2. Realidade Virtual. 3. Ambientes  
Virtuais. 4. Head-mounted Display. I. Kelner, Judith (orientadora).  
II. Título.

006.7 CDD (22. ed.) UFPE-MEI 2019-171

**Adalberto Pereira de Souza Lopes**

**“Mapeamento de Técnicas de Interação para Construção de Ambientes Virtuais Imersivos”**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Aprovado em: 27 de agosto de 2019.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Hansenclever de França Bassani  
Centro de Informática/UFPE

---

Prof. Dr. Anthony Jose da Cunha Carneiro Lins  
Departamento de Comunicação Social / UNICAP

---

Profa. Dra. Judith Kelner  
Centro de Informática/UFPE

**(Orientadora)**

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho só foi possível graças à ajuda de muitas pessoas. Primeiramente devo agradecer à minha orientadora Judith Kelner que me deu oportunidades no campo da pesquisa, possibilitando meu desenvolvimento profissional e pessoal. Guardarei seus conselhos e orientações para o resto da minha vida.

Agradecimento especial a meu amigo Felipe Breyer por aceitar ser meu co-orientador e me incentivar durante os processos de pesquisa, implementação e testes.

Obrigado aos meus amigos Antônio e Givanio que me ajudaram a resolver problemas durante a implementação de algumas técnicas de interação. Um agradecimento especial a meu amigo João Monte que trouxe um Oculus Rift do Canadá garantindo que a presente pesquisa pudesse realizar testes com um hardware de qualidade.

Obrigado aos amigos e companheiros de trabalho dos grupos de pesquisa GRVM e GPRT que contribuíram com meu conhecimento durante os últimos 5 anos, me tornando uma pessoa mais capacitada em diversas áreas. Obrigado Silvio, Priscilla, Cleber, Saulo e Andrea por cursarem algumas das disciplinas comigo e me ajudarem nos trabalhos em grupo.

Muito obrigado ao centro de informática da UFPE, aos professores e profissionais que convivi nos últimos 2 anos. Obrigado também aos professores do IFPE e todos os educadores que fizeram parte do meu caminho.

Agradeço ao meu pai, minha mãe e minha irmã por me apoiarem e me incentivarem durante todos os anos de minha vida. Obrigado Nathália Aragão, que me motivou bastante durante o período do mestrado estando sempre ao meu lado em todos os momentos. Por fim, gostaria de agradecer aos meus primos Guilherme e Fellipe Monteiro e aos amigos que me ajudaram a eliminar o estresse e reestruturar as ideias durante os últimos 2 anos.

## RESUMO

Atualmente os Head-mounted Displays (HMDs) são amplamente comercializados e estão presentes nas casas de milhões de pessoas. Segundo levantamento publicado pela IDC e Unity, em 2017 ocorreram mais de 20 milhões de downloads de aplicativos de Realidade Virtual (RV) para Oculus Rift, Playstation VR e HTC VIVE demonstrando que existe uma grande quantidade de usuários de HMD no mundo. Algumas das aplicações encontradas no mercado de RV com HMD utilizam técnicas de interação que dificultam a resolução de tarefas do usuário. Por exemplo, é possível encontrar aplicações que utilizam técnicas de seleção com baixa precisão que provocam erros fazendo o usuário demorar para executar uma tarefa. Além disso, também é possível encontrar aplicações que utilizam técnicas de locomoção cansativas que causam fadiga no usuário ou técnicas que podem causar acidentes como quedas e colisões com objetos da casa. Esses problemas podem ocorrer pelo fato de alguns desenvolvedores não entenderem as características de cada técnica de interação e optarem por uma técnica que não é recomendada para solucionar a tarefa escolhida. Escolher a técnica de interação mais apropriada para um determinado cenário pode garantir para o usuário conforto, otimização, imersão e diversão além de adicionar qualidade para o projeto de RV desenvolvido. A presente pesquisa tem o objetivo de criar três mapas para escolha de técnicas de seleção, manipulação e locomoção visando ajudar desenvolvedores na construção de ambientes de RV imersiva. O trabalho busca fazer recomendações sobre qual é a técnica de interação mais apropriada para um determinado cenário de uso. Para criar os três modelos, foram estudados cenários que ocorrem atualmente nas aplicações de RV do mercado assim como algumas das atuais técnicas de interação presentes na literatura. A avaliação dos mapas foi feita a partir de testes comparativos entre as possíveis técnicas de cada cenário de uso. Os testes foram realizados com 25 usuários (16 homens e 9 mulheres) obtendo dados quantitativos e dados qualitativos com os feedbacks sobre percepções de uso das técnicas. Como contribuições o presente trabalho desenvolveu três mapas para escolhas de técnicas de interações e duas novas técnicas para tarefas de seleção. Mão virtual com deslocamento e ray-casting com raio X, que resolvem problemas de precisão e oclusão de objetos 3D.

**Palavras-chave:** Realidade Virtual. Ambientes Virtuais. IHC. Head-mounted Display. Técnicas de Interação.

## ABSTRACT

Head-mounted displays (HMDs) are now commonly marketed and present in the homes of millions of people. According to a survey published by IDC and Unity, in 2017 there were over 20 million downloads of Virtual Reality (VR) applications for Oculus Rift, PlayStation VR, and HTC VIVE. Some of the applications found in the VR market use interaction techniques that make it difficult to solve user tasks. For example, we can find applications that use low precision selection techniques causing user errors. We can also find applications that use exhaustive locomotion techniques that cause fatigue and other techniques that can cause accidents. These problems may occur because some developers do not understand the characteristics of each interaction technique and choose a technique not recommended for solving a task. Choosing the most convenient interaction technique for a specific scenario can guarantee user comfort, optimization, immersion, fun and add quality to the developed VR project. This research aims to create three maps for choosing a selection, manipulation, and locomotion techniques to help developers build immersive virtual environments. We have made recommendations about which interaction technique is most convenient for a specific usage scenario. To create the three models, we study scenarios and interaction techniques that occur in the market and literature. We analyze the maps using comparative tests between possible interaction techniques for each usage scenario. The test sample contained 25 users (16 men and 9 women). We got quantitative and qualitative data with feedback about a user's perceptions. The contributions of this research are three maps for choosing interaction techniques and two new selection techniques. The ray-casting technique with X-ray improvement and virtual hand technique with displacement improvement, for selection tasks that solve precision and occlusion problems.

**Keywords:** Virtual Reality. Virtual Environment. HCI. Head-mounted Display. Interaction Techniques.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Widgets para manipulação (A), planificação bidimensional para locomoção (B) e minimização de um mapa para locomoção do avatar (C). .....	18
Figura 2– Técnica que utiliza as mãos do usuário em um simulador de mecânica (A) e técnica que utiliza um raio como ferramenta para manipular um objeto (B).....	19
Figura 3– Seleção (A), Manipulação (B) e Locomoção (C).....	21
Figura 4– (A) Exemplo de CAVE e (B) HMD.....	25
Figura 5– Exemplo do HMD mobile Samsung Gear VR.....	27
Figura 6– Oculus Rift e seus componentes.....	28
Figura 7– HTC VIVE e seus componentes.....	29
Figura 8– Playstation VR e seus componentes.....	30
Figura 9– Samsung Odyssey e seus componentes. ....	31
Figura 10– A imagem da esquerda apresenta o posicionamento dos dedos no espaço físico e a imagem da direita demonstra o posicionamento correspondente no AV.....	33
Figura 11– Leap motion posicionado na frende de um Oculus Rift. ....	34
Figura 12– Kinect 2.0 da Microsoft.....	34
Figura 13– Luva Glove One. ....	35
Figura 14– Cyberith Virtualizer, esteira omnidirecional de baixa fricção. ....	36
Figura 15– Virtuix Omni, esteira de baixa fricção para RV.....	37
Figura 16– Locomoção de um usuário através da WizDish. ....	38
Figura 17– Exemplo de Mão Virtual (A) e ray-casting (B). ....	39
Figura 18– Exemplo de Mão Virtual Isomórfica utilizando Leap Motion. ....	40
Figura 19– Exemplos de técnicas de mão virtual.....	51
Figura 20– Imagem do gesto de bater as mãos.....	52
Figura 21– Aplicação que simula peso e resistência na manipulação de objetos 3D.....	54
Figura 22– Um simulador de manipulação com deformação da pele.....	55
Figura 23– Simulador de mergulho desenvolvido no artigo de Dhruv Jain et al. (2016).....	55

Figura 24– Exoesqueleto Dexmo, para criação de feedback háptico em experiências de RV. ....	56
Figura 25– Jogo de estratégia Brass Tactics. ....	57
Figura 26– Imagem do funcionamento da técnica de IDS.....	58
Figura 27– Dois cenários de uso para o teleporte do trabalho de Bozgeyikli et al. (2016): (Cima) apresenta uma quantidade elevada de obstáculos. (Baixo) apresenta curvas para demonstrar um aprimoramento em que o usuário pode escolher o direcionamento do avatar. ....	61
Figura 28– Técnica de locomoção do jogo Budget Cuts (2018).....	62
Figura 29– Pontos ao longo do caminho para controle de tropas em jogos de estratégia.....	63
Figura 30– Acidente com usuário provocado por queda. ....	64
Figura 31– Imagem de um usuário no Virtusphere. ....	65
Figura 32– Jogo Job Simulator com espaço virtual pequeno.....	66
Figura 33– Experimento realizado por Steinicke et al. (2010), a linha tracejada representa o caminho virtual e a linha curva representa o caminho físico. ....	67
Figura 34– Ambiente virtual do jogo Cosmic Wandering.....	68
Figura 35– Cenário utilizado no trabalho de Interrante et al. (2007). ....	69
Figura 36– Jogo Super island God VR (2016).....	70
Figura 37– AV do trabalho de Nilsson et al. (2013), caminho percorrido pelo usuário.....	71
Figura 38– A Figura demonstra os três estágios da interação. O usuário pode ficar parado na posição inicial, com o pé dominante para frente ou para trás. ..	73
Figura 39– Estrutura física do trabalho de John Bolton et al. (2014).....	75
Figura 40– Recorte do mapa a partir da pergunta de precisão. ....	85
Figura 41– Recorte do mapa a partir da pergunta sobre proximidade. ....	85
Figura 42– Recorte do mapa a partir da pergunta sobre quantidade de objetos. ....	86
Figura 43– Mapa completo para escolha de técnicas de seleção. ....	87
Figura 44– A imagem da esquerda demonstra mão virtual com deslocamento. A imagem da direita demonstra a técnica de mão virtual simples. ....	88
Figura 45– Técnica de raio de profundidade. ....	89
Figura 46– Comparativo antes e depois de utilizar a técnica de raio X. ....	90
Figura 47– Primeiro recorte do mapa de manipulação.....	91
Figura 48– Segundo recorte do mapa de manipulação.....	91

Figura 49– Terceiro recorte do mapa de manipulação.....	92
Figura 50– Mapa completo para escolha de técnicas de manipulação.....	93
Figura 51– Primeiro recorte do mapa de locomoção.....	93
Figura 52– Segundo recorte do mapa de locomoção.....	94
Figura 53– Terceiro recorte do mapa de locomoção.....	95
Figura 54– Quarto recorte do mapa de locomoção.....	96
Figura 55– Quinto recorte do mapa de seleção.....	97
Figura 56– Sexto recorte do mapa de locomoção.....	98
Figura 57– Mapa de locomoção.....	98
Figura 58– Cenário para seleção unitária próxima do usuário sem precisão.....	101
Figura 59– Cenário para seleção múltipla próxima do usuário sem precisão.....	101
Figura 60– Cenário para seleção unitária próxima do usuário com precisão.....	102
Figura 61– Cenário para seleção múltipla próxima do usuário com precisão.....	103
Figura 62– Cenário para seleção unitária distante do usuário sem precisão.....	104
Figura 63– Cenário para seleção múltipla distante do usuário com precisão.....	105
Figura 64– Cenário para seleção unitária distante do usuário com precisão.....	105
Figura 65– Cenário para seleção múltipla próxima do usuário sem precisão.....	106
Figura 66– Gráfico comparativo de tempos entre as técnicas de pinça e seleção por área.....	110
Figura 67– Testes cenário 3 com esferas de tamanho médio.....	111
Figura 68– Tempos de testes do cenário 3 com esferas de tamanho médio.....	112
Figura 69– Erros cenário 3 com esferas de tamanho pequeno.....	113
Figura 70– Tempos de testes do cenário 3 com esferas de tamanho pequeno.....	113
Figura 71– Erros no cenário 4 com esferas de tamanho médio.....	114
Figura 72– Tempos de testes do cenário 4 com esferas de tamanho médio.....	115
Figura 73– Erros no cenário 4 com esferas de tamanho pequeno.....	116
Figura 74– Tempos de testes do cenário 4 com esferas de tamanho pequeno.....	116
Figura 75– Tempos do cenário 6.....	118
Figura 76– Erros ray-casting e ray-casting com raio X.....	119
Figura 77– Tempos ray-casting e ray-casting com raio X.....	120
Figura 78– Tempos de Pincel e Aperture Selection.....	121

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Controles do Oculus Rift, HTC VIVE, PS VR e Samsung Odyssey.....	32
Quadro 2– Técnicas de interação encontradas no mercado.....	45
Quadro 3– Técnicas encontradas na literatura e no mercado.....	46
Quadro 4– Cenários de seleção.....	77
Quadro 5– Cenários de Manipulação.....	79
Quadro 6– Cenários de Locomoção.....	81
Quadro 7– Entrevista Semiestruturada.....	109
Quadro 8– Código da análise qualitativa.....	122
Quadro 9– Sugestões para o ray-casting com raio X.....	127
Quadro 10– Sugestões para a Mão virtual com deslocamento.....	131
Quadro 11– Aplicações do Mercado Analisadas.....	142

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Dados da Seleção Automática. ....	44
Tabela 2– Dados da Seleção Manual. ....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AV	Ambiente Virtual
FPS	Tiro em primeira pessoa (do original <i>First-Person Shooter</i> )
HMD	<i>Head-Mounted Display</i>
PSVR	Playstation Virtual Reality
RV	Realidade Virtual
WIP	<i>Walking in place</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1	MOTIVAÇÃO E PERGUNTA DE PESQUISA .....	20
1.2	OBJETIVO .....	22
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	22
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	22
<b>2</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO</b> .....	<b>24</b>
2.1	HMD E REALIDADE VIRTUAL .....	24
2.2	CYBERSICKNESS.....	25
2.3	TIPOS DE HMD .....	26
<b>2.3.1</b>	<b>Oculus Rift</b> .....	<b>27</b>
<b>2.3.2</b>	<b>HTC VIVE</b> .....	<b>28</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Playstation VR</b> .....	<b>29</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Samsung Odyssey</b> .....	<b>30</b>
2.4	TIPOS DE EQUIPAMENTOS DE INTERAÇÃO .....	31
<b>2.4.1</b>	<b>Controles para RV</b> .....	<b>31</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Controles para RV</b> .....	<b>33</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Sensores Hápticos</b> .....	<b>34</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Esteiras</b> .....	<b>35</b>
2.5	TÉCNICAS DE INTERAÇÃO PARA RV.....	38
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA E MERCADO</b> .....	<b>43</b>
3.1	SELEÇÃO TEMPORAL E <i>STRING</i> DE BUSCA .....	43
3.2	SELEÇÃO AUTOMÁTICA.....	44
3.3	SELEÇÃO MANUAL .....	44
3.4	ANÁLISE DE APLICAÇÕES RV .....	45
3.5	CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE TRABALHOS .....	46
3.6	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO DE REVISÃO DO MERCADO E LITERATURA.....	49
<b>4</b>	<b>ESTADO DA ARTE</b> .....	<b>50</b>
4.1	MÃO VIRTUAL.....	50
<b>4.1.1</b>	<b>Representação Visual do Avatar ou Apenas das Mãos</b> .....	<b>51</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Mão Virtual para Tarefas de Seleção</b> .....	<b>52</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Mão Virtual para Tarefas de Manipulação</b> .....	<b>53</b>

4.1.4	<b>Trabalhos com Feedback Hápticos nas Mãos</b> .....	53
4.1.5	<b>Mão Virtual para Locomoção</b> .....	56
4.2	IDS: INTENT DRIVEN SELECTION (SELEÇÃO BASEADA NA INTENÇÃO) .....	57
4.3	<i>RAY-CASTING</i> .....	59
4.3.1	<b>Seleção Utilizando <i>Ray-Casting</i></b> .....	59
4.3.2	<b>Teleporte</b> .....	60
4.4	PONTOS AO LONGO DO CAMINHO.....	62
4.5	FLASHLIGHT E APERTURE SELECTION .....	63
4.6	CAMINHADA.....	64
4.7	CAMINHADA REDIRECIONADA.....	66
4.8	CAMINHADA ESCALONADA .....	68
4.9	<i>WALKING IN PLACE E ARM SWING</i> .....	70
4.10	TÉCNICA DE CONTROLE DE ESTEIRA COM O PÉ .....	72
4.11	JOYSTICK.....	73
4.12	BICICLETA.....	74
4.13	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO DE ESTADO DA ARTE .....	75
5	<b>SELEÇÃO DE TÉCNICAS DE INTERAÇÃO</b> .....	77
5.1	CENÁRIOS DE SELEÇÃO.....	77
5.2	CENÁRIOS DE MANIPULAÇÃO .....	79
5.3	CENÁRIOS DE LOCOMOÇÃO.....	80
5.4	CRIAÇÃO DOS MAPAS.....	83
5.4.1	<b>Perguntas-Chave Para Construção Do Mapa De Seleção</b> .....	84
5.5	TÉCNICAS DE INTERAÇÃO DESENVOLVIDAS .....	87
5.5.1	<b>Mão Virtual com Deslocamento</b> .....	87
5.5.2	<b><i>Ray-Casting</i> com Raio X</b> .....	89
5.6	DESCRIÇÃO DO MAPA PARA ESCOLHA DE TÉCNICAS DE MANIPULAÇÃO.....	90
5.7	DESCRIÇÃO DO MAPA PARA ESCOLHA DE TÉCNICAS DE LOCOMOÇÃO .....	93
5.8	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO DE SELEÇÃO DAS TÉCNICAS DE INTERAÇÃO .....	99
6	<b>METODOLOGIA DE TESTES DOS MAPAS</b> .....	100

6.1	CENÁRIO 1: SELEÇÃO UNITÁRIA PRÓXIMA DO USUÁRIO SEM NECESSIDADE DE PRECISÃO .....	100
6.2	CENÁRIO 2: SELEÇÃO MÚLTIPLA PRÓXIMA DO USUÁRIO SEM NECESSIDADE DE PRECISÃO .....	101
6.3	CENÁRIO 3: SELEÇÃO UNITÁRIA PRÓXIMA DO USUÁRIO COM NECESSIDADE DE PRECISÃO .....	102
6.4	CENÁRIO 4: SELEÇÃO MÚLTIPLA PRÓXIMA DO USUÁRIO COM NECESSIDADE DE PRECISÃO .....	102
6.5	CENÁRIO 5: SELEÇÃO UNITÁRIA DISTANTE DO USUÁRIO SEM NECESSIDADE DE PRECISÃO .....	103
6.6	CENÁRIO 6: SELEÇÃO MÚLTIPLA DISTANTE DO USUÁRIO COM NECESSIDADE DE PRECISÃO .....	104
6.7	CENÁRIO 7: SELEÇÃO UNITÁRIA DISTANTE DO USUÁRIO COM NECESSIDADE DE PRECISÃO .....	105
6.8	CENÁRIO 8: SELEÇÃO MÚLTIPLA DISTANTE DO USUÁRIO SEM NECESSIDADE DE PRECISÃO .....	106
6.9	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO DE METODOLOGIA DE TESTES DOS MAPAS.....	106
<b>7</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>108</b>
7.1	ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA .....	108
7.2	ANÁLISE DOS TESTES COM USUÁRIOS .....	109
<b>7.2.1</b>	<b>Análise dos Testes no Cenário 2: Seleção Múltipla Próxima do Usuário sem Necessidade de Precisão.....</b>	<b>109</b>
<b>7.2.2</b>	<b>Análise dos Testes no Cenário 3: Seleção Unitária Próxima do Usuário com Necessidade de Precisão .....</b>	<b>110</b>
<b>7.2.3</b>	<b>Análise dos Testes no Cenário 4: Seleção Múltipla Próxima do Usuário com Necessidade de Precisão .....</b>	<b>114</b>
<b>7.2.4</b>	<b>Análise dos Testes no Cenário 6: Seleção Múltipla Distante do Usuário com Necessidade de Precisão .....</b>	<b>117</b>
<b>7.2.5</b>	<b>Análise dos Testes no Cenário 7: Seleção Unitária Distante do Usuário com Necessidade de Precisão .....</b>	<b>119</b>
<b>7.2.6</b>	<b>Análise dos Testes no Cenário 8: Seleção Múltipla distante do Usuário sem Necessidade de Precisão.....</b>	<b>121</b>
7.3	ANÁLISE QUALITATIVA DAS TÉCNICAS DE INTERAÇÃO.....	122

7.4	ANÁLISE QUALITATIVA DA APERTURE SELECTION .....	123
7.4.1	<b>Os Benefícios da Aperture Selection .....</b>	<b>123</b>
7.4.2	<b>As Dificuldades da Aperture Selection .....</b>	<b>124</b>
7.5	ANÁLISE QUALITATIVA DA TÉCNICA DE <i>RAY-CASTING</i> COM RAIO X.....	125
7.5.1	<b>Benefícios de Utilizar o <i>Ray-casting</i> com Raio X.....</b>	<b>125</b>
7.5.2	<b>Dificuldades do Raio X .....</b>	<b>126</b>
7.5.3	<b>Sugestões para o Ray-casting com Raio X.....</b>	<b>127</b>
7.6	ANÁLISE QUALITATIVA DA TÉCNICA DE MÃO VIRTUAL COM DESLOCAMENTO.....	128
7.6.1	<b>Benefícios da Mão virtual com Deslocamento .....</b>	<b>128</b>
7.6.2	<b>Dificuldades da Mão virtual com Deslocamento .....</b>	<b>129</b>
7.6.3	<b>Sugestões para Mão Virtual com Deslocamento .....</b>	<b>131</b>
8	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>132</b>
8.1	SOBRE A METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO MAPA DE SELEÇÃO .....	132
8.2	AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DESENVOLVIDAS .....	133
8.3	TRABALHOS FUTUROS .....	133
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>135</b>
	<b>APÊNDICE A – APLICAÇÕES ANALISADAS .....</b>	<b>142</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O primeiro registro de *Head-Mounted Display* (HMD) da história ocorreu em 1965. Ivan Sutherland (Sutherland, 1965) desenvolveu visualização para uma plataforma de computação de experiências interativas com realidade simulada e análise visual de dados. Foi Sutherland o responsável por criar a interação de mapear a movimentação do HMD, uma das primeiras interações 3D da história.

As primeiras experiências de Realidade Virtual (RV) com HMD foram focadas na indústria, treinamento militar, treinamento médico e pesquisas universitárias, não sendo acessíveis para toda a sociedade. A partir dos anos 90, diversas empresas de entretenimento como Atari e Nintendo começaram a investir em protótipos de RV, visando aumentar a popularidade dos HMDs. Entretanto, por apresentarem tecnologias desconfortáveis, problemas de design, altas taxas de latência e alto custo, se tornaram produtos pouco comercializados e foram descontinuados.

A partir da década de 2010 os HMDs começaram a ser aprimorados na indústria e laboratórios de pesquisa, pois começaram a utilizar tecnologias de baixa latência que geravam o mínimo desconforto possível e soluções de design que diminuam o peso do produto final. Em 2012 o Oculus Rift ficou conhecido, após uma campanha bem-sucedida no *kickstarter* que prometia um HMD acessível, fácil de usar e com taxas de latência aceitáveis para os usuários.

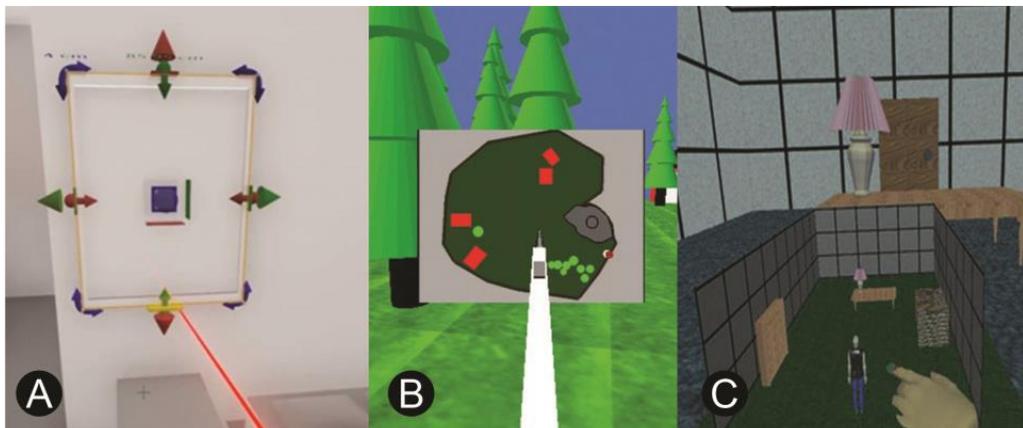
Atualmente os HMDs são amplamente comercializados e estão presentes nas casas das pessoas. Segundo levantamento publicado pela IDC e Unity (L. Ward e Unity, 2018), em 2017 ocorreram mais de 20 milhões de vendas de aplicativos ou jogos de RV para as plataformas Oculus Rift, Playstation VR e HTC VIVE, demonstrando que existe uma grande quantidade de usuários de HMD no mundo.

Pode-se encontrar no mercado experiências de caráter imersivo de diversas áreas da sociedade, como entretenimento, simulação industrial, arquitetura, arte e medicina. Segundo Slater e Wilbur (1997), o principal objetivo da tecnologia de RV é recriar a sensação de presença para os usuários. Por isso, mergulha-os em um Ambiente Virtual (AV) para que suponham estar em um mundo considerado “real”. Para se sentir presente no ambiente, um usuário busca interagir com objetos ou cenários tridimensionais e completar tarefas através do uso de técnicas de interação propostas por desenvolvedores.

Segundo Bowman et al. (2004), uma técnica de interação é um método que permite um usuário completar uma tarefa através de uma interface de usuário. Envolve o uso de hardware de entrada e saída, assim como softwares computacionais. A técnica de interação pode mapear a informação que vem do dispositivo de entrada para uma ação dentro do sistema e o sistema gera para o usuário informações em dispositivos de saída. Em RV, essas informações podem ser visuais, sonoras ou hápticas.

A presente pesquisa investiga técnicas 3D de interação direta, ou seja, técnicas que possibilitem contato entre o usuário e os cenários ou objetos 3D. Nesta pesquisa não serão utilizadas técnicas de interação indireta, porque técnicas desse tipo podem diminuir a imersão do usuário, fazendo com que ele só possa interagir com o ambiente através de um objeto ou componente intermediário. Como exemplo de técnicas indiretas pode-se citar as técnicas de *widgets*, planificações bidimensionais e minimizações do AV (Figura 1).

**Figura 1 – *Widgets* para manipulação (A), planificação bidimensional para locomoção (B) e minimização de um mapa para locomoção do avatar (C).**



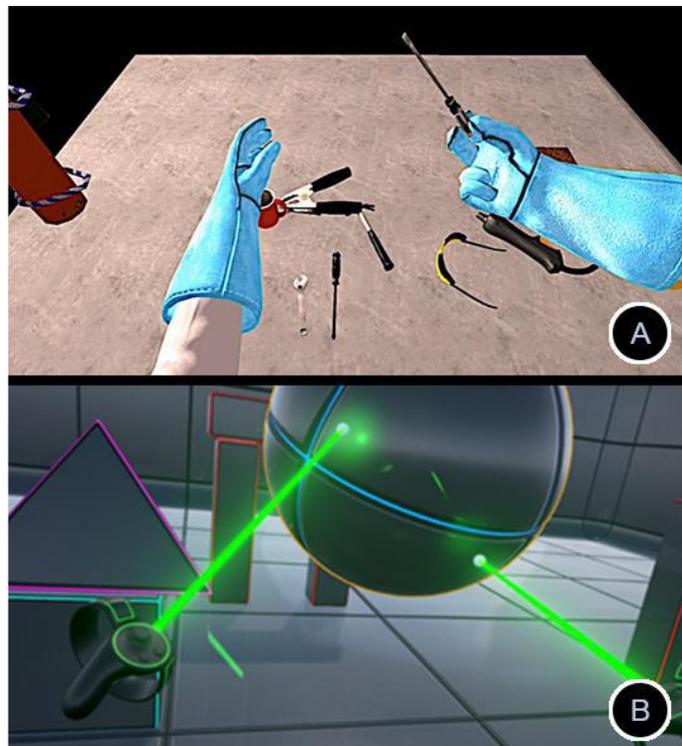
Fonte: (A) PRÓPRIO AUTOR (2019), (B e C) LAVIOLA ET AL. (2017).

Na técnica de *widgets* o usuário manipula um objeto a partir de componentes visuais, sem tocar diretamente no objeto desejado (Figura 1(A)). Em planificações bidimensionais os usuários se locomovem ou manipulam objetos utilizando clicks em mapas bidimensionais, diminuindo a imersão do usuário (Figura 1(B)). Em técnicas de minimização, o usuário tem o objetivo de se locomover ou manipular coisas indiretamente dentro do AV, através de miniaturas do próprio avatar ou objetos do cenário como representado na Figura 1(C).

Segundo LaViola et al. (2017), técnicas indiretas podem ser usadas em casos que o usuário não necessite se movimentar até o local do objeto de interação e também são recomendadas para evitar problemas de oclusão, como por exemplo, quando os dedos do usuário ficam na frente do objeto de interação. Entretanto, técnicas indiretas podem restringir manipulações, reduzindo graus de liberdade e podendo diminuir assim a imersão do usuário.

Em contraponto, técnicas de interação direta possibilitam total envolvimento entre o usuário e objetos virtuais. Segundo Jerald (2016), a interação mais direta possível ocorre quando existe contato direto entre objetos virtuais e o corpo do avatar do usuário, como na Figura 2(A) em que o usuário manipula diretamente ferramentas em um simulador de mecânica. Entretanto, técnicas de interação que utilizam ferramentas, como na Figura 2(B), também podem ser consideradas técnicas de interação direta, pois o usuário entende a ferramenta como a extensão de seu corpo em vez de entender como um objeto intermediário.

**Figura 2 – Técnica que utiliza as mãos do usuário em um simulador de mecânica (A) e técnica que utiliza um raio como ferramenta para manipular um objeto (B).**



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

As técnicas de interação, quando bem projetadas, permitem que usuários

alcancem seus objetivos e se relacionem com o AV de forma intuitiva, proporcionando experiências que não causem problemas ou frustrações como por exemplo cansaço físico, ou enjoo em tarefas de locomoção e falta de precisão em tarefas de seleção. Cabe aos desenvolvedores aceitarem o desafio de criar experiências de RV com interfaces entre usuário e AV que possibilitem atingir os objetivos do sistema de forma eficaz e eficiente.

## 1.1 MOTIVAÇÃO E PERGUNTA DE PESQUISA

Atualmente, é possível encontrar no mercado aplicações de RV que utilizam interações que podem dificultar a resolução de tarefas do usuário. Essas aplicações podem ocorrer em experiências sérias, como por exemplo simuladores de ambiente hospitalar, ou em aplicações de entretenimento, como por exemplo jogos. Problemas de escolhas de técnicas de interação podem ocorrer pelo fato de desenvolvedores não entenderem as características de cada técnica e optarem por uma interação que não é recomendada para solucionar a tarefa escolhida. Por exemplo, existem algumas aplicações do mercado de entretenimento que apresentam AVs de grande escala e utilizam técnicas que podem causar cansaço muscular e desmotivação no usuário. Além disso, também é possível encontrar aplicações que tenham problemas de seleção, como por exemplo, falta de precisão em simuladores cirúrgicos, que pode provocar a seleção de locais errados ou a não seleção de um órgão específico.

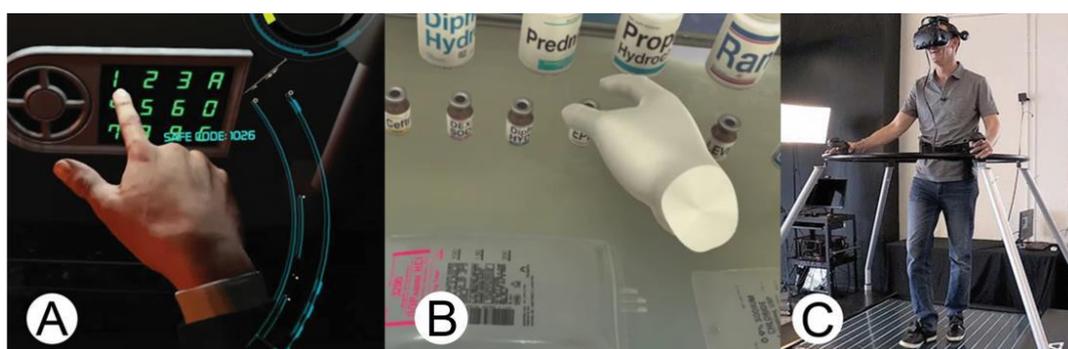
Esta pesquisa busca responder a seguinte pergunta: “Atualmente, quais técnicas de interação são mais recomendadas para resolução de tarefas de seleção, manipulação e locomoção em RV?”. No presente trabalho serão levantados dados para compreender melhor a questão, em busca de solucionar problemas sobre escolhas de técnicas de interação para construção de AVs imersivos.

Escolher a técnica de interação mais apropriada para um determinado cenário de uso pode garantir para o usuário conforto, otimização, imersão e diversão, além de adicionar qualidade para o projeto de RV desenvolvido. A presente pesquisa utiliza o termo “cenário de uso” para descrever um ambiente que possui tarefas específicas que serão realizadas por usuários. Como exemplo de cenário de uso, pode-se citar o cenário onde o usuário precisa utilizar uma técnica de interação para

realizar a tarefa de manipular um objeto virtual que está ao alcance de suas mãos.

Atualmente o mercado e a literatura apresentam uma vasta quantidade de técnicas de interação que funcionam para realização de tarefas de seleção, manipulação e locomoção (Figura 3). Ter uma grande quantidade de técnicas disponíveis para implementação pode ajudar os desenvolvedores, mas também pode causar escolhas equivocadas no momento do desenvolvimento de um projeto. Essas decisões erradas podem ocorrer por falta de conhecimento específico sobre as funcionalidades de cada técnica de interação ou qual o melhor cenário de uso indicado para uma técnica específica. Por exemplo, um desenvolvedor pode escolher uma técnica de seleção que seja indicada para longa distância quando o AV tem proposta de seleções próximas ao usuário, podendo causar erros de seleção e diminuir a qualidade da aplicação desenvolvida.

**Figura 3 – Seleção (A), Manipulação (B) e Locomoção (C).**



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Portanto, a principal motivação desta pesquisa é evitar problemas no desenvolvimento de AVs através da criação de mapas de recomendações de técnicas de interação para ajudar desenvolvedores da indústria de RV a conhecer os cenários de uso recomendados para cada técnica. Criar mapas de recomendações pode ajudar os designers e programadores na seleção de uma técnica específica para o cenário demandado, pois evitaria a realização de testes comparativos no processo de desenvolvimento. Além disso, as divisões do mapa também poderiam ajudar na idealização e construção de novas técnicas para os cenários de uso que necessitem de técnicas de interação específicas. Como exemplo de cenário de uso necessitado de uma nova técnica de interação, pode-se citar o cenário de objetos enfileirados que estão distantes do usuário. Na presente pesquisa foi identificado que técnicas de apontamento podem provocar problemas de oclusão em cenários

nos quais os objetos estão distantes do usuário e organizados de forma enfileirada, demandando a criação de novas técnicas.

## 1.2 OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é criar mapas para auxiliar na escolha da melhor técnica de interação de seleção, manipulação e locomoção para resolução de tarefas em AVs imersivos. A pesquisa também almeja avaliar se as técnicas escolhidas para os mapas funcionam nos cenários propostos, a partir de testes com usuários gerando dados quantitativos e qualitativos. Esta pesquisa será embasada em conceitos e análises das atuais técnicas de interação e tecnologias para RV encontradas na literatura e no mercado.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Propor três mapas de recomendações para escolha de técnicas de interação em AVs imersivos: Mapas de Seleção, Manipulação e Locomoção.
- Contribuir com um mapeamento sobre as características das principais técnicas de interação utilizadas em AVs presentes no mercado e literatura.
- Criar Técnicas de interação para cenários do mercado ou literatura que apresentem necessidade de novas técnicas.

## 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho foi estruturado da seguinte forma, além desse capítulo de introdução:

- Contextualização, com conceitos de RV, tipos de equipamentos de interação e conceitos de técnicas de interação para RV, descritos no Capítulo 2.
- Revisão da literatura e mercado, com detalhamento do processo da revisão e resultados, presentes no Capítulo 3.

- Estado da Arte com características das técnicas de interação encontradas na revisão da literatura e mercado, descritos no Capítulo 4.
- Seleção das técnicas de interação, definição dos cenários, construção dos mapas para escolha de técnicas e construção de duas novas técnicas de seleção para RV, presentes no Capítulo 5.
- Metodologia de testes dos mapas, com descrição dos cenários de uso elaborados, presentes no Capítulo 6.
- Resultados Quantitativos e Qualitativos, resultados dos testes com os usuários, entrevistas e codificação, apresentados no Capítulo 7.
- Conclusão e trabalhos futuros finalizam a presente dissertação no Capítulo 8.

## 2 CONTEXTUALIZAÇÃO

Nas próximas seções serão apresentados conceitos necessários para o entendimento da dissertação, abrangendo os temas HMD, RV, *cybersickness*, equipamentos de interação e técnicas de interação.

### 2.1 HMD E REALIDADE VIRTUAL

A maioria das pessoas enxerga o mundo com os dois olhos, e cada olho vê uma imagem relativamente diferente. A fusão das imagens de cada olho fornece uma noção de profundidade, apresentando uma única imagem estereoscópica. Este efeito é referido como estereoscopia. Assim como a visão humana, os HMDs apresentam sistemas de estereoscopia. O computador renderiza as imagens de cada um dos olhos e possibilita que o usuário visualize o AV de forma tridimensional.

Um HMD é um dispositivo de visualização estereoscópica que possibilita experiências de RV imersiva. Ele é formado por uma tela encaixada em um capacete ou mecanismo de fixação, que pode ser posicionada na cabeça do usuário. O HMD (Figura 4. B) é formado por um display para visualização e lentes de convergência que possibilitam a visão focada de uma tela próxima aos olhos humanos. A tela do HMD duplica uma imagem gerada computacionalmente, simulando a visão de cada olho e tornando o AV estereoscópico. Os HMDs também podem ter sensores de movimentação como giroscópio e acelerômetro que garantem as informações de orientação tridimensional de entrada para que o usuário possa mover a cabeça e ter a mesma movimentação visual dentro do AV.

Como já foi citado anteriormente, o primeiro registro de HMD da história ocorreu em 1965 (Sutherland, 1965). Atualmente com a evolução das tecnologias computacionais esses dispositivos estereoscópicos além de apresentarem avanços na qualidade visual e latência reduzida, também possibilitaram o uso de diversos dispositivos de interação como, controles para RV, luva de dados, sensores baseados em câmera para mapear partes do corpo, e respostas hápticas.

A RV imersiva se caracteriza pelo uso de HMD (Figura 4.B) como hardware principal. Diferente de dispositivos de RV não imersiva como por exemplo CAVE (Figura 4.A), o HMD não permite que o usuário visualize qualquer objeto/indivíduo

presente no mundo físico, tornando a experiência visual totalmente imersiva. Além de visualização, um AV permite que o usuário utilize técnicas de interação que agreguem o uso de mais sentidos, como mão virtual, caminhada, som tridimensional, entre outras possibilidades, que podem ser implementadas pelo desenvolvedor.

**Figura 4 – (A) Exemplo de CAVE e (B) HMD.**



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

## 2.2 CYBERSICKNESS

A *cybersickness* é um tipo de enjoo que acontece com alguns usuários de RV e que pode causar os sintomas de náuseas, tontura e tensão ocular. Segundo o trabalho de Davis et al. (2014) a *cybersickness* apresenta sintomas semelhantes a outros dois tipos de enjoo, o enjoo de movimento e o enjoo de simulador. Apesar de apresentarem sintomas semelhantes, os três problemas citados acontecem por causas diferentes.

O enjoo de movimento apresenta sintomas de náusea, tonturas e vômitos que podem ocorrer enquanto uma pessoa viaja dentro de veículos em movimento, em cadeira giratória ou até mesmo em um balanço de parque de diversões. O problema acontece por causa de um conflito sensorial entre o aparelho vestibular e a visão. O corpo está parado, mas tudo em volta está em movimento fazendo com que as informações não cheguem corretamente ao cérebro, causando desconforto. Até os astronautas podem sofrer problemas de enjoo de movimento, que também é denominado “síndrome da adaptação espacial”.

O enjoo de simulador foi encontrado pela primeira vez quando pilotos foram submetidos a treinamento prolongado em simuladores de voo. Esses simuladores mapeiam movimentos virtuais do usuário para gerar movimentos reais na plataforma

de simulação. A discrepância entre o movimento do simulador e o do veículo virtual leva o usuário à condição de enjoo de simulador. Os sintomas desse problema são sonolência, desorientação, fadiga, vômito e desconforto.

Diferente dos outros dois tipos de enjoo citados, a *cybersickness* ocorre apenas em experiências de RV. Os usuários visualizam estar se movendo no AV, enquanto permanecem parados no ambiente físico. A combinação entre estar com o corpo parado enquanto visualiza movimento dentro da experiência de RV causa a *cybersickness*. Segundo Davis et al. (2014), apesar de ter sintomas semelhantes, a *cybersickness* pode apresentar sintomas em níveis mais fortes do que os de enjoo de movimento e de simulador.

Para evitar problemas de *cybersickness* os desenvolvedores de AVs podem optar por técnicas de interação de locomoção natural ou técnicas baseadas em teleporte, que são técnicas confortáveis. Em contraponto, técnicas baseadas em joystick ou *trackpad* podem causar enjoo em algumas pessoas, pois o usuário permanece parado enquanto visualiza movimento, causando conflito entre o aparelho vestibular e a visão.

### 2.3 TIPOS DE HMD

O objetivo da presente seção é apresentar uma visão geral sobre os diferentes dispositivos de HMD presentes no mercado de RV. Podem-se encontrar dois tipos de abordagens para HMDs, as que necessitam de um computador para renderizar o AV e as que podem ser considerados “mobiles” pois já tem algum mecanismo computacional para gerar o AV. Como exemplo de HMD mobile pode-se citar o Google Cardboard e o Samsung Gear VR (Figura 5), que utilizam um smartphone como hardware, tirando proveito de componentes como giroscópio e acelerômetro.

Em 2019 a Oculus lançou o HMD Oculus Quest, que apresenta um HMD com equipamentos computacionais capazes de renderizar AVs sem necessitar de um computador. Ele possui todos os dispositivos de interação do Oculus Rift, mas pode ser usado de forma portátil com uma bateria que dura até 3 horas.

Experiências mobile são muito frequentes para introdução de usuários na RV, porque é a forma mais econômica de utilizar aplicações imersivas.

**Figura 5 – Exemplo do HMD mobile Samsung Gear VR.**



Fonte: SAMSUNG GEAR VR (2019).

Na presente dissertação serão apresentados como exemplos de modelos que necessitam de um computador ou plataforma para funcionar, os HMDs Oculus Rift, HTC VIVE, PlayStation VR e Samsung Odssey.

### **2.3.1 Oculus Rift**

A primeira versão comercial do Oculus Rift foi lançada em março de 2016. Ela possui um kit com um HMD, sensores para rastreamento dos usuários, controles para interação de RV, microfone e fone. Dentro do HMD existem três sensores de giroscópio, três acelerômetros e três magnetômetros. O Oculus Rift também apresenta dois displays OLED integrados, lentes ópticas para campo de visão de 110° graus na horizontal, com resolução de 2160 por 1200 pixels, sendo, 1080 por 1200 pixels para cada olho. A frequência de atualização do display é de 90 Hz. O HMD também apresenta uma saída USB 3.0 e uma HDMI para serem conectadas na placa mãe e na placa de vídeo do computador. Para rastrear as posições do HMD e dos controles, o Oculus Rift tem sensores de rastreamento, como podem ser vistos na Figura 6. Eles funcionam através da emissão de luz infravermelha, podendo identificar os controles e o HMD.

Segundo o site do fabricante, as configurações computacionais mínimas para utilizar um Oculus Rift são:

- Processador Intel I3 6100 ou superior
- Placa de Vídeo Nvidia GeForce GTX 1050 Ti ou superior
- 8 GB de Memória RAM
- Saída de Vídeo compatível com HDMI 1.3.

Figura 6 – Oculus Rift e seus componentes.



Fonte: OCULUS RIFT (2019).

### 2.3.2 HTC VIVE

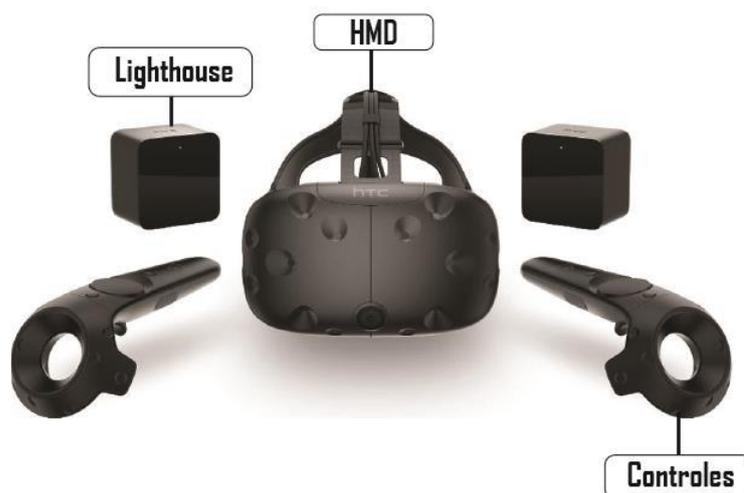
A primeira versão comercial do HTC VIVE foi lançada em setembro de 2016. Ele apresenta taxas de atualização de 90Hz, campo visual de 110° na horizontal e oferece uma resolução de 2160 por 1440, garantindo para o usuário 1080 por 1440 para cada olho. Um ponto interessante do HTC VIVE é o seu sistema de sensores de rastreamento para navegação, chamado de Lighthouse (Figura 7). Ele permite movimentação natural dentro de um ambiente físico de 5x5 metros e cria pontos de referência para que o HMD e os controles saibam suas posições no ambiente. O Lighthouse ilumina o ambiente com LED infravermelho, gerando um laser que percorre o local na direção horizontal e outro na vertical.

Segundo o site do fabricante, a configuração computacional mínima para utilizar um HTC VIVE é:

- Processador Intel i5-4590

- Placa de Vídeo Nvidia GeForce GTX 970, AMD Radeon R9 290
- 4GB de memória RAM
- Saída de vídeo HDMI 1.4, displayport 1.2 ou mais recente.

Figura 7 – HTC VIVE e seus componentes.



Fonte: HTC VIVE (2019).

### 2.3.3 Playstation VR

Playstation VR (PSVR), Figura 8, foi lançado em outubro de 2016 com o objetivo de criar experiências de RV sem que o usuário necessitasse comprar equipamentos de processamento robustos, apenas utilizando o próprio console da Sony, o Playstation 4. Por exemplo, no Brasil é necessário gastar entre 7 e 10 mil reais para poder utilizar um Oculus Rift com um hardware recomendado, dificultando que a tecnologia possa ser utilizada por muitas pessoas. Por ser mais barato e ter como hardware de renderização um PS4, o PS VR tem menos qualidade visual quando comparado com os outros HMDs citados. O seu display é de *Full RGB*, com resolução de 960x1060 para cada olho, 100° de campo de visão na horizontal, taxa de quadros de 90Hz podendo chegar até 120Hz e possui sensores de rastreamento baseados na câmera do PS4 que captura o posicionamento da cabeça e dos controles. O PSVR foi considerado pela revista Times como a melhor invenção do ano de 2016, pois é uma solução de RV com um bom custo benefício, precisando apenas de um PS4 como hardware de processamento.

**Figura 8 – Playstation VR e seus componentes.**

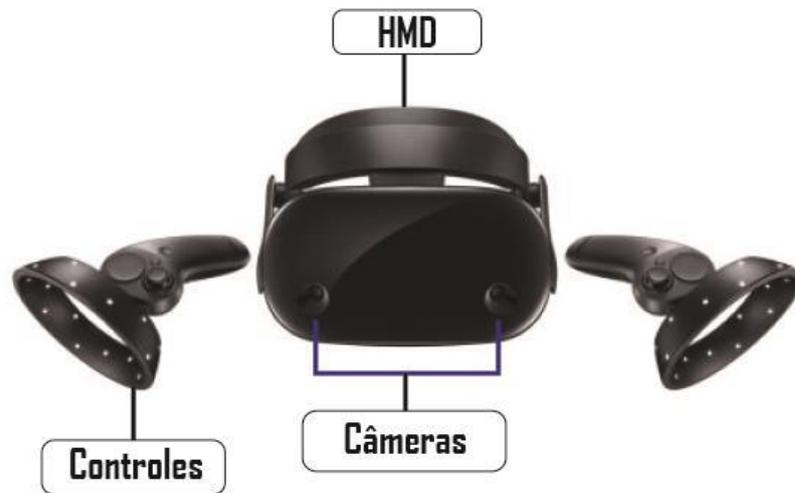


Fonte: PLAYSTATION NETWORK (2019).

#### **2.3.4 Samsung Odyssey**

O Samsung Odyssey (Figura 9) foi lançado em novembro de 2017, possui dois displays AMOLED, taxa de atualização de 90 Hz por segundo, 110° de campo de visão na horizontal e resolução de 1440 por 1600 pixels por olho. Além de poder ser usado em aplicações de RV, o Samsung Odyssey também pode ser utilizado em aplicações de realidade mista pois possui câmera frontal. O principal diferencial desse HMD para os outros concorrentes é o fato de os sensores de rastreamento serem acoplados no próprio display. Os sensores do Samsung Odyssey ficam posicionados na parte frontal do HMD (Figura 9) conseguindo assim, capturar o posicionamento dos controles, diminuir a quantidade de cabos e evitar a etapa de calibração do ambiente.

Figura 9 – Samsung Odyssey e seus componentes.



Fonte: SAMSUNG ODYSSEY (2019).

## 2.4 TIPOS DE EQUIPAMENTOS DE INTERAÇÃO

Para interagir com os HMDs pode-se utilizar dispositivos de interação como controles, sensores de rastreamento dos HMDs, sensores hápticos, e capturadores de movimento.

### 2.4.1 Controles para RV

As interações virtuais de manipulação e seleção através de visualização das mãos, podem funcionar através de controles de RV. A maioria dos controles para RV do tipo não apresentam todos os graus de liberdade de uma mão real, pois baseiam-se no posicionamento apenas da mão do usuário sem conseguir identificar a movimentação dos dedos. Atualmente grande parte das aplicações existentes no mercado tem suporte para controles de RV. A manipulação e seleção com esse tipo de controle acontece utilizando os gatilhos para fechar ou abrir as mãos. As características de alguns controles de RV do mercado estão descritas no Quadro 1.

**Quadro 1 – Controles do Oculus Rift, HTC VIVE, PS VR e Samsung Odyssey.**

<b>Controles de RV Imersiva</b>	<b>Números de botões</b>	<b>Sensores para gestos dos dedos</b>
Oculus Rift	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 botões de jogo</li> <li>• 1 botão para configurações</li> <li>• 2 gatilhos</li> <li>• 1 analógico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor de fechamento do polegar</li> <li>• Gatilho com sensor de fechamento do indicador</li> <li>• Gatilho com sensor de fechamento para os outros três dedos da mão</li> </ul>
HTC VIVE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 gatilho</li> <li>• 1 trackpad</li> <li>• 1 botão de pega</li> <li>• 2 botões de configuração</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gatilho para fechar a mão por completo</li> <li>• Sensor/Botão para saber se o usuário está segurando ou não o objeto</li> </ul>
PS Move	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 botões de jogo</li> <li>• 2 botões de configurações</li> <li>• 1 trackpad</li> <li>• 1 gatilho</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gatilho para fechar a mão por completo</li> </ul>
Samsung Odyssey	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 botão de menu</li> <li>• 1 botão de configuração</li> <li>• 1 botão de windows</li> <li>• 2 gatilhos</li> <li>• 2 botões de pega</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botão de pega para abrir e fechar as mãos</li> </ul>

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

As formas de interação e as quantidades de botões dos controles são bem parecidas, mas o controle do Oculus Rift apresenta uma diferença em relação aos outros. Ele tem uma função que posiciona os dedos da mão do usuário no mundo virtual através de sensores para o posicionamento do polegar e dos outros dedos da mão. Um sensor recebe informações sobre o polegar, um gatilho identifica o posicionamento do dedo indicador e o outro identifica o posicionamento dos outros

três dedos. Os gatilhos conseguem perceber se o usuário está com os dedos fechados, semiabertos ou totalmente abertos através do uso de sensores. O feedback do controle do Oculus Rift (Figura 7) aumentando a imersão do usuário no AV e apresenta uma abordagem diferente dos outros controles do mercado.

**Figura 10 – A imagem da esquerda apresenta o posicionamento dos dedos no espaço físico e a imagem da direita demonstra o posicionamento correspondente no AV.**



Fonte: OCULUS RIFT (2019).

#### **2.4.2 Controles para RV**

Existem sensores que podem rastrear os movimentos do corpo ou parte do corpo do usuário. Pode-se exemplificar esses sensores com o Leap Motion e o Kinect. O Leap Motion é um dispositivo de interação natural que permite capturar os movimentos da mão do usuário. Ele pode ser posicionado na frente de um HMD (Figura 11), possibilitando o rastreamento das mãos em uma área com angulação de 180° a uma distância de até 1 metro. O Leap Motion é ideal para situações onde as interações necessitem de um alto nível de fidelidade, como por exemplo em simulações.

O hardware do dispositivo funciona a partir de duas câmeras e três LEDs infravermelho. A principal dificuldade em utilizar o Leap Motion para experiências VR é o fato de que o dispositivo funciona a partir de cabo USB, dificultando assim a movimentação do usuário quando o AV demanda navegação natural. Outro problema que também pode acontecer é a perda de rastreamento quando as mãos do usuário saem do campo de visualização de até 180°.

**Figura 11 – Leap motion posicionado na frende de um Oculus Rift.**



Fonte: LEAP MOTION VR (2019).

O Kinect (Figura 12) é um dispositivo de rastreamento criado pela Microsoft que permite experiências corporais em ambientes de RV. Assim como o Leap Motion, o dispositivo funciona a partir de sensores infravermelho com câmeras monocromáticas, que possibilitam capturar movimentos com diferentes tipos de iluminação do ambiente. O Kinect tem a capacidade de identificar frequência cardíaca, expressões faciais, articulações do corpo e posicionamento. Originalmente ele não foi desenvolvido para RV imersiva, e não são encontradas aplicações no mercado que utilizem interações com esse tipo de dispositivo, mas na literatura pode-se encontrar trabalhos que utilizaram Kinect em experiências imersivas de rastreamento das mãos ou posicionamento dos usuários.

**Figura 12 – Kinect 2.0 da Microsoft.**



Fonte: MICROSOFT (2019).

### **2.4.3 Sensores Hápticos**

Sensores hápticos são equipamentos que podem agregar imersão gerando para o usuário sensações realistas no tato. Os sensores podem gerar peso, deformações

nos dedos ou corpo e até transmitir sensações térmicas. Esse tipo de hardware é de caráter vestível, podendo ocorrer nas mais variadas formas, como roupas, luvas, entre outros elementos. Como exemplo de sensor háptico pode-se citar a luva Glove One (Figura 13), que atualmente ainda está em desenvolvimento. Segundo desenvolvedores, a luva possui 10 atuadores que geram sensações de toque. Segundo relatos de usuários é possível sentir de forma imersiva a sensação do pouso de uma borboleta ou gotas de chuva caindo nas mãos.

**Figura 13 – Luva Glove One.**



Fonte: GLOVE ONE (2019).

#### **2.4.4 Esteiras**

Esteiras para RV são dispositivos para locomoção que servem para caminhar ou correr enquanto o usuário permanece no mesmo lugar. Em experiências de RV as esteiras que apresentam melhor realismo são as que dão ao usuário a possibilidade de se mover omnidirecionalmente. Esse tipo de esteira acrescenta fidelidade à interação de caminhar, pois apresenta os mesmos graus de liberdade de caminhada no mundo real. No mercado de RV pode-se encontrar as esteiras omnidirecionais Cyberith Virtualizer, Virtuix Omni e Wizzdish.

O Cyberith Virtualizer, Figura 14, foi desenvolvido em 2012 e apresentado em um poster da Siggraph em 2014 por Tuncay Cakmak e Holger Hager. O Cyberith Virtualizer é uma esteira omnidirecional baseada em baixa fricção. A esteira apresenta dois anéis, um externo e outro interno, que são ligados a três pilares de fixação. Os dois anéis e os pilares fixam o usuário, impedem quedas e agregam 4 graus de liberdade na movimentação. Para interagir o usuário deve pressionar

levemente o anel interno com o torso e começar a caminhar naturalmente com os sapatos especiais. O anel interno pode ser girado em 360 graus e o externo pode ser movimentado verticalmente. O software do Cyberith Virtualizer pode interagir com engines de jogos e pode mapear mouse e teclado ou joystick para os comandos da esteira. Os movimentos do usuário são detectados através de diferentes combinações de sensores que estão localizados na plataforma e nos pilares. Os dados são enviados para um micro controlador que calcula os movimentos e envia as informações para um computador. As informações enviadas são sobre: a orientação do corpo do usuário, a altura dos quadris, a velocidade de caminhada e a direção do pé.

**Figura 14 – Cyberith Virtualizer, esteira omnidirecional de baixa fricção.**



Fonte: CYBERITH VIRTUALIZER (2019).

Virtuix Omni (Figura 15) é uma esteira omnidirecional para RV que foi criada em 2013 por Jan Goetgeluk. O dispositivo apresenta funcionamento semelhante ao Cyberith Virtualizer, com um piso de baixa fricção e anéis no torso. O piso do Virtuix Omni tem formato octogonal com profundidade para que o usuário sempre “escorregue” e volte para o centro sendo necessário utilizar um sapato especial para conseguir “escorregar”. Para evitar quedas, o usuário é travado por um dispositivo de segurança posicionado no torço que também identifica se o jogador pulou ou se abaixou. O funcionamento computacional da esteira depende de sensores inerciais que rastreiam a posição de uma pessoa, o comprimento de sua passada e a velocidade com que ela está se movendo. A informação é processada e enviada para um computador que traduz os dados para os movimentos do AV.

**Figura 15 – Virtuix Omni, esteira de baixa fricção para RV.**



Fonte: VIRTUIX OMNI (2019).

A WizDish (Figura 16) é uma esteira omnidirecional apresentada como protótipo no trabalho de Swapp et al. (2010). A esteira é vendida atualmente no mercado e assim como a Virtuix Omni e a Cyberith Virtualizer apresenta um sistema de passadas com baixa fricção. A movimentação do usuário funciona em um disco de um metro de diâmetro. A segurança ocorre através de um anel que o usuário pode se apoiar e se segurar caso não sinta segurança na movimentação. A principal diferença entre as interações do WizDish e das outras duas esteiras omnidirecionais apresentadas, é o fato da direção da movimentação ser definido pela visão e não pelo torço do usuário. No mundo físico a orientação dos humanos ocorre através do torço, possibilitando que as pessoas andem para a frente e olhem para o lado. Portanto, pode-se considerar que é menos imersivo utilizar o padrão de orientação definido pela visão do usuário pois impossibilitaria que a locomoção virtual fosse semelhante à locomoção física.

**Figura 16 – Locomoção de um usuário através da WizDish.**



Fonte: WIZDISH (2019).

## 2.5 TÉCNICAS DE INTERAÇÃO PARA RV

A presente seção tem o objetivo de demonstrar uma visão geral sobre técnicas de interação para RV com HMD. As técnicas descritas aqui serão detalhadas futuramente no capítulo de Estado da arte.

Quando inserido dentro de um AV de RV com HMD, um usuário pode interagir através de três tipos de técnicas de interação: Seleção, Manipulação e Locomoção. Segundo Bowman et al. (2004), a seleção de objetos é uma das tarefas fundamentais em interfaces 3D. Ela normalmente é a tarefa inicial, e quando é mal projetada, pode causar como consequência um impacto negativo no desempenho geral do usuário. Além disso, algumas técnicas de seleção podem ser utilizadas para iniciar uma manipulação ou locomoção, sendo fundamentais para a interação em AVs. Segundo o trabalho de Bowman e Hodges (1999) uma técnica de seleção funciona a partir de três conceitos, um feedback, uma indicação do objeto e uma indicação para seleção. Para exemplificar cada conceito, pode-se observar técnicas para selecionar um objeto 3D qualquer. Primeiramente o usuário recebe um feedback gráfico que pode acontecer através de realce, depois ocorre um toque ou apontamento para o objeto (indicação do objeto) e por fim a indicação da seleção, que pode acontecer através de confirmação por um comando de voz, gesto ou botão.

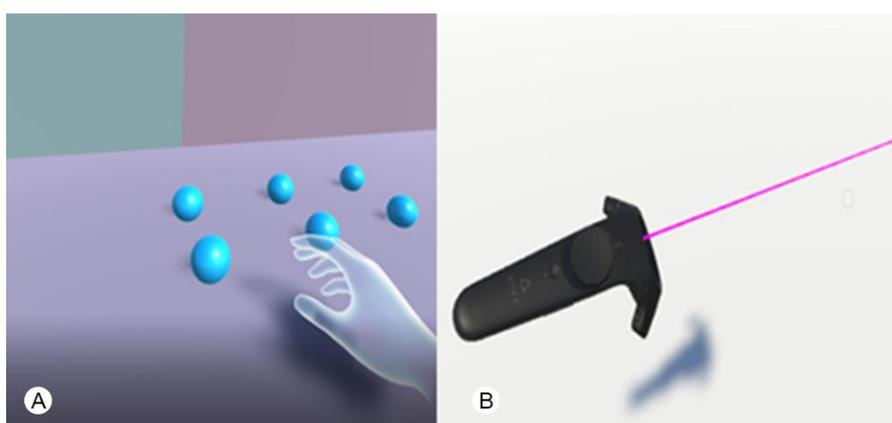
Atualmente as técnicas de seleção 3D em AVs imersivos funcionam com base em duas técnicas de interação, mão virtual e *ray-casting* (apontamento). Mão virtual

é uma técnica intuitiva que gera para o usuário um modelo 3D representativo de suas mãos dentro do AV como pode ser visto na Figura 17. Ela pode ser usada para realizar tarefas em que os objetos estão próximos ao usuário. Segundo Jerald (2016) a mão virtual é recomendada para seleção de algo que está próximo ao usuário, pois é natural que as pessoas tentem pegar objetos que estão ao alcance das mãos quando estão inseridas dentro de um AV.

O outro tipo de seleção é o *ray-casting* que funciona através de apontamento. Ela é caracterizada por uma linha laser tridimensional que seleciona objetos ou áreas do AV. Por ter longo alcance, o *ray-casting* pode ser utilizado quando for necessário selecionar algo que está distante do usuário.

As técnicas de seleção também podem ser aprimoradas. Por exemplo, *flashlight* é uma técnica de seleção que funciona a partir de *ray-casting*, mas com seleção volumétrica em forma de cone. Para aprimorar o *flashlight* foi criada a técnica de *Aperture Selection*, que agrega a função de dimensionar o raio da seleção cônica. No presente trabalho foram desenvolvidas duas técnicas de interação para seleção em ambientes de RV imersiva, uma que aprimora mão virtual e outra que elimina problemas de oclusão do *ray-casting*.

**Figura 17 – Exemplo de Mão Virtual (A) e *ray-casting* (B).**



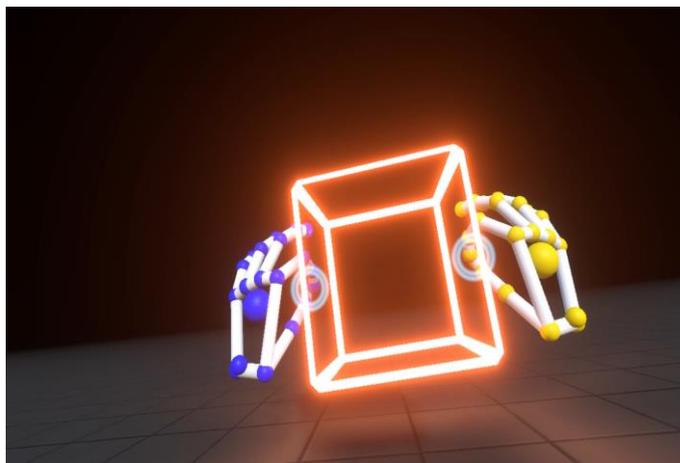
Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Além de seleção, também existem técnicas de manipulação para mover objetos 3D. Formalmente a palavra manipulação se refere ao ato de pegar, segurar e transportar objetos físicos com as mãos. As tarefas de manipulação podem ser classificadas em posicionamento, rotação e escalonamento de objetos 3D utilizando uma ou duas mãos. O processo de pré-manipulação é a seleção, portanto, as

técnicas de manipulação também são baseadas em *ray-casting* e mão virtual. Quando baseadas em mão virtual, elas podem ocorrer de forma isomórfica ou não isomórfica, com mapeamento direto das posições da mão e dos dedos do usuário ou apenas o mapeamento da mão. Além disso, algumas aplicações que utilizam mão virtual adicionam feedback háptico para aumentar a imersão.

Interações virtuais de manipulação que funcionam através de controles para RV são interações não isomórficas pois os controles para RV não identificam de forma precisa os posicionamentos dos dedos dos usuários. Atualmente grande parte das aplicações existentes no mercado funciona através de controles para RV, porque os principais HMDs vendidos apresentam sistemas de interação baseado em controles para RV. A manipulação com esse tipo de controle funciona a partir do uso dos botões ou sensores para fechar e abrir as mãos. Em contraponto, aplicações de RV que ocorrem através de sensores de rastreamento para as mãos ou luva de dados podem ser consideradas isomórficas, pois os graus de liberdade da mão real são os mesmos da mão virtual, conseguindo capturar as posições das mãos e dos dedos do usuário como demonstrado na Figura 18.

**Figura 18 – Exemplo de Mão Virtual Isomórfica utilizando Leap Motion.**



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Por fim, existem as técnicas de locomoção. Essas técnicas estão sendo muito encontradas no estado da arte da literatura de RV. Movimentação em RV pode causar alguns problemas como por exemplo, colisão com objetos da casa, perda de rastreamento dos sensores, cansaço do usuário, quedas, enjoo ou problemas com fios.

Segundo Jerald (2016), para realizar tarefas de locomoção é necessário ter base em algum sistema de orientação que pode ser baseado na cabeça, torso ou pés dos usuários. Por exemplo, um usuário pode navegar para onde o tronco estiver apontando e olhar para o lado no AV. O presente trabalho não pretende focar ou recomendar métodos de orientação, mas demonstrar técnicas de locomoção para que usuários completem tarefas sem apresentar problemas. As técnicas de locomoção apresentadas nesta dissertação são baseadas em seleção, manipulação, caminhada, marcha parcial, esteiras, esteiras virtuais e bicicleta.

- Caminhada e marcha parcial: As técnicas baseadas em caminhada podem funcionar a partir do mapeamento direto do movimento do usuário. Elas funcionam a partir de sensores que captam a mudança de posicionamento e movimentação. Pode-se encontrar na literatura as técnicas de caminhada normal, escalonada ou redirecionada. Técnicas de caminhada quando bem implementadas garantem para o projeto de RV locomoção natural ou seminatural, tornando o usuário mais imerso no sistema e causando menos desconforto por *cybersickness*. Em contraponto, existem técnicas de marcha parcial que são derivadas da caminhada, mas a interação acontece sem o usuário sair do lugar. Como exemplo de técnicas de marcha parcial, existem as técnicas de *Walking in place* (WIP) e *Arm swinging*.
- Esteiras: As técnicas de esteira podem ocorrer de forma virtual ou física. Através de uma abordagem virtual as técnicas de esteira funcionam a partir de *trackpad* ou teclado, onde o usuário tem comandos de entrada no controle e se movimenta através de esteiras correspondentes aos graus de liberdade do dispositivo. As esteiras físicas são baseadas em dispositivos de esteira, o usuário anda em cima de uma superfície que simula a caminhada e seu avatar repete o movimento no AV. Existem esteiras uni, duo ou omnidirecional, cada uma tendo diferentes níveis de graus de liberdade e proporcionando mais imersão.
- Bicicleta: Técnicas de bicicleta, funcionam a partir de dispositivos baseados em pedais, como bicicletas ou elípticos. Aplicações que utilizam esses tipos de dispositivos são em sua maioria da área fisioterápica ou esportiva. Elas ajudam o paciente a se reabilitar através de experiências de jogos para melhorar as condições físicas ou simular corridas de bicicleta para recolher dados de desempenho e melhorar os resultados do atleta.

- Baseadas em seleção: As técnicas baseadas em seleção funcionam a partir de *ray-casting* ou apontamento, o usuário seleciona um local e se movimenta ou teleporta. Essas técnicas de seleção para locomoção podem ser utilizadas quando o usuário for percorrer longas áreas em um AV sem ter um espaço físico apropriado para utilizar técnicas baseadas em caminhada. Técnicas de teleporte não são recomendadas quando a movimentação precisa ser constante, pois trocar de posição repetidas vezes pode causar problemas de orientação no usuário. Entretanto técnicas de teleporte minimizam problemas de *cybersickness*, gerando mais conforto para os usuários que são sensíveis a este tipo de problema.
- Baseadas em manipulação: Por fim, existem as técnicas de manipulação para locomoção, onde o usuário manipula o mundo e se movimenta na direção desejada. A manipulação funciona a partir da interação de puxar ou arrastar. Para não ocorrerem erros é recomendado que os desenvolvedores adicionem a função de puxar e arrastar o mundo na mão contrária à mão de seleção de objetos, para que o usuário não cometa o erro de andar quando for selecionar algo (Jerald 2016). No mercado é possível encontrar exemplos de arrastar o mundo em AVs com perspectiva de visão de Deus, como por exemplo em Jogos de estratégia em tempo real.

As técnicas resumidas na presente seção serão apresentadas de forma mais detalhada futuramente no Capítulo de estado da arte, com suas referências, cenários de uso e aplicações.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA E MERCADO

Para obter dados sobre as atuais técnicas de interações presentes na literatura e nas aplicações de RV foi produzida uma revisão da literatura e uma análise de técnicas de interação presentes em algumas aplicações de RV do mercado.

A revisão ocorreu em cinco etapas que são descritas nas próximas cinco seções. Inicialmente foi especificada uma seleção temporal de 2009 até 2018 e definida uma *string* de busca. Depois realizou-se uma seleção automática de artigos em quatro engenhos de pesquisa. Para complementar os dados encontrados na busca automática também foi feita uma seleção manual em artigos de eventos acadêmicos com temática relacionada.

Para ter uma visão das técnicas de interação do mercado foi realizada uma análise de aplicações de RV para Oculus Rift, PSVR, HTC VIVE e HMDs *mobile*. Por fim, para selecionar os artigos escolhidos e construir a presente dissertação foram definidos critérios de seleção.

#### 3.1 SELEÇÃO TEMPORAL E *STRING* DE BUSCA

A revisão da literatura foi feita através dos engenhos de busca IEEE, Springer, ACM e Science Direct. Foram pesquisados trabalhos entre 2009 e 2018, pois em 2009 as pesquisas de RV já utilizavam tecnologias próximas das atuais, com baixa latência e alta qualidade visual. Em seguida foi iniciado o processo de construção da *string* de busca para obtenção dos artigos. A *string* de busca foi projetada com o objetivo de incluir pesquisas sobre interação de RV, em AVs, com dispositivo de HMD e que apresentassem testes com usuários.

A *string* de busca definida para realizar a pesquisa automática foi “(((“HMD” OR “Head-mounted display” OR “Head-set”) AND (“Interaction” OR “Interaction Techniques” OR “Gesture” OR “Controller”) AND (“Virtual Environment” OR “Virtual Reality”)) AND (“User Evaluation” OR “User Test”))”.

### 3.2 SELEÇÃO AUTOMÁTICA

Após utilizar a *string* de busca foram obtidos 774 artigos. Todos os títulos e resumos dos artigos foram lidos buscando trabalhos que envolvessem o tema interação para RV utilizando HMD. Dentre os 774 artigos obtidos foram selecionados 153 para serem analisados.

**Tabela 1 – Dados da Seleção Automática.**

Engenhos de busca	Busca automática	Selecionados para análise
<b>ACM</b>	475	83
<b>IEEEExplore</b>	46	23
<b>Science Direct</b>	73	17
<b>Springer</b>	180	30
<b>Total</b>	<b>774</b>	<b>153</b>

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019)

### 3.3 SELEÇÃO MANUAL

Após o processo de busca automática foi realizada uma busca manual em conferências que estivessem relacionadas com o tema interação, RV, HMD e AVs. As conferências escolhidas foram ACE, CHI, CHI PLAY, IEEE VR, SUI e VRST. Como resultado da busca manual foram selecionados 78 artigos para análise.

**Tabela 2 – Dados da Seleção Manual.**

Conferências	Artigos selecionados para análise
<b>ACE</b>	6
<b>CHI</b>	28
<b>CHI PLAY</b>	8
<b>IEEEVR</b>	2
<b>SUI</b>	12
<b>VRST</b>	22
<b>Total</b>	<b>78</b>

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

### 3.4 ANÁLISE DE APLICAÇÕES RV

Em paralelo à revisão da literatura foi realizada uma análise das interações de aplicações de RV presentes na Steam (2019), Playstation Network (2019) e Simuladores. Foram analisadas no total 100 aplicações (Apêndice A) de diferentes gêneros para as plataformas Oculus Rift, HTC VIVE, PSVR e HMDs mobile. A análise consistiu em verificar quais eram as interações utilizadas para selecionar, manipular e se locomover nos ambientes virtuais. Foram encontradas as seguintes técnicas de interação:

**Quadro 2 – Técnicas de interação encontradas no mercado.**

<b>Tipos de técnica</b>	<b>Técnicas de Interação</b>
<b>Seleção</b>	<i>Ray-casting</i> , <i>Ray-casting</i> com seleção contínua (Pincel), Mão Virtual Simples, Mão Virtual Simples com seleção contínua (Desenhando o caminho), FlashLight e Pontos ao longo do caminho.
<b>Manipulação</b>	<i>ray-casting</i> e Mão Virtual Simples
<b>Locomoção</b>	Caminhada, Caminhada redirecionada, Caminhada escalonada, Teleporte ( <i>ray-casting</i> ), Puxar e arrastar o mundo, WIP, e <i>Arm Swinging</i>

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Três técnicas de interação foram encontradas nas aplicações do mercado, mas não foram encontradas em trabalhos recentes entre 2009 e 2018. A técnica de locomoção baseada em manipulação de puxar e arrastar o mundo (Mapes e Moshell 1995), a técnica de seleção utilizando *flashlight* (Lian e Green 1994) e a técnica de locomoção através de pontos ao longo do caminho (Bowman et al. 1999). Apesar de serem técnicas da década de 1990 e não terem sido encontradas na busca automática essas três técnicas foram incluídas nas escolhas da presente pesquisa por estarem presentes nas aplicações encontradas no mercado. Entretanto, a técnica de *flashlight* foi substituída, na presente pesquisa, pela técnica *aperture selection* de Forsberg et al. (1996), pois ela é uma técnica que aprimora o *flashlight*, dando ao usuário o poder de aumentar ou diminuir o tamanho do campo de seleção.

### 3.5 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE TRABALHOS

Para definir quais trabalhos seriam escolhidos visando construir a presente dissertação, foram estabelecidos seis critérios para seleção. Selecionamos todos os trabalhos que apresentavam os seguintes critérios:

- Estar escrito em inglês
- Ter uma técnica de interação para RV
- Estar na seleção temporal entre 2009 e 2018 ou ter uma técnica encontrada em alguma das 100 aplicações do mercado analisadas.
- Ter descrições sobre a técnica de interação
- Ter no mínimo 5 páginas
- Apresentar testes com usuários.

Após aplicar os critérios de seleção, a presente dissertação selecionou 35 trabalhos que apresentam alguma técnica de Seleção, Manipulação ou Locomoção. O Quadro 3 apresenta uma síntese dos resultados encontrados no mercado e na literatura.

**Quadro 3 – Técnicas encontradas na literatura e no mercado.**

<b>Técnica de interação</b>	<b>Referências</b>	<b>Existe fidelidade entre a interação real e virtual?</b>	<b>Tipos de tarefa</b>	<b>Dispositivos de interação utilizados</b>
Mão virtual	Lopes et al. (2017)	Sim	Manipulação	Sensores hápticos
	Schorr e Okamura (2017)	Sim	Manipulação	Sensores hápticos
	Schwind et al. (2017)	Sim	Manipulação	Leap Motion
	Arora et al. (2017)	Sim	Seleção	Controles para RV
	Dhruv et al. (2016)	Sim	Manipulação	Luva de dados e Leap Motion
	Gu Xiaochi et al. (2016)	Sim	Manipulação	Sensores hápticos e Exoesqueletos
	Argelaguet et al. (2016)	Sim	Seleção, Manipulação	LeapMotion
	M.K Young et al. (2015)	Sim	Manipulação	Câmera e Sensores de rastreamento

	Dorabjee et al. (2015)	Sim	Seleção Manipulação	Leap Motion
	Argelaguet e Andujar (2013)	Sim	Seleção	Leap Motion Luva de dados
Intent Driven Selection (IDS)	Periverzov e Horea (2015)	Sim	Seleção e Manipulação	Luva de dados e Kinect
Puxar e Arrastar o Mundo	Jogo <i>Brass Tactics</i> VR (2018)	Não	Locomoção e Manipulação	Controles para RV
	Mapes e Moshell (1995)	Não	Locomoção e Manipulação	Luva de dados
<i>Ray-casting</i>	Bowman et al. (1999)	Não	Seleção Locomoção Manipulação	Controles para RV
	Argelaguet e Andujar (2013)	Não	Seleção Locomoção	Controles para RV
	Bozgeyikli et al. (2016)	Não	Seleção Locomoção	Controles para RV
Flashlight	Jogo <i>Until Dawn. Rush of Blood</i> (2016)	Não	Seleção	Controles para RV
	Liang e Green (1994)	Não	Seleção	Controles para RV
	Forsberg et al. 1996	Não	Seleção	Controles para RV
Raio de profundidade	Grossman e Balakrishnan (2006)	Não	Seleção	Controles para RV
	Argelaguet e Andujar (2013)	Não	Seleção	Controles para RV
Teleporte	Bozgeyikli et al. (2016)	Não	Locomoção	Controles para RV
	Coomer et al. (2018)	Não	Locomoção	Controles para RV
Pontos ao longo do caminho	Bowman et al. (1999)	Não	Locomoção	Controles para RV
	Jogo <i>Waltz of the</i>	Não	Locomoção	Controles para RV

	<i>Wizard</i> (2016)			
<i>Aperture Selection</i>	Forsberg et al. (1996)	Não	Seleção	Controles para RV
	Argelaguet e Andujar (2013)	Não	Seleção	Controles para RV
Caminhada	Steinicke et al. (2013)	Sim	Locomoção	Sensores de posicionamento e Sensores infravermelho
	Nabiyouni et al. (2015)	Sim	Locomoção	Sensores de posicionamento, Sensores infravermelho e dispositivos de Navegação
Caminhada Redirecionada	Steinicke et al. (2010)	Não	Locomoção	Sensores de posicionamento e Sensores infravermelho
	Steinicke et al. (2013)	Não	Locomoção	Sensores de posicionamento e Sensores infravermelho
	Bruder et al. (2015)	Não	Locomoção	Sensores de posicionamento
	Jogo Cosmic Wandering VR (2016)	Não	Locomoção	Sensores de posicionamento e Sensores infravermelho
Caminhada Escalonada	Interrante et al. (2007)	Não	Locomoção	Câmeras e sensores de posicionamento
	Steinicke et al. (2013)	Não	Locomoção	Sensores de posicionamento e Sensores infravermelho
	Jogo <i>Super island God VR</i> (2016)	Não	Locomoção	Sensores de posicionamento e Sensores infravermelho
<i>Walking in place</i>	Niels et al. (2013)	Não	Locomoção	Sensores de posicionamento, marcadores e câmeras.
	Wilson et al. (2016)	Não	Locomoção	Sensores de posicionamento
<i>Arm Swinging</i>	Niels et al. (2013)	Não	Locomoção	Sensores de posicionamento,

				marcadores e câmeras.
	Wilson et al. (2016)	Não	Locomoção	Sensores de posicionamento
Controle de esteira com o pé	Amir et al. (2016)	Não	Locomoção	Kinect
<i>Joystick</i>	Nabiyouni et al. (2015)	Não	Locomoção	<i>Track pad</i>
	Bozgeyikli et al. (2016)	Não	Locomoção	<i>Track pad</i>
	Coomer et al. (2018)	Não	Locomoção	<i>Track pad</i>
Bicicleta	Bolton et al. (2014)	Sim	Locomoção	Dispositivo de bicicleta
	Shaw et al. (2017)	Sim	Locomoção	Dispositivo de bicicleta
Esteiras	Swapp et al. (2010)	Sim	Locomoção	Dispositivo de esteira <i>Wizdish</i>
	Cakmak e Hager (2012)	Sim	Locomoção	Dispositivo de esteira Cyberith virtualizer
	Anthes et al. (2016)	Sim	Locomoção	Dispositivos de esteira
Cockpit	Jain et al. (2016)	Sim	Locomoção	<i>Cockpit</i> de Mergulho
	Arndt et al. (2018)	Sim	Locomoção	<i>Cockpit</i> de Remo

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

### 3.6 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO DE REVISÃO DO MERCADO E LITERATURA

O capítulo de revisão da literatura e mercado teve como objetivo apresentar a metodologia utilizada para a seleção de técnicas de interação e os artigos que irão compor a presente dissertação. Ao todo foram selecionados 35 trabalhos e foram analisadas 100 aplicações do mercado buscando diferentes técnicas de interação para tarefas de seleção, manipulação e locomoção. O próximo capítulo irá apresentar, descrições de técnicas, testes realizados pelos autores e o comportamento de cada interação na execução de tarefas dos AVs.

## 4 ESTADO DA ARTE

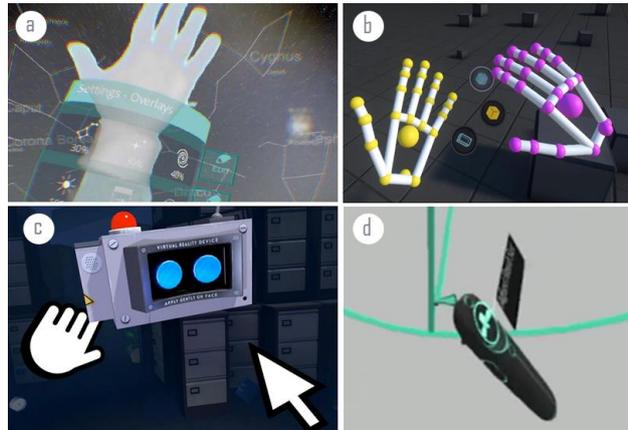
Entender as características e funcionamento de cada técnica de interação para RV é importante para permitir ao desenvolvedor gerar uma aplicação de RV coerente com as tarefas que o usuário irá executar. Nas próximas seções serão apresentadas visões gerais sobre técnicas de interação encontradas na revisão da literatura e nas aplicações existentes no mercado. Cada técnica será apresentada, descrita e caracterizada, visando entender futuramente o Capítulo 5, Seleção de técnicas de interação.

### 4.1 MÃO VIRTUAL

Mão virtual é uma técnica de interação que pode ser utilizada em tarefas de seleção, manipulação e locomoção. Ela é caracterizada pela representação visual das mãos do usuário dentro do AV e funciona através do mapeamento dos movimentos e posições da mão do usuário. A mão virtual pode utilizar sensores de rastreamento, dispositivos vestíveis ou controles rastreados de RV.

O feedback visual da mão virtual pode ser fiel ao modelo da mão do usuário, ou pode ser uma representação abstrata como uma luva, uma mão formada por cubos, um ponteiro de mouse tridimensional, uma ferramenta de trabalho como um lápis, ou de acordo com a criatividade e objetivo do desenvolvedor (Figura 19).

**Figura 19 – Exemplos de técnicas de mão virtual.**

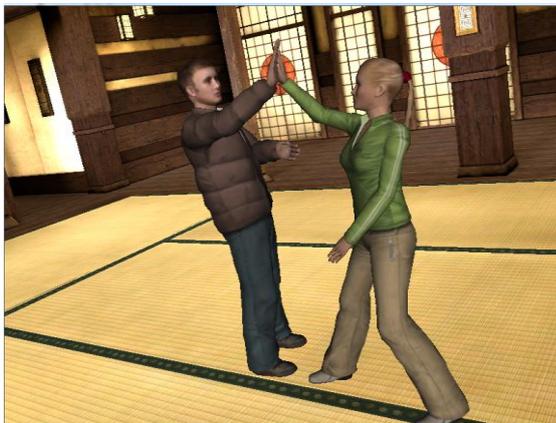


Fonte: (a) DORABJEE et al. (2015), (b) LEAP MOTION VR BLOCKS, (c) OWCHAMY LABS (2016) e (d) ARORA et al. (2017).

#### **4.1.1 Representação Visual do Avatar ou Apenas das Mãos**

Na revisão da literatura foram encontrados alguns trabalhos que comparam tipos de representação visual da mão virtual e do usuário no AV. O trabalho de M.K Young et al. (2015) demonstra uma aplicação de RV utilizando dois usuários que realizam o ato de se cumprimentar fazendo o gesto de bater as mãos (Figura 20) dentro de um espaço físico compartilhado. A pesquisa teve o objetivo de verificar quais são os benefícios das interações físicas em espaço co-localizado e qual a importância da fidelidade do avatar. Os autores não encontraram resultados relevantes sobre benefícios de interações físicas co-localizadas, mas identificaram que utilizar o avatar de corpo inteiro semelhante ao usuário pode provocar benefícios como mais imersão e mais facilidade na realização das interações virtuais. Portanto, o uso de avatar semelhante ao usuário além de aumentar a presença, também pode ajudar na execução da interação.

**Figura 20 – Imagem do gesto de bater as mãos.**



Fonte: M.K YOUNG et al. (2015).

O trabalho de Argelaguet et al. (2016) compara diferentes tipos de representação visual das mãos. Os resultados demonstram que a representação visual menos realista não atrapalha a sensação de estar no controle da interação e de poder interagir utilizando a mesma liberdade da mão real. Entretanto, foi observado que a mão virtual mais realista transmite mais sensação de propriedade ao usuário do que a mão menos realista, porque apresenta texturas e formas mais parecidas com uma mão real.

O trabalho de Schwind et al. (2017) apresenta um estudo comparativo sobre diferentes representações visuais das mãos do avatar em relação aos gêneros sexuais masculino, feminino e andrógino. O estudo investiga se existe diferença na sensação de presença quando o avatar do usuário utiliza uma mão virtual não humana ou do sexo oposto. O trabalho foi feito com 14 usuários femininos e 14 masculinos. Foram utilizadas 6 representações visuais de mãos: Mão virtual abstrata, robotizada, com gráficos *cartoon*, mão masculina, mão feminina e mão andrógina. Os resultados quantitativos e qualitativos demonstraram que as mulheres têm níveis mais baixos de presença quando usam as mãos masculinas e os homens percebem níveis mais baixos de presença usando mãos de avatar abstratas ou robóticas. As mulheres não gostaram de ter mãos masculinas no AV enquanto os homens sentiram presença com as mãos de ambos os sexos.

#### **4.1.2 Mão Virtual para Tarefas de Seleção**

A técnica de mão virtual é utilizada para selecionar objetos que estão ao alcance

do braço do usuário. A seleção com mão virtual pode ocorrer através dos movimentos de pinça, click ou seleção por área através do fechamento da mão. O usuário pode pinçar objetos com os dedos indicador e polegar, clicar nos objetos utilizando o dedo indicador ou fechar a mão quando estiver em cima de um ou diversos objetos para coletar tudo o que estiver ao alcance da palma da mão. Tarefas de seleção utilizando mão virtual são em sua maioria sem precisão pois a área de contato dos dedos é muito grande, fazendo com que ocorra ambiguidade no momento da seleção. Para melhorar a precisão de técnicas baseadas em mão virtual é necessário criar aprimoramentos que evitam erros de seleção.

#### **4.1.3 Mão Virtual para Tarefas de Manipulação**

Nas tarefas de manipulação a mão virtual pode ser utilizada com ou sem isomorfismo e com ou sem feedback háptico. A mão virtual isomórfica ocorre quando o desenvolvedor utiliza câmeras, luva de dados ou sensores para rastreamento da mão, oferecendo ao usuário uma mão virtual com todos os graus de liberdade da mão real. Esse tipo de abordagem permite que o sistema, além de identificar o posicionamento das mãos, também identifique a movimentação de cada dedo do usuário. Atualmente a maior parte das aplicações desse tipo ocorrem na área acadêmica, acontecendo com menor frequência no mercado de jogos e simuladores, pois exigem hardware de interação customizado ou um Leap Motion fixado na frente do HMD.

Atualmente no mercado, grande parte das aplicações ocorrem através de mão virtual não isomórfica pois funcionam a partir do uso de controles para RV. Esse tipo de abordagem só identifica o posicionamento das mãos do usuário, sem identificar a movimentação dos dedos. Entretanto, os controles oferecem ao usuário feedback tátil, este feedback ocorre através de vibrações quando os usuários pegam objetos no AV.

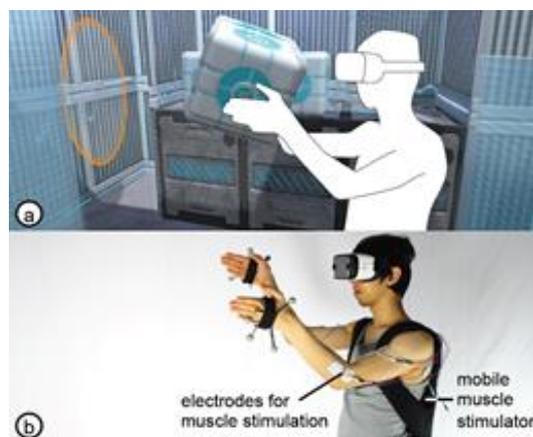
#### **4.1.4 Trabalhos com Feedback Hápticos nas Mãos**

Feedbacks hápticos podem ser adicionados nas experiências de RV através do uso de sensores e dispositivos que aumentam a imersão do usuário com sensações

de peso, temperatura e textura. No presente trabalho foram encontradas pesquisas que buscavam criar feedback háptico realista através de sensores. Esses dispositivos podem criar percepções de peso e resistência (Lopes et al. 2017), deformações (Schorr e Okamura 2017) ou mudanças de temperaturas (Dhruv et al. 2016).

O trabalho de Lopes et al. (2017) cria uma aplicação para simular peso e resistência através de sensores hápticos vestíveis que geram estímulos elétricos posicionados nos músculos do ombro, braço e punho (Figura 21). Para gerar a sensação de peso e resistência o sistema aciona os respectivos músculos de oposição. Por exemplo, para simular peso no bíceps do usuário os dispositivos acionam carga elétrica ao tríceps criando tensão no bíceps e gerando uma experiência imersiva. O dispositivo construído para o projeto transmitia cargas em até quatro grupos musculares ao mesmo tempo.

**Figura 21 – Aplicação que simula peso e resistência na manipulação de objetos 3D.**

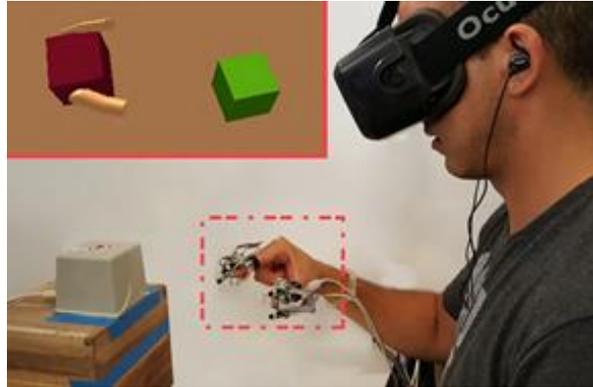


Fonte: LOPES et al. (2017).

O trabalho de Schorr e Okamura (2017) utiliza dispositivos para deformar os dedos dos usuários (Figura 22) para deixar a experiência de manipulação de objetos virtuais mais realista e imersiva. Ao pegar um objeto, o usuário sente deformações nos dedos e visualiza deformações no AV. Nesse trabalho, também foi investigada a relação entre as mudanças nas propriedades físicas dos objetos e as percepções dos usuários. Os autores demonstraram que alguns usuários novatos não percebiam muito bem a mudança dos materiais e classificavam de forma errada as

propriedades físicas dos objetos que estavam segurando.

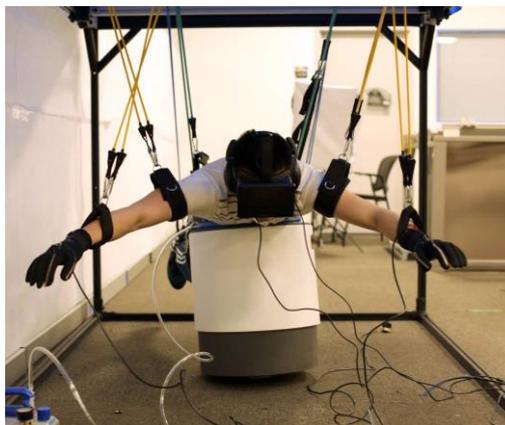
**Figura 22 – Um simulador de manipulação com deformação da pele.**



Fonte: B. SCHORR E M. OKAMURA (2017).

O trabalho de Dhruv et al. (2016) apresenta um Cockpit com simulador de mergulho chamado de Amphibian (Figura 23). O objetivo do simulador foi recriar as sensações e condições físicas do mergulho em um ambiente de RV imersiva para treinamento de novos mergulhadores. Os desenvolvedores criaram uma estação com mecanismos para simular inércia, medir oxigênio inalado para criar bolhas d'água quando o usuário respirasse, luvas com feedback háptico para simular colisões e modificador de temperatura para mudanças térmicas nas mãos quanto mais fundo o usuário mergulhasse.

**Figura 23 – Simulador de mergulho desenvolvido no artigo de Dhruv Jain et al. (2016).**

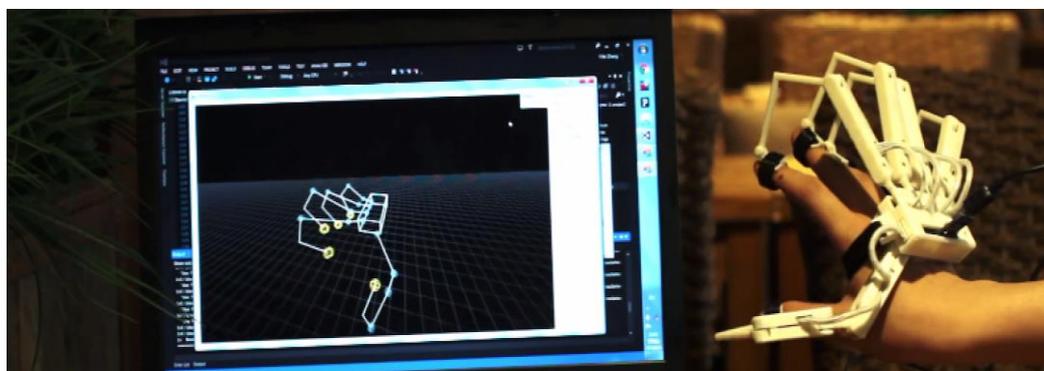


Fonte: DHRUV et al. (2016).

O trabalho de Gu et al. (2016) apresenta o exoesqueleto Dexmo demonstrado na Figura 24. O dispositivo rastreia as mãos do usuário e agrega feedback háptico

através de um exoesqueleto que impede o fechamento dos dedos quando os usuários estão segurando algum objeto no AV. O Dexmo consegue identificar qual dedo está recebendo colisão e impedir o fechamento dele independente dos outros. Para avaliar a funcionalidade do dispositivo criado, os pesquisadores construíram um AV com um jogo de arco e flecha e realizaram dois testes com 20 usuários, um teste com função de feedback háptico e outro sem habilitar a função. Os usuários tinham que atirar 10 vezes com o arco e flecha utilizando feedback háptico, parar uma hora para esquecer o funcionamento e descansar os músculos para depois atirar mais 10 vezes sem o uso do feedback háptico. Os resultados quantitativos demonstraram que utilizar o Dexmo com o feedback háptico do exoesqueleto diminuiu os erros dos participantes nos testes e os usuários qualitativamente avaliaram o uso do feedback háptico do Dexmo como realista. Atualmente, o Dexmo está encaminhado para ser lançado no mercado, com design e softwares que estão sendo finalizados.

**Figura 24 – Exoesqueleto Dexmo, para criação de feedback háptico em experiências de RV.**



Fonte: artigo GU et al. (2016).

#### **4.1.5 Mão Virtual para Locomoção**

Em alguns AVs os usuários podem se movimentar através da interação de puxar o mundo, essa interação pode ser chamada de puxar e arrastar o mundo (no original “drag the world”). Esta técnica de interação tem dois graus de liberdade com duas esteiras de movimentação. Drag the world foi apresentada na década de 90 por Mapes e Moshell (1995). Através do uso de luvas de pinçar o usuário poderia movimentar objetos 3D usando gestos de puxar e arrastar. Quando a técnica é

usada em navegação, não é necessário que o usuário se desloque no ambiente físico e não causa cansaço físico quando implementada em AVs maiores que uma sala e que não tenham movimentação constante.

**Figura 25 – Jogo de estratégia Brass Tactics.**



Fonte: HIDDEN PATH ENTERTAINMENT (2018).

O jogo de estratégia para RV Brass Tactics (2018), representado pela Figura 25, exemplifica o sistema de navegação de puxar e arrastar o mundo. O usuário clica no gatilho para segurar o mundo e começa a andar quando movimenta o controle para frente ou para trás. O AV do jogo é do tamanho de uma sala de 50 metros por 50 metros, com aproximadamente 9 regiões. A movimentação do jogo é escalonada, pois o usuário se movimenta muito rápido com gestos curtos de segurar e puxar.

Na implementação de técnicas de locomoção utilizando pontos de manipulação, como a técnica de puxar e arrastar o mundo, deve-se tomar cuidado com a ambiguidade entre selecionar objetos e manipular o mundo virtual. No jogo Brass Tactics por exemplo, a manipulação do mundo e a seleção ocorrem em diferentes botões do controle.

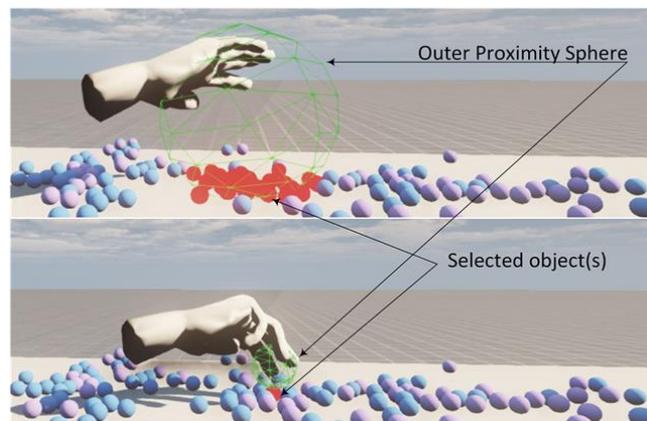
#### 4.2 IDS: INTENT DRIVEN SELECTION (SELEÇÃO BASEADA NA INTENÇÃO)

Intent Driven Selection (IDS) (seleção baseada na intenção) é uma técnica de seleção criada por Periverzov e Ilies (2015). Ela é baseada em mão virtual, mas tem aumento de precisão através de um algoritmo baseado na psicologia e em observações do comportamento das pessoas. O objetivo de utilizar análise de

comportamentos é identificar a intenção do usuário no ato de pegar objetos que estão próximos a outros.

Seu funcionamento acontece quando o usuário abre a mão e uma esfera de proximidade é criada. Quanto mais esticados os dedos do usuário, maior é o tamanho da esfera. A medida que os dedos começam a fechar para fazer o gesto de pinçar a esfera diminui de tamanho. A mini esfera aumenta a precisão e diminui a ambiguidade da seleção. A Figura 26 demonstra o sistema de seleção da técnica de IDS. Na imagem de cima o usuário está com a mão aberta mantendo o alcance da esfera de seleção grande e na imagem de baixo o usuário faz o gesto de pinçar, diminuindo a área da seleção para o alcance de apenas um objeto. O alcance da seleção pode ser observado através do realce vermelho dos objetos próximos aos dedos do usuário.

**Figura 26 – Imagem do funcionamento da técnica de IDS.**



Fonte: FROL PERIVERZOV E HOREA ILIES (2015).

A técnica IDS foi desenvolvida com Kinect e luva de dados equipadas com sensores flexíveis. O Kinect rastreia as posições e movimentos da mão e a luva com sensores flexíveis é utilizada para gerar o feedback visual da movimentação dos dedos do usuário. Frol Periverzov e Horea Ilies testaram a técnica de IDS nos seguintes cenários: objetos grandes que estavam ocluídos, locais do cenário com baixo rastreamento dos sensores, pequenos objetos em um ambiente desordenado, pequenos objetos perto de grandes objetos e objetos grandes não ocluídos. Segundo os resultados do trabalho, a técnica desenvolvida tem precisão suficiente para selecionar esferas com 0.6 cm de diâmetro que estiverem próximas em até 0.1 cm de distância, demonstrando ser uma técnica de seleção precisa baseada em

mão virtual.

### 4.3 RAY-CASTING

*Ray-casting* é uma técnica de seleção que funciona através de apontamento. Ela é caracterizada por uma linha laser tridimensional que seleciona objetos ou áreas do AV. O *ray-casting* funciona com controles para RV ou com sensores que capturam a mão do usuário. A técnica pode ser usada nas tarefas de seleção, locomoção e também manipulação.

#### 4.3.1 Seleção Utilizando *Ray-Casting*

A seleção utilizando *ray-casting* é indicada para situações em que os objetos do mundo virtual localizam-se fora do raio de alcance do usuário. Segundo Jerald (2016), a técnica *ray-casting* é mais precisa do que a mão virtual simples, considerando que a área de seleção do raio é menor do que o tamanho de um dedo. Após analisar o mercado e a literatura foi identificado que o *ray-casting* para seleção pode ocorrer com clicks únicos ou contínuos (LaViola et al. 2017).

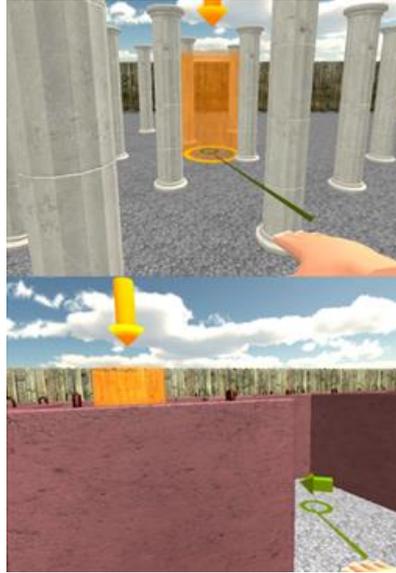
A seleção utilizando click único ocorre quando a tarefa do usuário é selecionar um ou mais objetos através de clicks unitários. A interação funciona através de um único click no botão ou algum tipo de gesto, dependendo do dispositivo de interação escolhido pelo desenvolvedor. Para selecionar mais de um objeto o desenvolvedor pode escolher algum botão extra para alternância.

A seleção de forma contínua será chamada na presente dissertação de “pincel”. Ela ocorre quando a tarefa do usuário é selecionar diversos objetos ou selecionar um caminho que um objeto 3D ou o avatar possa percorrer. Essa técnica, usando pincel, funciona quando o usuário mantém pressionado um botão ou utiliza um gesto de forma contínua. Entretanto, essa forma de uso da técnica não é totalmente precisa, pois podem ocorrer problemas de oclusão gerados quando existem objetos enfileirados.

### 4.3.2 Teleporte

O teleporte é uma técnica que funciona através de *ray-casting*. Acontece quando usuários selecionam um determinado local e tem o seu avatar transportado para a posição escolhida. O teleporte resolve o problema de colisões entre o usuário e objetos do espaço físico, pois não é necessário que o usuário se movimente fisicamente para executar locomoção no AV. O trabalho de Bozgeyikli et al. (2016) cria um comparativo entre o uso de Point & click (teleporte), joystick e WIP. Os autores analisam tempo para executar as movimentações, colisões, enjoo dos usuários, entre outras características. Os resultados da pesquisa demonstraram que a técnica de locomoção mais rápida em cenários com obstáculo é a navegação por joystick, demorando em média 4 segundos a menos do que o teleporte. Entretanto, utilizar o *ray-casting* para navegação apresentou mais precisão tendo ocasionado menos colisões dos usuários com os obstáculos. Teleporte apresentou em média 3 colisões por teste enquanto que WIP e joystick apresentaram 15 e 30 respectivamente. Em relação ao enjoo provocado que pode ser provocado pela movimentação, nenhuma das técnicas de navegação do trabalho gerou sintomas de tontura nos usuários. O artigo também apresenta uma nova abordagem para o teleporte dando ao usuário a capacidade de escolher a orientação do avatar após realizar a locomoção (Figura 27).

**Figura 27 – Dois cenários de uso para o teleporte do trabalho de Bozgeyikli et al. (2016): (Cima) apresenta uma quantidade elevada de obstáculos. (Baixo) apresenta curvas para demonstrar um aprimoramento em que o usuário pode escolher o direcionamento do avatar.**



Fonte: BOZGEYIKLI et al. (2016).

No trabalho de Bozgeyikli et al. (2016) a experiência de escolher a direção do avatar não apresentou resultados relevantes e os autores decidiram investigar melhor este aprimoramento em trabalhos futuros. Na análise dos jogos do mercado de RV, foi encontrada na demo do jogo Budget Cuts (2018) uma técnica semelhante à técnica criada por Bozgeyikli. Observando a Figura 28 pode-se notar na esquerda que o usuário define uma posição para o teleporte e depois recebe um feedback visual prévio do local futuro, podendo escolher a direção do avatar ao finalizar o teleporte e visualizar previamente o local futuro. Essa dissertação não encontrou na literatura dados que comparem diferentes feedbacks para o teleporte.

**Figura 28 – Técnica de locomoção do jogo Budget Cuts (2018).**



Fonte: NEAT CORPORATION (2018).

#### 4.4 PONTOS AO LONGO DO CAMINHO

Outra maneira de se movimentar através de *ray-casting* é desenhando pontos ao longo do caminho. O usuário escolhe um trajeto e o personagem vai caminhando e parando em cada ponto escolhido. Na pesquisa de mercado foi encontrado apenas um jogo que utilizava pontos ao longo do caminho para a movimentação do próprio avatar. *Waltz of the Wizard* (2016), apresenta um sistema misto de movimentação, dando ao usuário várias técnicas de locomoção como joystick, caminhada, teleporte e pontos ao longo do caminho.

O motivo de ter encontrado apenas um jogo com pontos ao longo do caminho pode ter sido pelo fato da técnica não funcionar bem em ambientes com curvas. Segundo Bowman et al. (1999) pontos ao longo do caminho não é recomendado para ambientes virtuais que apresentem curvas, porque o usuário precisa criar uma vasta quantidade de pontos para gerar uma curva.

Em jogos com perspectiva externa (por exemplo jogos de estratégia) a movimentação de unidades ou tropas do jogador também pode acontecer através de pontos ao longo do caminho. Por exemplo, na Figura 29 o usuário seleciona sua tropa e pode desenhar pontos para que os objetos 3D cheguem até o destino.

Figura 29 – Pontos ao longo do caminho para controle de tropas em jogos de estratégia.



Fonte: CARBON GAMES (2016).

Outra abordagem semelhante a pontos ao longo do caminho é a técnica de desenhando o caminho. Ela funciona da mesma maneira, mas de forma contínua. O avatar permanece se movimentando até chegar no último ponto do caminho que foi desenhado pelo usuário.

#### 4.5 FLASHLIGHT E APERTURE SELECTION

*Flashlight* é uma técnica de seleção volumétrica criada por Lian e Green (1994) que pode ser utilizada para selecionar elementos que estão presentes dentro de um espaço tridimensional. Essa técnica funciona a partir da representação gráfica da luz de uma lanterna e o usuário seleciona objetos que estão colidindo com a representação do feixe.

Dois anos depois Forsberg et al. (1996) criaram a técnica de *aperture selection*, que apresenta interação similar ao *flashlight* mas, com o aprimoramento do usuário poder definir qual o diâmetro do feixe de luz produzido. Definir o tamanho do feixe faz com que a seleção volumétrica seja controlada e minimiza a chance de o usuário selecionar um objeto que está próximo de outro.

Apesar de ter sido criada em 1994, a técnica de *flashlight* foi encontrada na análise de aplicações do mercado, no jogo “Until Dawn. Rush of Blood (2016)”. Entretanto, a presente dissertação utilizará a técnica de *aperture selection*, devido ao aprimoramento de poder controlar o raio de abertura do feixe e por ser uma técnica mais precisa para tarefas de seleção 3D.

#### 4.6 CAMINHADA

A caminhada é uma técnica de interação isomórfica que funciona a partir do mapeamento direto da movimentação do usuário no mundo real para o mundo virtual. A técnica de caminhada ocorre através do uso de sensores que rastreiam o posicionamento do HMD ou do usuário como câmeras, Kinect, sensores do Oculus Rift ou HTC VIVE, entre outros. Segundo Frank Steinicke et al. (2013) por ser uma técnica natural, a caminhada é de fácil aprendizagem, não provoca enjoo e é imersiva por simular a realidade. Entretanto, em experiências de RV, podem ocorrer diversos problemas com o uso desta técnica de interação, como por exemplo, pouco alcance da área de navegação, quedas do usuário provocadas pelo fio do HMD e colisões com objetos ou paredes do ambiente físico (Figura 30).

**Figura 30 – Acidente com usuário provocado por queda.**



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Na literatura pode-se encontrar trabalhos que comparam diferentes técnicas de locomoção, como caminhada, WIP, joystick e ray-casting. O trabalho de Nabiyouni et al. (2015) comparou o uso de técnicas naturais, seminaturais e não-naturais. Os pesquisadores calcularam precisão e tempo dos usuários para completar um mesmo percurso utilizando caminhada, caminhada com Virtusphere (Figura 31) e joystick. Os autores identificaram que o uso do joystick demonstrou ser mais preciso do que a virtusphere e a caminhada. Entre o uso de caminhada e joystick as médias de tempo e precisão foram semelhantes, mas com vantagem para a técnica de joystick. A técnica que utilizava o Virtusphere causou dificuldade nos usuários porque

estavam andando dentro de um globo de ferro, além disso a técnica também apresentou atraso e menos graus de liberdade do que a caminhada natural, impossibilitando o usuário se movimentar para os lados e prejudicando a fidelidade da interação.

**Figura 31 – Imagem de um usuário no Virtosphere.**



Fonte: NABIYOUNI et al. (2015).

Em contraponto ao Virtosphere, a técnica de caminhada foi considerada de alta fidelidade. O usuário tinha simetria e fidelidade, ou seja, a interação virtual era exatamente igual à caminhar no mundo real, com os mesmos graus de liberdade, velocidade e aceleração. No trabalho desenvolvido por Nabiyouni et al. (2015) o usuário não podia visualizar seu corpo inteiro, sendo esta a única diferença entre caminhar no mundo real e virtual.

Por questões de alcance, a técnica de caminhada é recomendada para ser implementada quando a área virtual for um ambiente fechado ou área delimitada que não chegue a ser um mundo aberto. Os desenvolvedores devem fornecer ao usuário alguma técnica extra para ajudar na locomoção, caso ocorram impossibilidades como iminência de colisão com paredes. Jerald (2016) sugere que as técnicas de caminhada sejam utilizadas em experiências que busquem imersão e realismo, pois são técnicas naturais e imersivas. Ele também sugere que a técnica seja utilizada em AVs do tamanho de uma sala ou que não seja mundo aberto para evitar cansaço e tontura nos usuários.

Algumas das aplicações que utilizavam a técnica de caminhada encontradas na análise de mercado apresentavam AVs pequenos (Figura 32). Jogos com temática

de puzzle, detetive ou diversão que utilizavam áreas com proporção aproximada de 5x5 metros e não provocam colisões ou cansaço físico nos usuários.

**Figura 32 – Jogo Job Simulator com espaço virtual pequeno.**



Fonte: OWLCHEMY LABS (2016).

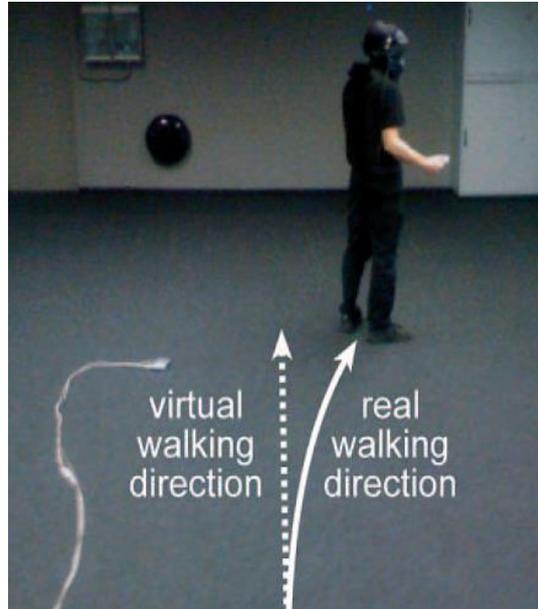
#### 4.7 CAMINHADA REDIRECIONADA

A caminhada redirecionada é uma técnica de locomoção que permite a locomoção por AVs com cenários amplos em espaços físicos de no mínimo 2,0 metros por 1,5 metro. A caminhada redirecionada funciona através dos mesmos dispositivos que a técnica de caminhada. Segundo estudos de Bruder et al. (2015), na psicologia perceptiva, a visão humana geralmente domina a propriocepção e a sensação vestibular quando os sentidos estão em desacordo. A técnica de caminhada redirecionada acontece quando o usuário se movimenta em curva no mundo físico, mas anda em linha reta no AV. Ao se movimentar fazendo curvas o usuário evita colisões com paredes ou móveis e consegue percorrer maiores distâncias.

A Figura 33, retirada do trabalho de Steinicke et al. (2010), demonstra o funcionamento da técnica de locomoção. Na imagem pode-se identificar o caminho reto que o usuário faz no AV e o caminho curvo que ele faz no mundo físico. Segundo trabalhos de Steinicke et al. (2010) e Bruder et al. (2015) o usuário consegue perceber a discrepância entre o caminho real e virtual quando o raio da curva realizada é menor que 22 metros, portanto quanto mais suave for a curva, menos perceptível será a sensação de desacordo entre o caminho do AV e do

espaço físico.

**Figura 33 – Experimento realizado por Steinicke et al. (2010), a linha tracejada representa o caminho virtual e a linha curva representa o caminho físico.**



Fonte: STEINICKE et al. (2010).

Na análise das aplicações do mercado não localizamos o tipo de caminhada redirecionada citado acima. Entretanto, foi identificada uma outra forma de caminhada redirecionada, como no jogo independente de 2016 “Cosmic Wandering” (Figura 34) que apresenta um sistema de navegação utilizando caminhada redirecionada através de pausas preventivas para evitar colisões com o ambiente físico. A técnica funciona quando o usuário anda pelo AV em linha reta sem fazer curva, mas quando está perto de colidir com uma parede ou objeto no espaço físico o software gera um feedback visual. Após receber o aviso de colisão o usuário pode rotacionar 180° para mudar de direção no mundo físico e permanecer com a mesma orientação no mundo virtual. O ambiente do jogo é de mundo aberto e o uso da caminhada redirecionada garante que os usuários consigam utilizar caminhada para se locomover naturalmente.

**Figura 34 – Ambiente virtual do jogo Cosmic Wandering.**



Fonte: ABOVE AND BEYOND SOFTWARE (2016).

#### 4.8 CAMINHADA ESCALONADA

A caminhada escalonada é uma técnica de interação que funciona com os mesmos dispositivos da técnica de caminhada, mas o movimento do usuário é escalonado e acontece de maneira mais rápida do que no mundo físico. A caminhada escalonada permite que usuários caminhem grandes distâncias no AV estando em espaços físicos reduzidos, como por exemplo o espaço físico de uma sala. A técnica de caminhada escalonada foi apresentada em 2007 por Interrante et al. (2007), e foi chamada de “Seven League Step”, baseada na história do folclore europeu de uma bota que faria uma pessoa se movimentar 7 léguas a cada passo. A Seven League Step permite que o usuário ande inicialmente com escala de velocidade padrão de 1.0 (escala de movimento 1 para 1 em relação ao usuário) e aumente suavemente a escala de velocidade até chegar em 7.0. O trabalho de Interrante et al. (2007), comparou caminhada escalonada com outras técnicas de locomoção da época, como caminhada, caminhada com velocidade 7 vezes maior e voo utilizando controles (bater asas). A pesquisa demonstrou que os usuários preferiam caminhada escalonada do que os outros métodos no cenário criado pelo autor, representado pela Figura 35. A caminhada escalonada apresentou melhor controle de movimentação e menos enjoo do que a técnica de caminhada com velocidade 7 vezes maior.

**Figura 35 – Cenário utilizado no trabalho de Interrante et al. (2007).**



Fonte: INTERRANTE et al. (2007).

Atualmente a técnica de caminhada escalonada pode ser encontrada em aplicações de RV do mercado. Em nossa análise encontramos o jogo de 2016 Super Island God VR (Figura 36). O jogo apresenta um AV onde o jogador é um Deus e tem que gerenciar uma ilha e seus habitantes. As passadas físicas do usuário são escalonadas no AV quando é necessário sair de uma parte da ilha para outra. A escala de velocidade aumenta de acordo com a quantidade de passadas que o usuário está realizando, fazendo com que os jogadores consigam ir de um lado ao outro da ilha com poucas passadas.

Figura 36 – Jogo Super island God VR (2016).



Fonte: EMPYREAN INTERACTIVE (2016).

#### 4.9 WALKING IN PLACE E ARM SWING

A técnica de WIP funciona através do gesto de caminhar sem sair do lugar. Ela pode acontecer com o uso de câmeras ou de forma simplificada apenas pela movimentação em conjunto do HMD e dos controles para RV. WIP apresenta 1 grau de liberdade e pode ser utilizada quando o AV for maior que o ambiente físico ou quando o usuário não pode se movimentar no mundo físico por questões de pouco espaço ou obstáculos no ambiente físico.

Outra maneira de se locomover sem sair do lugar é através da técnica *Arm Swing*. A técnica também apresenta 1 grau de liberdade e funciona a partir dos controles para RV, equipamentos vestíveis ou câmeras. Os usuários devem mover seus braços simulando uma corrida para que o personagem se movimente. WIP apresenta mais realismo pois o usuário está movendo o corpo todo, como no movimento natural, mas a vantagem de usar *arm swing*, em vez do WIP, está no fato de que o usuário pode cansar menos movimentando apenas os braços.

Figura 37 – AV do trabalho de Nilsson et al. (2013), caminho percorrido pelo usuário.



Fonte: NIELS et al. (2013).

O trabalho de Nilsson et al. (2013) fez comparações entre as técnicas de WIP, *arm swing* e controle a partir de teclado em ambientes virtuais grandes. O experimento comparativo foi feito com um grupo de 20 pessoas, 17 homens e 3 mulheres, em um cenário extenso com um caminho de 400 metros para ser seguido. Os pesquisadores investigaram características como naturalidade, presença, cansaço do usuário e nível de *drift* (deslocamento da posição inicial). Os resultados demonstraram que *arm swing* foi mais natural, menos cansativo, teve melhor sensação de presença e apresentou menos *drift* do que a técnica WIP.

O trabalho de Wilson et al. (2016) apresenta um comparativo entre *arm swing*, WIP e caminhada natural. O objetivo do trabalho foi avaliar uma técnica de WIP utilizando um dispositivo acelerômetro de baixo custo e verificar o funcionamento e a noção de profundidade. O experimento do trabalho foi feito com 18 pessoas em um espaço físico de doze por nove metros com um AV circular de 50 metros de diâmetro. Os usuários utilizavam as três técnicas de locomoção para realizar a tarefa de pegar seis objetos que estavam posicionados de forma circular. A posição inicial do usuário era de oito metros de raio em relação aos objetos que ele deveria selecionar. A tarefa consistia no usuário orientar-se em relação ao objeto que deveria pegar, ir até o local utilizando uma das três técnicas de navegação e depois voltar para o centro do cenário. Os resultados do trabalho demonstraram que a caminhada natural foi melhor do que as técnicas de WIP e *arm swing*. Comparando WIP e *arm swing* foi constatado que a técnica de WIP apresentou problemas de latência, mas demonstrou ser melhor do que a *arm swing*. Os usuários indicaram que a técnica de WIP permitia que o avatar se movesse lentamente quando o

movimento das pernas do usuário era lento, tornando a técnica mais precisa para realizar a tarefa.

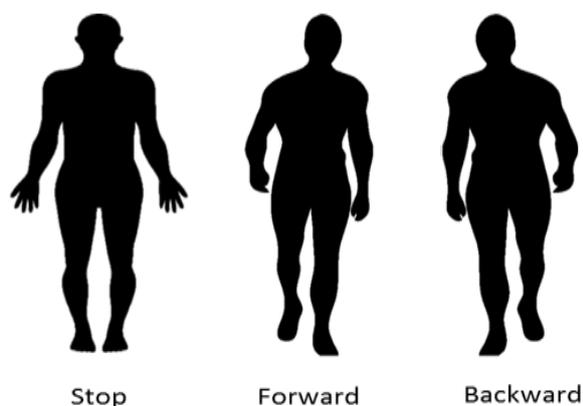
Os resultados dos dois trabalhos divergem sobre qual técnica apresentou melhor desempenho, mas o cenário do trabalho de Nilsson et al. (2013) era de grande proporção com um percurso de 400 metros (Figura 37), enquanto que o cenário do trabalho de Wilson et al. (2016) era uma circunferência de 50 metros de diâmetro. Portanto, em cenários grandes a técnica *arm swing* pode se comportar melhor pois os usuários ficam menos fatigados, enquanto que em cenários de tamanho médio, a técnica de *WIP* pode ser mais precisa por ser mais natural controlar as passadas utilizando os pés do que as mãos.

#### 4.10 TÉCNICA DE CONTROLE DE ESTEIRA COM O PÉ

A técnica de locomoção desenvolvida por Amir et al. (2016) funciona através de rastreamento por Kinect. Para interagir o usuário pode permanecer com os pés no mesmo alinhamento, com o pé esquerdo para a frente ou para trás (Figura 38). O posicionamento com os pés no mesmo alinhamento define que o avatar está parado e a localização do pé esquerdo define para qual direção o avatar vai se mover, para frente ou para trás. Os movimentos do avatar ocorrem através de uma esteira virtual de 1 grau de liberdade e o direcionamento é baseado na orientação do torso do usuário. Não foi encontrado na literatura uma nomenclatura para a técnica e, por isso, no presente trabalho iremos chamá-la de “controle de esteira virtual com o pé”.

O trabalho de Amir et al. (2016) descreve a construção das interações de um jogo do gênero tiro em primeira pessoa (FPS) com o objetivo de criar interações naturais. A pesquisa não teve foco em realizar testes comparativos com os usuários, apenas em receber feedbacks sobre as técnicas. Alguns usuários demonstraram feedbacks que não aprovaram a escolha da técnica de navegação. Analisando o método de locomoção escolhido pode-se considerar que o principal problema da interação é o fato de o usuário não poder andar para os lados dentro de um jogo do gênero FPS. A técnica funcionaria melhor em aplicações que não necessitassem movimentos laterais do avatar.

**Figura 38 – A Figura demonstra os três estágios da interação. O usuário pode ficar parado na posição inicial, com o pé dominante para frente ou para trás.**



Fonte: AMIR et al. (2016).

#### 4.11 JOYSTICK

*Joystick* ou teclado podem ser utilizados quando não existe espaço físico para executar as interações ou quando não existirem outros dispositivos disponíveis. Locomoção utilizando *joystick* ou teclado funciona a partir do mapeamento das direções dos movimentos do avatar para os botões dos dispositivos. Teclado ou *joystick* podem gerar até 3 graus de liberdade, com dois graus para movimentação e um para pulo ou agachamento, enquanto que o HMD gera mais 3 graus para orientação. J. Jerald (2013) afirma que as técnicas de controle de esteiras utilizando *joystick* têm baixa fidelidade de interação, não sobrecarregam o pensamento do usuário e são simples de controlar, mas podem provocar problemas de enjoo em algumas pessoas. No presente estado da arte já foram apresentados alguns trabalhos que compararam técnicas de locomoção natural ou *ray-casting* com a técnica de *joystick* ou teclado. Os trabalhos de Mahdi Nabiyouni et al. (2015) e Bozgeyikli et al. (2016), apresentados nas seções de caminhada e teleporte, demonstram comparativos do uso do *joystick* ou teclado com outras técnicas de navegação.

No mercado, alguns jogos que não foram feitos exclusivamente para RV e que foram portados para PSVR, Oculus Rift ou HTC VIVE funcionam com controles a partir de joysticks ou teclado, como por exemplo, o Resident Evil 7 (2017) no Playstation VR ou o Subnautica (2018) no Windows. Outros jogos criados

exclusivamente para RV utilizam *ray-casting* ou caminhada para locomoção primária e *joystick* como opção secundária. O *joystick* pode ser usado caso ocorra iminência de colisão em movimentação natural ou quando o espaço físico não é suficiente para interagir com caminhada. Além de *joystick* também é possível utilizar técnica de teleporte, a escolha entre utilizar uma técnica ou outra depende do nível de conforto do usuário. A técnica de teleporte é mais confortável, enquanto que *joystick* pode causar *cybersickness* em alguns usuários.

#### 4.12 BICICLETA

A última técnica apresentada no estado da arte descreve interações baseadas em bicicleta. Elas podem ser utilizadas em aplicações que tenham como temática atividades físicas. Na presente pesquisa foram encontrados na literatura dois trabalhos que utilizaram interações baseadas em bicicleta. O trabalho de Shaw et al. (2017) apresenta um simulador de corrida que utiliza uma bicicleta ergométrica com hardware customizado, conseguindo transportar a velocidade de pedalada do usuário no mundo físico para o mundo virtual. A bicicleta ergométrica desenvolvida não tinha graus de liberdade no quadro e não permite a mudança de direção do usuário, tornando a cabeça como referência de navegação e a bicicleta como uma esteira de 1 grau de liberdade. O simulador desenvolvido apresentava feedback sonoro e de vento para tornar a experiência mais imersiva. O objetivo do trabalho foi analisar o uso dos feedbacks sonoro, do vento e de resistência dos pedais para medir imersão e motivação dos usuários. Os resultados demonstraram que o feedback de som apresentou mais motivação e imersão do que os outros *feedbacks* quando testado sozinho. Outra constatação foi que os *feedbacks* funcionam melhor quando utilizados ao mesmo tempo. Sobre a resistência dos pedais, foi demonstrado que a imersão é aumentada, mas há diminuição da motivação dos usuários por causa do esforço físico, fazendo os autores concluírem que apenas a simulação da atividade física já é suficiente para gerar imersão sem perda de motivação.

**Figura 39 – Estrutura física do trabalho de John Bolton et al. (2014).**



Fonte: JOHN BOLTON et al. (2014).

O trabalho de Bolton et al. (2014) apresenta uma versão de RV do jogo Paperboy. Os autores adicionaram um Wahoo Kickr Power Trainer a uma bicicleta (Figura 39) que envia a velocidade de pedalada para um aplicativo IOS através de *bluetooth* e o aplicativo envia as informações para o motor gráfico Unity. Segundo os autores não existe movimentação do quadro da bicicleta, impossibilitando o usuário de mudar de direção através do direcionamento do quadro, deixando a interação com apenas 1 grau de liberdade. A movimentação funciona de forma 1 para 1, quanto mais rápido o usuário pedala no mundo físico mais rápido ele vai se mover no mundo virtual. A interação de pegar e jogar os jornais foi feita através de Kinect e de forma natural, o usuário recolhe os jornais da cesta e arremessam para tentar acertar as caixas do correio. No AV existem obstáculos, mas a colisão com eles não adiciona resistência ao Wahoo Kickr Power *Trainer*. Para trabalhos futuros os autores planejam adicionar feedbacks de resistência nos dispositivos adicionados à bicicleta e movimentação ao quadro para aumentar os graus de liberdade.

#### 4.13 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO DE ESTADO DA ARTE

As técnicas de interação apresentadas no capítulo de estado da arte formam um catálogo que pode ser usado para a criação de diferentes tipos de AVs. Elas podem ser usadas em ambientes de simulação, entretenimento, esportes, entre outras

possibilidades. Pode-se observar que algumas das técnicas descritas funcionam de forma complexa e podem realizar diferentes tipos de tarefa, como por exemplo a técnica de mão virtual que pode ser aplicada em tarefas de seleção, manipulação e locomoção. É necessário que os desenvolvedores entendam cada característica de uma técnica de interação antes tomar uma decisão de projeto para que a experiência do usuário não seja prejudicada.

O próximo capítulo pretende classificar as técnicas de interação apresentadas em mapas de escolhas utilizando os cenários de uso encontrados no mercado e na literatura.

## 5 SELEÇÃO DE TÉCNICAS DE INTERAÇÃO

Esta pesquisa tem o objetivo de apresentar três mapas para escolhas de técnicas de interação para construção de AVs imersivos. Os mapas possibilitam que desenvolvedores ou alunos da área de RV possam escolher uma técnica de seleção, locomoção e manipulação para cenários de RV imersiva. Para criar os três mapas foram investigados cenários de uso que ocorrem atualmente em aplicações de RV e também, as atuais técnicas de interação presentes no mercado e na literatura como descrito no capítulo de estado da arte. A partir dos dados obtidos, foram catalogados cenários de uso para técnicas de interação de seleção, manipulação e locomoção. As próximas seções vão apresentar os cenários que foram encontrados e descrições sucintas com exemplos de uso.

### 5.1 CENÁRIOS DE SELEÇÃO

Os cenários de seleção encontrados no mercado e literatura exigiam em alguns casos a precisão e a seleção de um ou vários objetos que estavam perto ou distante do usuário. O presente trabalho encontrou oito cenários que necessitam de interações de seleção, eles podem ser observados no Quadro 4:

**Quadro 4 – Cenários de seleção.**

<b>Cenário de seleção</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplos de uso</b>
Seleção unitária próxima do usuário sem necessidade de precisão.	Cenário onde o usuário necessita selecionar um único objeto que está próximo, sem necessidade de utilizar uma técnica precisa pois a aplicação não proporciona erros de seleção.	Em um AV é necessário selecionar um cubo isolado posicionado em cima de uma mesa próximo ao usuário.
Seleção unitária distante do usuário sem necessidade	Cenário onde o usuário necessita selecionar um único objeto que está distante, sem necessidade de utilizar uma técnica precisa pois a	Em um simulador de biologia, um usuário seleciona um pássaro que está sozinho em cima de uma árvore

de precisão.	aplicação não proporciona erros de seleção.	distante.
Seleção múltipla próxima do usuário sem necessidade de precisão.	Cenário onde o usuário necessita selecionar vários objetos que estão próximos, sem necessidade de utilizar uma técnica precisa pois a aplicação não proporciona erros de seleção.	Dentro de uma aplicação de RV, um usuário seleciona vários cubos que estão posicionado em cima de uma mesa próxima.
Seleção múltipla distante do usuário sem necessidade de precisão.	Cenário onde o usuário necessita selecionar vários objetos que estão distantes, sem necessidade de utilizar uma técnica precisa pois a aplicação não proporciona erros de seleção.	Dentro de um AV de arquitetura, um cliente demanda retirar diversos quadros que estão posicionados em uma parede distante.
Seleção unitária próxima do usuário com necessidade de precisão.	Cenário onde o usuário necessita selecionar um único objeto que está próximo, com necessidade de utilizar uma técnica precisa pois a aplicação demanda que o usuário não erre a seleção.	Dentro de um AV, um estudante de medicina deseja selecionar um bisturi específico que está próximo de vários outros.
Seleção unitária distante do usuário com necessidade de precisão.	Cenário onde o usuário necessita selecionar um único objeto que está distante, com necessidade de utilizar uma técnica precisa pois a aplicação demanda que o usuário não erre a seleção.	Em um simulador de mecânica, um usuário deseja selecionar uma peça de um veículo sem selecionar outras peças que estão ao redor.
Seleção múltipla próxima do usuário com necessidade de precisão.	Cenário onde o usuário necessita selecionar vários objetos que estão próximos, com necessidade de utilizar uma técnica precisa pois a aplicação demanda que o usuário não erre a seleção.	Em um jogo de estratégia em tempo real de RV, um usuário necessita selecionar três cavaleiros posicionados no meio de outras tropas.

Seleção múltipla distante do usuário com necessidade de precisão.	Cenário onde o usuário necessita selecionar diversos objetos que estão distantes, com necessidade de utilizar uma técnica precisa pois a aplicação demanda que o usuário não erre a seleção.	Em um simulador de pintura artística 3D, um usuário demanda demarcar uma área específica para fazer o contorno de uma figura.
---	--	---

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

## 5.2 CENÁRIOS DE MANIPULAÇÃO

Os cenários de manipulação encontrados foram baseados em manipulações tridimensionais utilizando as mãos do usuário ou controles de RV com ou sem feedback háptico. No presente trabalho será utilizado a expressão “realismo” na manipulação. Esse termo pode ser entendido como uma experiência que mantenha fidelidade entre manipular um objeto no mundo físico e no AV. Portanto, as técnicas de manipulação encontradas no mercado e na literatura podem ser utilizadas nos cenários apresentados no Quadro 5.

**Quadro 5 – Cenários de Manipulação.**

Cenário de manipulação	Descrição	Exemplos
Manipulação realista com feedback háptico.	Cenário onde a aplicação demanda que o usuário manipule um objeto de forma realista, utilizando os graus de liberdade de uma mão real com feedback háptico para aumentar a sensação de pega.	Simulador de cirurgia com feedback háptico para saber se o usuário está exercendo força na manipulação de um bisturi enquanto faz a incisão cirúrgica
Manipulação realista sem feedback háptico.	Cenário onde a aplicação demanda que o usuário manipule um objeto de forma realista, utilizando os graus de liberdade de uma mão real, mas sem feedback háptico.	Em um jogo de construção de RV, um usuário utiliza o Leap Motion para manipular e escalonar objetos 3D.
Manipulação não	Cenário onde a aplicação	Em um simulador de

realista de objetos próximos do usuário	não demanda realismo na manipulação para manejar objetos que estão próximos ao usuário.	arquitetura, o usuário pode fazer a manipulação de uma maçaneta para abrir uma porta.
Manipulação não realista de objetos distantes do usuário.	Cenário onde a aplicação não demanda realismo na manipulação para manejar objetos que estão distantes do usuário.	Em um jogo de estratégia em tempo real para RV, um usuário pode manipular uma tropa distante de um lugar para o outro do mapa.

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

### 5.3 CENÁRIOS DE LOCOMOÇÃO

Os cenários de locomoção foram os que mais apresentaram variações, pois existem diversas possibilidades de navegar dentro de um AV. Os cenários encontrados foram de navegações realistas ou não, com perspectiva de visualização externa ou interna e com ou sem dispositivos de locomoção. Para definir os cenários de locomoção também foi utilizado o conceito de realismo, com o mesmo princípio da manipulação, uma experiência que mantenha semelhança entre se locomover no mundo físico e no AV. Para ser considerada uma experiência de locomoção semelhante ao real foi definido que os usuários deveriam utilizar os pés para se locomover.

Sobre os espaços físicos, foram considerados pequenos, quando classificados pelas fabricantes dos HMDs como não seguros para locomoção, por exemplo, espaços de 1 metro por 1 metro podem provocar colisão do usuário com paredes ou objetos que não podem ser retirados do caminho. Os espaços físicos seguros para locomoção natural recomendados pelos sensores variam entre 2,0 metros por 1,5 metro até o limite do alcance da quantidade de sensores adicionados no ambiente.

Os espaços virtuais foram classificados de acordo com as análises de mercado. Nas aplicações encontradas existiam ambientes do tamanho de uma sala de 5,0 metros por 5,0 metros (AVs pequenos), com áreas semelhantes a um campo de futebol com 100 metros por 100 metros (AVs médios) e ambientes mundo aberto com extensões quilométricas (AVs grandes). Para as técnicas de locomoção, foram

catalogados doze possíveis cenários como demonstrado no Quadro 6.

**Quadro 6 – Cenários de Locomoção.**

<b>Cenário de Locomoção</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplo</b>
Realista, com dispositivos dedicados para Locomoção.	Cenário onde o desenvolvedor espera que o usuário final tenha algum dispositivo de locomoção como esteiras omni direcionais, bicicletas ou algum outro dispositivo de locomoção.	Um Simulador de mergulho para RV com estação que segura o usuário, simula a inércia da água e calcula a velocidade do usuário a partir da força da braçada.
Realista, em espaço físico restrito com AV grande.	Cenário onde a aplicação demanda realismo em um AV de tamanho grande, mas o usuário tenha um espaço físico considerado pequeno pelos sensores do HMD.	FPS de RV com locomoção baseada em Kinect onde o usuário tem uma pequena área de locomoção mas consegue se mover a partir do posicionamento dos pés.
Realista, em espaço físico restrito com AV médio ou pequeno.	Cenário onde a aplicação demanda realismo em um AV de tamanho médio ou pequeno, mas o usuário tem um espaço físico considerado pequeno pelos sensores do HMD.	O usuário está em um simulador industrial de RV, mas tem uma pequena área de rastreamento para técnicas de locomoção. Para se mover de forma mais próxima da experiência real o usuário utiliza uma técnica de marcha parcial.
Realista, em espaço físico recomendado e AV pequeno.	Cenário onde a aplicação demanda realismo em um AV de tamanho pequeno e o usuário tem um espaço	Aplicação de RV onde o usuário pode se locomover através de caminhada dentro de um AV representado por uma

	físico considerado recomendado pelos sensores do HMD.	sala ou cômodo.
Realista, em espaço físico recomendado e AV médio.	Cenário onde a aplicação demanda realismo em um AV de tamanho médio e o usuário tem um espaço físico considerado recomendado pelos sensores do HMD.	Aplicação de RV onde o usuário pode se locomover através de caminhada mas para evitar colisões com as paredes ou perdas de rastreamento é habilitada a função de caminhada redirecionada.
Realista, em espaço físico recomendado e AV grande.	Cenário onde a aplicação demanda movimentação realista, em um AV de tamanho grande e o usuário tem um espaço físico considerado recomendado pelos sensores do HMD.	Aplicação de Mundo aberto em RV onde o usuário tenha que percorrer uma grande distância utilizando técnicas de caminhada, mas para não ficar cansado cada passo dado no ambiente físico é escalonado para ser maior no AV, diminuindo o tempo do percurso.
Não realista, com perspectiva de visão de Deus e sem movimento planejado.	Cenário onde a aplicação não demanda movimentação realista, com perspectiva de visão de Deus em que o usuário se movimenta de forma livre sem escolher o ponto para onde deseja se movimentar.	Jogo de Estratégia em tempo real onde o usuário tem visão superior e se movimenta de forma livre puxando e arrastando o mundo.
Não realista, com perspectiva de visão de Deus e com movimento planejado não contínuo.	Cenário onde a aplicação não demanda movimentação realista, com perspectiva de visão de Deus em que o usuário se locomova escolhendo pontos para onde deseja se movimentar.	Aplicação em um Jogo de Estratégia em tempo real de RV que o usuário planeje jogadas e se movimente selecionando pontos que criam o caminho de seu avatar.

Não realista, com perspectiva de visão de Deus e movimento planejado contínuo.	Cenário onde a aplicação não demanda movimentação realista, com perspectiva de visão de Deus em que o usuário se movimenta desenhando o caminho que deseja realizar.	Aplicação em um Jogo de Estratégia em tempo real de RV que o usuário se movimenta selecionando uma área através de um desenho contínuo para que seu avatar siga o percurso desenhado.
Não realista, com perspectiva de primeira pessoa e alta frequência de movimentação.	Cenário onde a aplicação não demanda realismo, com perspectiva de visão em primeira pessoa em que o usuário se movimenta constantemente para executar as ações.	Aplicação em um FPS de RV que o usuário se movimenta constantemente para se ocultar ou fugir dos adversários.
Não realista, com perspectiva de primeira pessoa e em cenário aberto.	Cenário onde a aplicação não demanda realismo com perspectiva de visão em primeira pessoa em que o usuário se movimenta dentro de um cenário sem bloqueios.	Aplicação em um AV de mundo aberto que não tenha paredes ou construções que possam atrapalhar o percurso do usuário.
Não realista, com perspectiva de primeira pessoa e em cenário fechado.	Cenário onde a aplicação não demanda realismo com perspectiva de visão em primeira pessoa em que o usuário se movimenta dentro de um cenário que tenha paredes ou bloqueios físicos.	Aplicação em um AV com cenários de corredor que modificam a trajetória do usuário para evitar colisões.

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

#### 5.4 CRIAÇÃO DOS MAPAS

Após classificar os cenários de uso encontrados no mercado e na literatura foi iniciada a construção dos mapas para escolhas de técnicas. Cada interação

presente nos três mapas criados nesta pesquisa foi selecionada de acordo com as perguntas-chave relacionadas com as necessidades dos cenários. Essas necessidades são sobre as características de realismo, precisão, tamanho do espaço físico, proximidade com o usuário, entre outras características. Portanto, cada mapa foi construído a partir de perguntas retiradas dos cenários de uso e as técnicas escolhidas para cada cenário foram selecionadas de acordo com suas aplicações no mercado e na literatura. As próximas três seções irão apresentar quais foram as perguntas-chave, as técnicas escolhidas e como cada mapa foi elaborado.

#### **5.4.1 Perguntas-Chave Para Construção Do Mapa De Seleção**

O primeiro mapa construído foi o de seleção, pois técnicas de seleção geralmente são interações iniciais que podem começar tarefas de manipulação e locomoção. Para construir o mapa de seleção foram analisados os oito cenários de seleção encontrados que abordavam três perguntas: precisão, distância e quantidade de objetos.

A primeira pergunta foi sobre a precisão da técnica. “Sua seleção necessita de precisão?”. Precisão é a principal característica de uma técnica de seleção, pois se a tarefa a ser realizada exigir alto nível de acerto e a técnica desenvolvida não for precisa o suficiente, a interação poderá frustrar o usuário. Como já foi citado anteriormente, capítulo de contextualização, atualmente no campo da RV existem duas maneiras para selecionar diretamente objetos de um AV, seleção baseada em mão virtual e seleção baseada em apontamento (*ray-casting*). Técnicas que utilizam mão virtual como base normalmente não são técnicas precisas, pois existe dificuldade na seleção de objetos que tenham a largura menor que um dedo. Entretanto, criando aprimoramentos para mão virtual é possível adicionar precisão na seleção. Por exemplo, IDS é uma técnica baseada em mão virtual, mas que agrega precisão através de aprimoramentos. Por outro lado, técnicas baseadas em *ray-casting* são mais precisas, pois o ponto de seleção é do tamanho da ponta do raio, possibilitando selecionar objetos de tamanho pequeno. A Figura 40 demonstra a primeira pergunta do mapa, gerando uma divisão entre técnicas precisas e técnicas não precisas.

Figura 40 – Recorte do mapa a partir da pergunta de precisão.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

A segunda pergunta-chave foi sobre a proximidade da seleção. “Quão distantes os usuários estão dos objetos que desejam selecionar? ”. A proximidade da seleção demanda qual tipo de técnica o usuário vai utilizar. Técnicas para seleção de objetos próximos são indicadas a ser realizadas através de mão virtual (Jerald 2016) pois se os objetos estão ao alcance do usuário, é natural que ele tente pegar com as próprias mãos. Portanto, a divisão do mapa se estabeleceu entre técnicas baseadas em *ray-casting* para seleção de objetos que estão distantes e técnicas baseadas em mão virtual para seleções de objetos próximos. Quando precisão é necessária e os objetos estão próximos ao usuário foram escolhidas técnicas baseadas em mão virtual com aprimoramentos, pois são as técnicas mais naturais possíveis de serem utilizadas com precisão. A Figura 41 demonstra mais uma etapa da construção do mapa de seleção, com divisão entre técnicas para seleção de objetos próximos e técnicas de seleção para objetos distantes.

Figura 41 – Recorte do mapa a partir da pergunta sobre proximidade.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

A terceira pergunta foi sobre a quantidade de objetos que o usuário selecionará. “Quantos objetos o usuário irá selecionar? ”. A quantidade de objetos determina qual

técnica poderá ser escolhida. Algumas técnicas possibilitam a seleção de diversos objetos de uma vez, enquanto outras técnicas são mais precisas e funcionam melhor para seleção de apenas um objeto por vez. Exemplificando um cenário que demande seleção unitária ou múltipla pode-se pensar em um jogo de estratégia em tempo real de RV, onde um usuário pode pegar diversos soldados utilizando a mão inteira ou selecionar uma unidade utilizando pinça ou click. A Figura 42 apresenta mais uma etapa da construção do mapa de seleção, dividindo técnicas para seleção unitária e seleção múltipla.

Figura 42 – Recorte do mapa a partir da pergunta sobre quantidade de objetos.

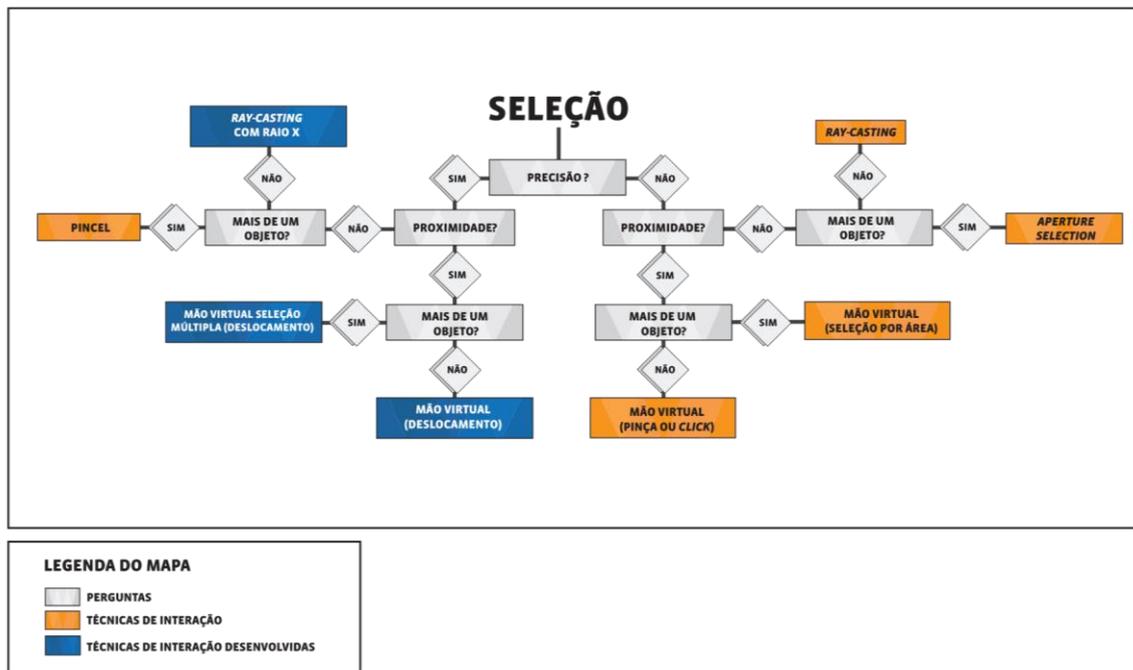


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Por fim, o mapa de seleção foi construído com as técnicas nas ramificações de cada pergunta gerada pelos cenários de uso. O mapa apresenta técnicas precisas ou não, para curta e longa distância e para um ou vários objetos. Para preencher as lacunas dos oito cenários encontrados, foram escolhidas cinco técnicas de interação existentes no mercado ou na literatura, mão virtual para seleção unitária e múltipla, *aperture selection*, *ray-casting* e pincel. Para preencher os outros três cenários restantes foram especificadas e desenvolvidas duas técnicas de interação, *ray-casting* com raio X e mão virtual com deslocamento para seleção unitária ou múltipla. Na Figura 43 estão apresentadas as técnicas escolhidas e as novas técnicas geradas como contribuição dessa dissertação.

Cada técnica presente no mapa foi escolhida por ter as características necessárias para resolver as tarefas propostas pelos cenários. Nas próximas seções serão descritas as duas técnicas de interação desenvolvidas na presente pesquisa.

Figura 43 – Mapa completo para escolha de técnicas de seleção.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

## 5.5 TÉCNICAS DE INTERAÇÃO DESENVOLVIDAS

No presente trabalho foram desenvolvidas duas técnicas de interação para seleção em ambientes de RV imersiva: mão virtual com deslocamento e *ray-casting* com raio X. As duas técnicas de interação são aprimoramentos do *ray-casting* e da mão virtual objetivando resolver problemas como oclusão e falta de precisão. As próximas duas seções vão descrever as técnicas e seu processo de construção.

### 5.5.1 Mão Virtual com Deslocamento

A técnica de mão virtual com deslocamento foi desenvolvida para cenários que tenham como requisito a precisão e o usuário esteja próximo aos objetos 3D. Ela foi criada no desenvolvimento do presente trabalho e foi implementada para ser utilizada com controles do tipo de RV, mas pode ser futuramente implementada para sensores de rastreamento como o Leap Motion. A técnica separa objetos que estão muito próximos, possibilitando a escolha correta do modelo 3D que o usuário deseja selecionar (Figura 44). Quando a mão virtual chega perto dos objetos, eles

temporariamente se afastam e facilitam a escolha. Após o usuário selecionar o objeto desejado e distanciar a mão, os objetos 3D retornam para a posição inicial.

**Figura 44 – A imagem da esquerda demonstra mão virtual com deslocamento. A imagem da direita demonstra a técnica de mão virtual simples.**



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

A mão virtual com deslocamento tem o mesmo objetivo da técnica de IDS, aumentar a precisão da seleção utilizando mão virtual. Entretanto, a técnica de IDS exige alta fidelidade de interação com a mão real e atualmente funciona através de sensores de rastreamento e luva de dados. A técnica de deslocamento foi criada porque existia a necessidade de novas técnicas de interação para tarefas de mão virtual que demandam precisão e que também possam ser aplicadas em sistemas de interação baseados em controles para RV.

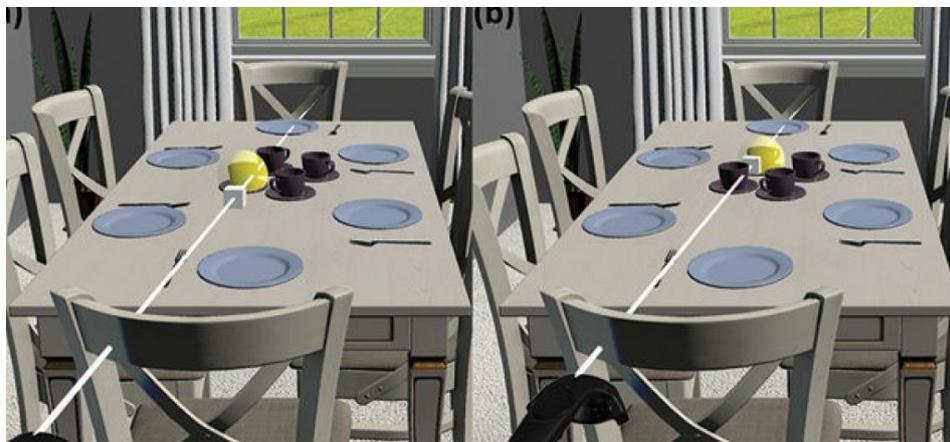
O algoritmo da técnica funciona no conceito de campo de força, cada objeto selecionável do cenário tem um campo de força que é habilitado quando a mão virtual está próxima. Por exemplo, quanto mais próxima a mão virtual estiver de uma esfera, maior será o campo de força exercido sobre as outras esferas e maior será o afastamento dos outros objetos. Esta abordagem tem o objetivo de facilitar a seleção e minimizar a chance de selecionar objetos que estão ao lado do elemento desejado.

Por ser uma técnica de interação que atualmente pode ser utilizada com mais dispositivos de input do que a IDS, a mão virtual com deslocamento foi escolhida para o mapa das técnicas de seleção em cenários de seleção precisa unitária ou múltipla quando os objetos estiverem próximos ao usuário. Os resultados dos testes com usuários serão apresentados no capítulo de resultados.

### 5.5.2 Ray-Casting com Raio X

A técnica padrão de *ray-casting* apresenta alguns problemas em cenários com objetos enfileirados, por exemplo, quando o objeto da frente impossibilita a visualização do objeto que está atrás, a seleção é dificultada. Na literatura cita-se o artigo de Grossman e Balakrishnan (2006) que desenvolve uma técnica de seleção baseada em *ray-casting* chamada de raio de profundidade. Ela funciona a partir de uma linha com um cursor controlado pelo usuário que pode se mover para a frente ou para trás e selecionar objetos que estiverem enfileirados. A Figura 45 demonstra o uso da técnica de raio de profundidade, é possível perceber que o problema de oclusão não é eliminado através do uso da técnica, mas é dada ao usuário a possibilidade de selecionar objetos que estão ocluídos através de um cursor presente no raio (cubo branco). A técnica demanda o uso de ao menos 3 botões, um para selecionar e dois para navegar no cursor.

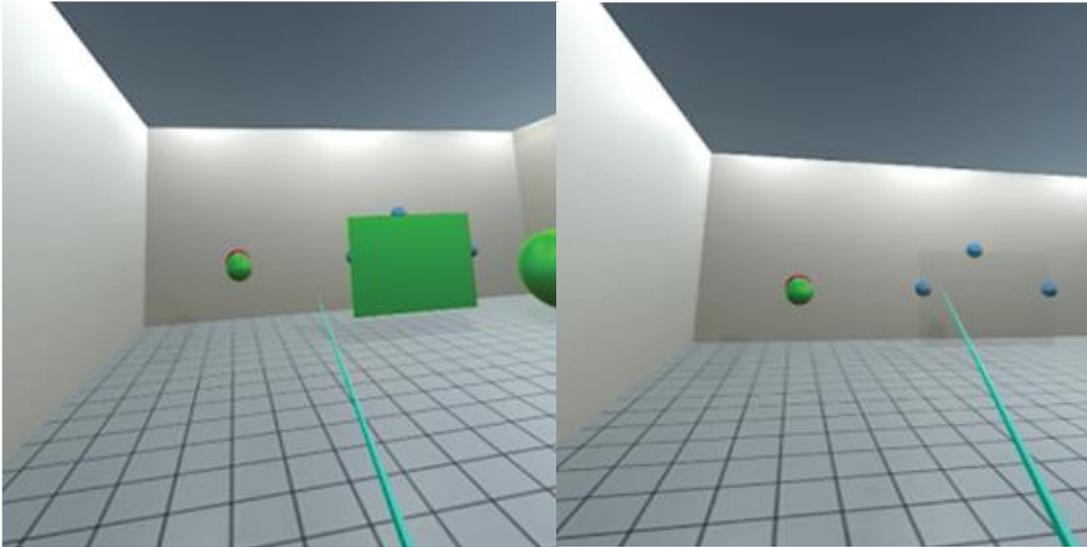
Figura 45 – Técnica de raio de profundidade.



Fonte: LAVIOLA et al. (2017).

A presente pesquisa, propõe uma nova técnica de interação que cria um mecanismo de raio X, em que os objetos que o usuário não deseja selecionar fiquem translúcidos, eliminando totalmente a oclusão dos objetos que estão atrás, como demonstrado na Figura 46. O objetivo de criar uma nova técnica de interação e não utilizar o raio de profundidade é eliminar totalmente o problema de oclusão na seleção e economizar o uso de botões do controle, já que raio de profundidade utiliza no mínimo 3 botões.

**Figura 46 – Comparativo antes e depois de utilizar a técnica de raio X.**



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

A técnica proposta funciona a partir do uso de um botão para gerar transparência e uma lógica de colisão, se o raio estiver colidindo com o objeto que foi momentaneamente “apagado” o objeto continuará invisível, mas se o raio sair da área de colisão o objeto voltará instantaneamente para sua aparência original. Em caso de vários objetos enfileirados o usuário poderá apagar de forma sequencial, até chegar no objeto desejado. Os testes da técnica de raio X serão apresentados no capítulo de resultados.

## 5.6 DESCRIÇÃO DO MAPA PARA ESCOLHA DE TÉCNICAS DE MANIPULAÇÃO

Nos cenários de manipulação, foram utilizados os conceitos de realismo, proximidade e feedback háptico. Saber se a manipulação necessita de realismo ou não, é a primeira pergunta do mapa, pois existem dois tipos, a manipulação com mão virtual isomórfica ou não isomórfica. Cada uma das técnicas depende de dispositivos de entrada diferentes, a mão isomórfica tem todos os graus de liberdade de uma mão real, deixando a experiência imersiva mais realista, mas o uso de sensores baseados em câmera ou luvas de dados é exigido. Já a mão virtual não isomórfica, não tem todos os graus de liberdade da mão real, na maioria dos casos funciona a partir de controles para RV e as interações se limitam a fechar e abrir a mão através de botões e gatilhos. Portanto, a primeira divisão do mapa de manipulação foi entre técnicas realistas e não realistas como demonstrado na Figura

47.

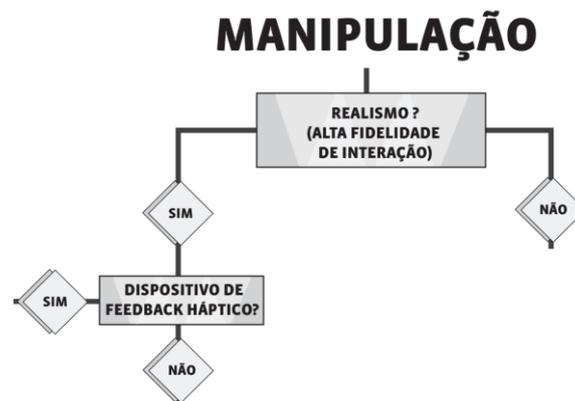
Figura 47 – Primeiro recorte do mapa de manipulação.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Para aumentar o realismo, simulação e imersão pode-se implementar mecanismos de feedback hápticos que simulem sensações de tato e peso de objetos, aumentando a fidelidade da interação, como por exemplo, adicionar sensores hápticos em simuladores medicinais que treinem a precisão de incisões com bisturi, para gerar resistência e melhorar a performance dos usuários no cenário real. A segunda divisão do mapa ficou entre técnicas realistas com ou sem feedback háptico como apresentado na Figura 48.

Figura 48 – Segundo recorte do mapa de manipulação.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Por outro lado, quando não existir necessidade de criar uma aplicação realista, pode-se utilizar técnicas não isomórficas como mão virtual simples ou *ray-casting*. As duas técnicas funcionam a partir de controles para RV e podem executar tarefas de manipulação em curta ou longa distância. A mão virtual simples é indicada para manipular objetos próximos ao usuário, enquanto que *ray-casting* pode ser utilizado para manipular objetos distantes. No cenário realista não ocorreu divisão entre

técnicas para manipulações próximas ou distantes, porque supondo que o cenário demanda realismo, os usuários estarão próximos aos objetos para manipulá-los utilizando as próprias mãos. O terceiro recorte do mapa se estabeleceu entre técnicas não realistas para objetos próximos ou não, como ilustra a Figura 49.

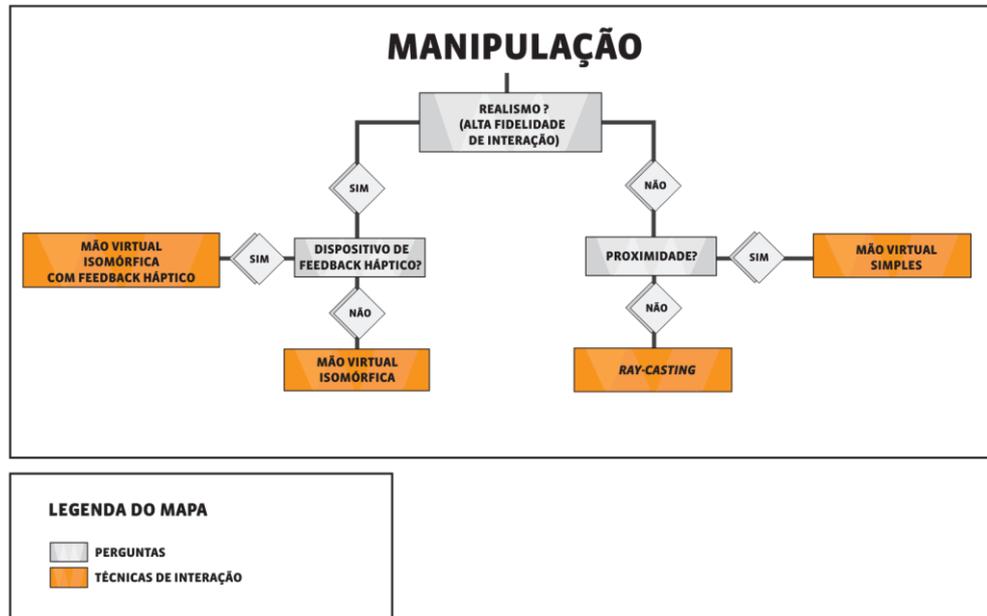
Figura 49 – Terceiro recorte do mapa de manipulação.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Por fim, o mapa de manipulação foi construído com as técnicas nas ramificações de cada pergunta gerada pelos quatro cenários de uso. O mapa apresenta técnicas realistas ou não, com ou sem feedback háptico e para manipulações próximas ou distantes. Para preencher as lacunas dos quatro cenários encontrados foram escolhidas quatro técnicas de interação existentes no mercado ou na literatura: mão virtual isomórfica com algum feedback háptico, mão virtual isomórfica, mão virtual simples e *ray-casting*. O mapa completo pode ser visualizado na Figura 50.

Figura 50 – Mapa completo para escolha de técnicas de manipulação.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

## 5.7 DESCRIÇÃO DO MAPA PARA ESCOLHA DE TÉCNICAS DE LOCOMOÇÃO

Para construir o mapa de locomoção foram escolhidos os conceitos de realismo, espaço físico, espaço virtual, tipo de perspectiva de visualização, movimentos planejados ou contínuos, frequência de movimentação e tipo de AV. A primeira pergunta do mapa compreende o tema realismo. As técnicas realistas escolhidas são as que de alguma forma utilizam os pés do usuário para a locomoção, buscando maior fidelidade de interação. Portanto, de um lado do mapa ficaram as técnicas para cenários realistas, que utilizam os pés do usuário, e do outro lado, técnicas não realistas que utilizam as mãos ou braços para se movimentar (Figura 51).

Figura 51 – Primeiro recorte do mapa de locomoção.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Partindo para o lado das técnicas realistas, a segunda pergunta escolhida foi sobre a utilização de algum dispositivo de locomoção como esteiras omnidirecionais, bicicleta, estações entre outros exemplos. Se o desenvolvedor demanda que o usuário tenha algum dispositivo para locomoção não haverá necessidade de utilizar o mapa de escolhas, pois já saberá qual dispositivo e técnica de interação deseja utilizar. Caso o desenvolvedor não demande por dispositivos de locomoção, então a próxima pergunta do mapa compreende o espaço físico do usuário (Figura 52). “O espaço físico é restrito?”. A pergunta busca saber se o espaço físico é restrito ou recomendado para interações de locomoção realistas. A presente pesquisa define espaços físicos restritos de acordo com as especificações dos sensores de rastreamento dos HMDs do mercado, definindo um espaço físico restrito como espaços que tem área de no máximo 1 por 1 metro, impossibilitando técnicas de navegação naturais.

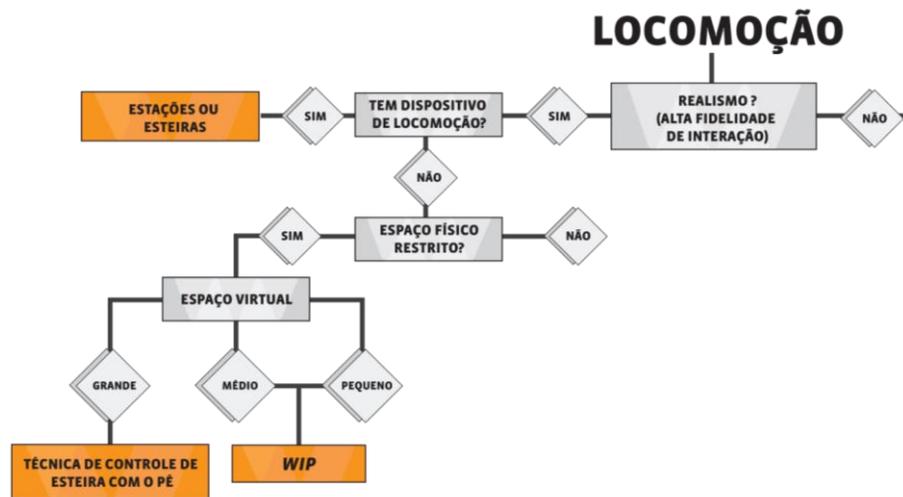
Figura 52 – Segundo recorte do mapa de locomoção.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Caso o usuário tenha uma área física para interação considerada restrita e necessite de realismo, recomenda-se utilizar técnicas do tipo marcha parcial. Quando o espaço virtual for grande, como em aplicações de mundo aberto, o usuário se cansará mais, pois terá que realizar mais movimentações, necessitando de técnicas com baixa fidelidade de interação como a técnica de controle de esteira com o pé (Amir et al. 2016). Quando o espaço físico for restrito e o AV for pequeno ou médio pode-se utilizar uma técnica com mais fidelidade de interação como WIP, pois o usuário não irá locomover-se por longas distâncias, possibilitando fidelidade de interação e não gerando cansaço. Portanto, o terceiro recorte do mapa de locomoção está ilustrado de acordo com a Figura 53.

Figura 53 – Terceiro recorte do mapa de locomoção.

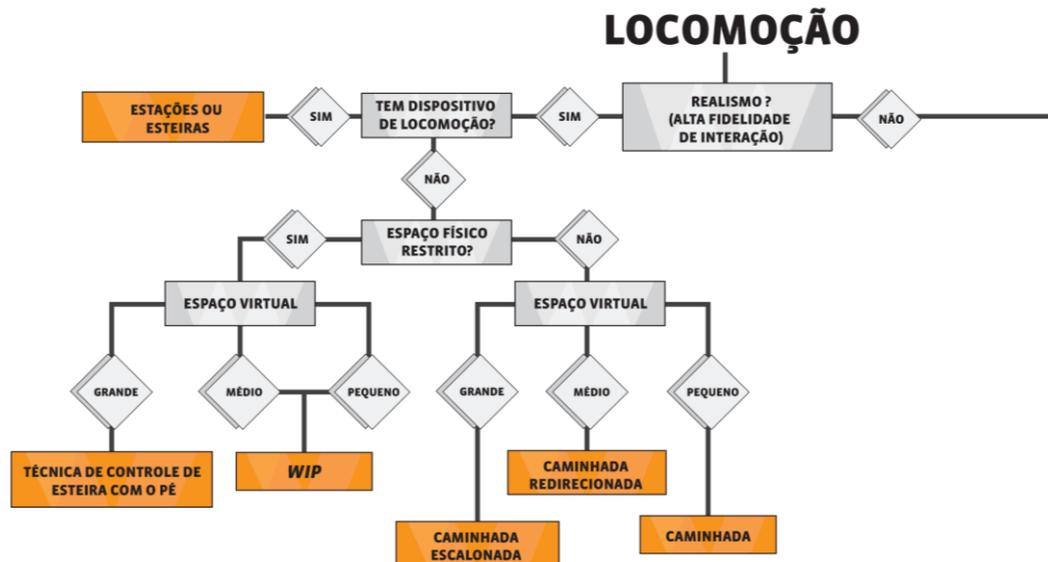


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Se o espaço físico não for restrito, com áreas recomendadas pelos sensores do HMD maiores que 2 metros por 1,5 metros, pode-se utilizar técnicas de locomoção naturais. Quando o AV for representado por uma sala, o usuário é capaz de utilizar a técnica natural de caminhada pois não ficará cansado por andar distâncias curtas. Quando AV for de média proporção, com cenários que tenham proporções de 100 por 100 metros, pode-se utilizar caminhada redirecionada, pois evitará que os usuários colidam com paredes ou saiam da área de rastreamento dos sensores. Por fim, quando o AV for de grande escala, como por exemplo um cenário mundo aberto, recomenda-se utilizar caminhada escalonada, para que o usuário não fique cansado por realizar locomoções distantes. A Figura 54 ilustra o recorte do mapa de locomoção esboçando todas as técnicas consideradas realistas.

Partindo para as técnicas não realistas, a primeira pergunta elaborada foi relacionada à perspectiva de visualização do usuário. “A perspectiva de visualização é externa?”. A visualização pode ser do tipo visão de Deus, observando o mundo de longe como em uma aplicação de estratégia em tempo real, ou do tipo perspectiva interna, visualizando o mundo virtual dentro do plano terrestre.

Figura 54 – Quarto recorte do mapa de locomoção.

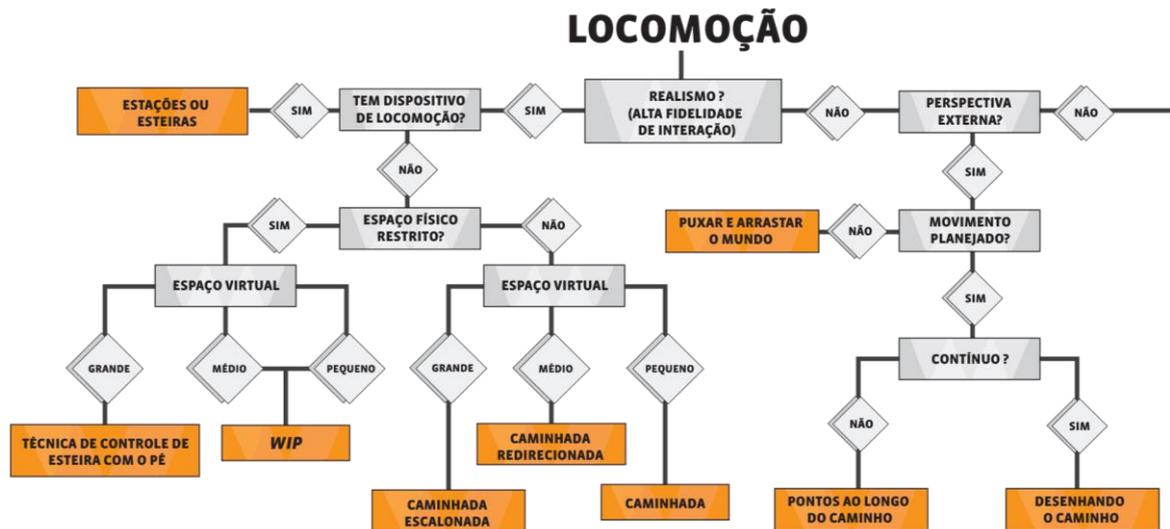


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Quando a perspectiva de visualização é externa e o usuário observa o mundo de fora do plano terrestre, ele poderá utilizar técnicas de apontamento ou de manipulação. Após saber qual é a perspectiva de visualização é necessário identificar se a movimentação do usuário será planejada. Movimentos planejados podem ocorrer em aplicações que necessitem uma abordagem estratégica, eles podem ocorrer de forma contínua ou não contínua e são executados por técnicas de seleção baseadas em apontamento. Quando o desenvolvedor desejar que o movimento do usuário seja de forma contínua, pode-se indicar a técnica de desenhando o caminho e quando o movimento for pausado, pode-se utilizar a técnica de pontos ao longo do caminho.

Em contraponto, quando o movimento não for planejado, sem necessidade de apontamento, pode-se utilizar técnicas baseadas em mão virtual para locomoção. Pode-se indicar para esse tipo de cenário a técnica de puxar e arrastar o mundo, pois ela é uma técnica utilizada constantemente em aplicações com perspectiva visão de Deus, de fácil aprendizado e que não fadiga o usuário mesmo em ambientes de grande extensão. Portanto, a Figura 55 demonstra o quinto recorte do mapa de locomoção.

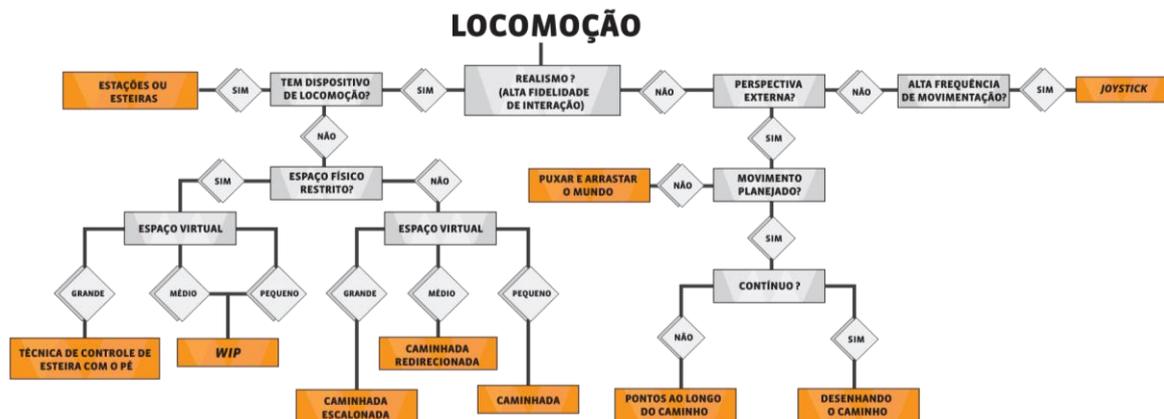
Figura 55 – Quinto recorte do mapa de seleção.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Se a perspectiva de visualização for interna a próxima pergunta a ser feita é “a aplicação demanda uma alta frequência de movimentação?”. A técnica que possibilita navegação de forma mais rápida sem utilizar algum tipo de escalonamento de velocidade é a técnica de movimentação através de *joystick* ou *trackpad*. Entretanto, se o usuário não se sentir confortável em utilizar a técnica de *joystick*, o desenvolvedor pode optar por utilizar a técnica de teleporte como técnica auxiliar com a finalidade de evitar problemas de *cybersickness*, queda ou enjoo. Portanto, a Figura 56 representa o sexto recorte do mapa.

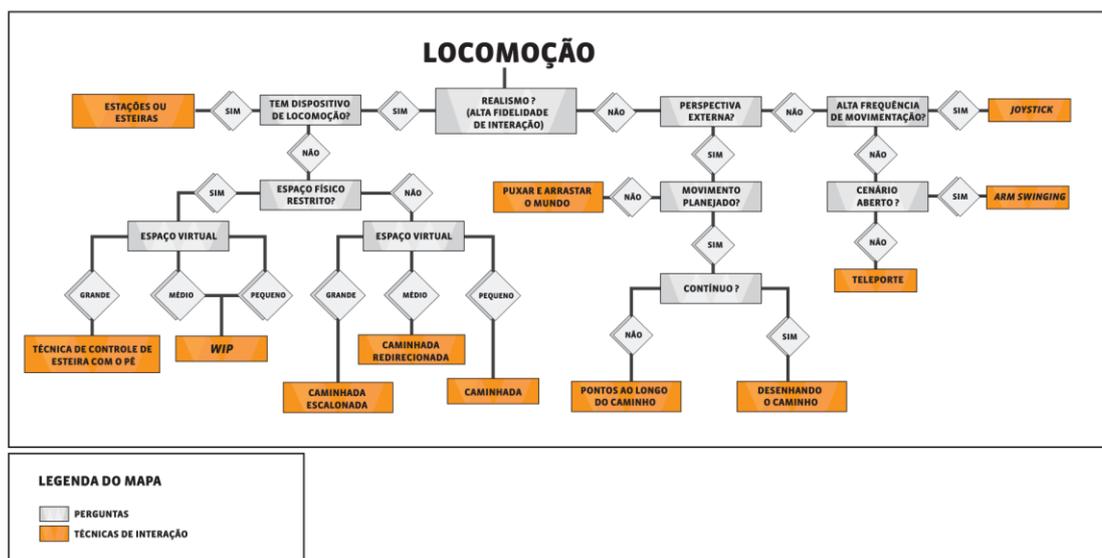
Figura 56 – Sexto recorte do mapa de locomoção.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Quando não existir demanda por alta frequência de movimentação, o desenvolvedor deve se perguntar se o cenário será um ambiente aberto ou fechado. Quando o ambiente for de mundo aberto recomenda-se utilizar arm swinging, pois o usuário poderá andar livremente utilizando apenas seus braços, simulando uma corrida sem necessitar de precisão. Em contraponto, quando o ambiente for fechado com paredes ou objetos, pode-se utilizar teleporte, através da técnica de ray-casting, pois é uma técnica precisa que evita a colisão do usuário com os objetos 3D do cenário, como relatado no trabalho de Bozgeyikli et al. (2016). Por fim, o mapa de locomoção, representado na Figura 57, foi construído com as técnicas nas ramificações de cada pergunta gerada pelos 12 cenários de uso.

Figura 57 – Mapa de locomoção.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

## 5.8 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO DE SELEÇÃO DAS TÉCNICAS DE INTERAÇÃO

O presente capítulo teve o objetivo de detalhar os cenários de uso encontrados no mercado, detalhar as técnicas implementadas e desenvolver os mapas de escolhas para técnicas de interação.

Sobre os cenários, foram encontrados ao todo 8 cenários de seleção, 4 de manipulação e 12 de locomoção. Dois cenários de seleção necessitavam da criação de novas técnicas pois as interações utilizadas apresentavam problemas ocasionados por falta de precisão e problemas de oclusão. A necessidade de novas técnicas resultou no desenvolvimento das técnicas de mão virtual com deslocamento e *ray-casting* com raio X.

Sobre as tarefas de manipulação foram encontrados apenas 4 cenários, que se diferenciam pelo uso de distintos dispositivos de interação podendo dar feedbacks para o usuário e gerar experiências com diferentes níveis de fidelidade de interação. Em contraponto, os cenários de locomoção apresentaram mais variedade e complexidade. Existem diversas pesquisas na área e diferentes cenários que necessitam de técnicas com mais fidelidade entre o movimento do usuário e o movimento do avatar, ou que simplifiquem a ação e utilizem interações por gestos, botões, apontamento ou manipulação.

Como contribuição, o presente capítulo desenvolve e descreve duas novas técnicas e três mapas para recomendar técnicas de interação para tarefas de seleção, manipulação e locomoção. As perguntas elaboradas foram realizadas de acordo com os cenários de uso e cada ramificação dos mapas contém uma técnica que pode ser utilizada para executar a função desejada pelo desenvolvedor. O próximo capítulo irá apresentar a metodologia de testes utilizada para avaliar os mapas e as duas técnicas desenvolvidas, com testes comparativos entre técnicas e entrevistas com os usuários para recolher feedbacks.

## 6 METODOLOGIA DE TESTES DOS MAPAS

Devido ao escopo do tempo do mestrado, optou-se por implementar e avaliar apenas o mapa de seleção, pois normalmente são técnicas que podem iniciar manipulações ou locomoções. Para verificar se as técnicas apresentadas no mapa funcionavam para a resolução dos cenários propostos, foram criados AVs para realização de testes com usuários. Inicialmente foi criado um ambiente para que os usuários se familiarizassem com todas as técnicas de interação. Os usuários permaneciam realizando tarefas básicas por aproximadamente 10 minutos testando as técnicas de interação até se sentirem confiantes para participarem do teste. O objetivo dos testes era demonstrar que uma forma de seleção era mais precisa ou mais rápida que outra, através de variáveis de tempo e de erro.

A metodologia de testes utilizada para avaliação do mapa de seleção pode ser utilizada para avaliar os mapas de manipulação e locomoção, fazendo testes comparativos entre possíveis técnicas nos cenários descritos no capítulo anterior. Entretanto, para avaliar os mapas de manipulação e locomoção é necessário fazer testes que investiguem variáveis relacionadas com o tipo de tarefa, como por exemplo nível de feedback háptico, imersão, fidelidade da interação, fadiga, velocidade de locomoção, quantidade de colisões e níveis de enjoo.

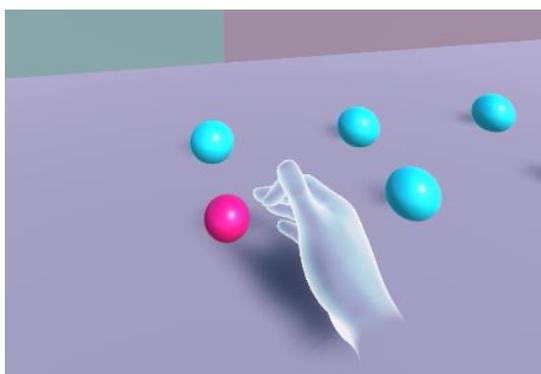
Ao todo foram desenvolvidos oito cenários e após o fim dos testes era realizada uma entrevista semiestruturada com os usuários, o objetivo foi colher feedbacks sobre as técnicas utilizadas. As próximas seções vão descrever cada cenário criado para os experimentos e o objetivo de cada teste realizado. São quatro técnicas baseadas em mão virtual e quatro técnicas baseadas em *ray-casting*. Um vídeo com os cenários de uso pode ser acessado através do presente [link](#).

### 6.1 CENÁRIO 1: SELEÇÃO UNITÁRIA PRÓXIMA DO USUÁRIO SEM NECESSIDADE DE PRECISÃO

O primeiro cenário elaborado era para técnicas não precisas, para seleções de um único objeto próximo ao usuário. O cenário apresentado pela Figura 58 continha esferas grandes e distantes umas das outras e a tarefa do usuário era selecioná-las, uma de cada vez. A técnica escolhida para realizar essa tarefa no mapa foi mão

virtual simples para seleção unitária, pois é uma técnica básica, natural, de fácil implementação e que funciona com diferentes tipos de dispositivos de entrada. Os tempos para realização da tarefa computaram a média de 2 segundos e não existia possibilidade de erro do usuário.

**Figura 58 – Cenário para seleção unitária próxima do usuário sem precisão.**

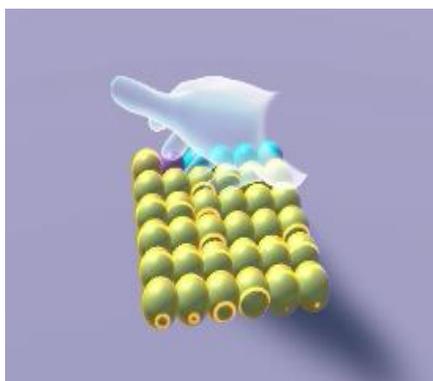


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

## 6.2 CENÁRIO 2: SELEÇÃO MÚLTIPLA PRÓXIMA DO USUÁRIO SEM NECESSIDADE DE PRECISÃO

O Segundo cenário foi elaborado para testar qual a melhor forma de selecionar vários objetos que estão próximos ao usuário. A Figura 59 ilustra o cenário com 36 esferas posicionadas no alcance da mão do usuário. Para testar qual a melhor forma de seleção, foi realizado um teste comparativo entre utilizar mão virtual simples para seleção unitária e mão virtual simples para seleção múltipla. O objetivo do teste era mostrar que utilizar a técnica para seleção múltipla seria mais rápida e menos cansativa para o usuário.

**Figura 59 – Cenário para seleção múltipla próxima do usuário sem precisão.**

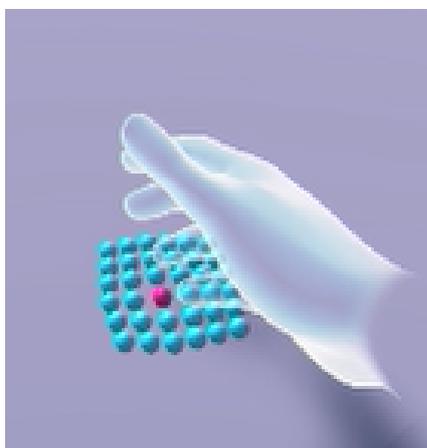


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

### 6.3 CENÁRIO 3: SELEÇÃO UNITÁRIA PRÓXIMA DO USUÁRIO COM NECESSIDADE DE PRECISÃO

O terceiro cenário apresentava esferas de tamanho médio e pequeno. A tarefa do usuário era selecionar a esfera branca que estava no meio das esferas azuis como pode ser visto na Figura 60. Para avaliar a coerência do mapa foram testadas duas técnicas, mão virtual simples para seleção unitária e mão virtual com deslocamento para seleção unitária. O objetivo da comparação era verificar qual a técnica seria mais rápida e mais precisa para o cenário. Por apresentar um experimento extenso com médias de tempo total de 30 minutos por usuário em testes piloto, a presente pesquisa definiu que os testes finais para os cenários de precisão aconteceriam em três rodadas. O objetivo dessa decisão foi não cansar os participantes, não aumentar o tempo total do experimento e para que os usuários utilizassem cada técnica no mínimo três vezes, podendo formar uma opinião concreta sobre as funcionalidades da interação.

**Figura 60 – Cenário para seleção unitária próxima do usuário com precisão.**



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

### 6.4 CENÁRIO 4: SELEÇÃO MÚLTIPLA PRÓXIMA DO USUÁRIO COM NECESSIDADE DE PRECISÃO

O quarto cenário foi construído com base no cenário anterior, mas com cinco esferas para serem selecionadas. As técnicas utilizadas para a comparação também foram mão virtual simples e mão virtual com deslocamento com uma funcionalidade extra de acumular a seleção dos objetos. Assim como no cenário 3, o objetivo dos

testes era verificar qual a técnica mais rápida e mais precisa para o cenário. Os testes também aconteciam em três rodadas, os tempos e erros eram computados para depois serem comparados. A Figura 61 apresenta o cenário elaborado.

**Figura 61 – Cenário para seleção múltipla próxima do usuário com precisão.**

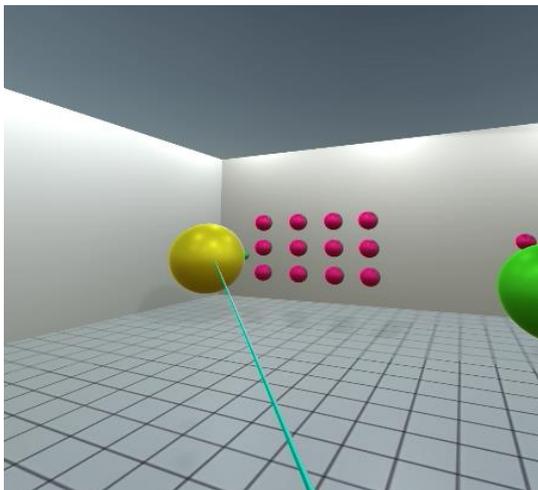


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

## 6.5 CENÁRIO 5: SELEÇÃO UNITÁRIA DISTANTE DO USUÁRIO SEM NECESSIDADE DE PRECISÃO

O quinto cenário foi construído para ser utilizado com técnicas para seleção de objetos que estão distantes do usuário. O cenário apresentava diversas esferas e o usuário tinha como tarefa selecioná-las. A técnica escolhida para o cenário foi o *ray-casting* porque é uma técnica básica, fácil de utilizar e que funciona com diversos tipos de dispositivo de input como controles e sensores de mão. Por não haver possibilidade de falhas na execução da tarefa os erros não foram computados. A média de tempo para completar a tarefa do cenário 5 foi de 2 segundos. O cenário e a técnica de *ray-casting* podem ser observados, na Figura 62.

**Figura 62 – Cenário para seleção unitária distante do usuário sem precisão.**

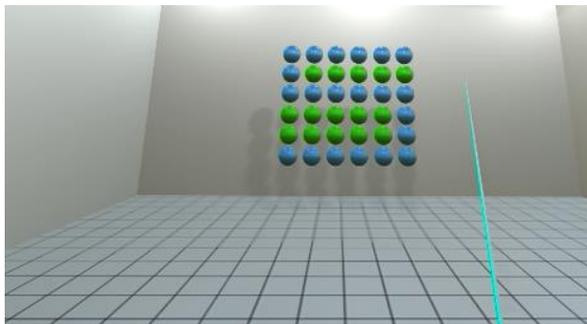


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

#### 6.6 CENÁRIO 6: SELEÇÃO MÚLTIPLA DISTANTE DO USUÁRIO COM NECESSIDADE DE PRECISÃO

O sexto cenário projetado apresentava três padrões de esferas com diâmetros de 10 cm (grande), 5 cm (médio) e 2,5 cm (pequeno). Os padrões foram posicionados à distância de 5 metros do usuário. O objetivo dos participantes era selecionar continuamente as esferas de cor azul formando um desenho, sem selecionar esferas verdes como ilustrado na Figura 63. A técnica de interação utilizada para realizar a tarefa foi o *ray-casting* com seleção contínua (pincel). O experimento visava demonstrar que a técnica de *ray-casting* com seleção contínua poderia ser utilizada em cenário de seleção múltipla que necessitassem de precisão. Foram realizados três testes por usuário, com esferas que reduziam o seu tamanho para testar a precisão. Os tempos e erros dos usuários foram computados para serem analisados.

**Figura 63 – Cenário para seleção múltipla distante do usuário com precisão.**

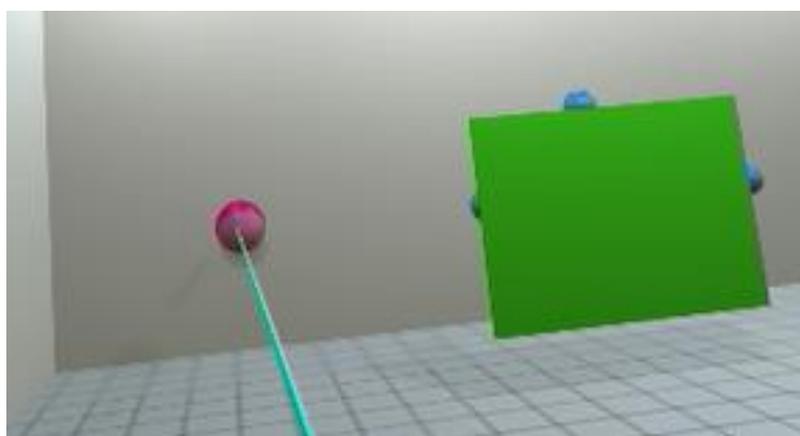


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

## 6.7 CENÁRIO 7: SELEÇÃO UNITÁRIA DISTANTE DO USUÁRIO COM NECESSIDADE DE PRECISÃO

O sétimo cenário apresentava um ambiente que necessitava de precisão para selecionar esferas que estavam ocluídas e tendo um pequeno espaço para seleção, como pode ser visto no lado direito da Figura 64. A tarefa do usuário era selecionar as esferas azuis sem colidir com as esferas ou objetos verdes. A tarefa era executada duas vezes, a primeira utilizando *ray-casting* com opção de movimentação caso o usuário tivesse dificuldades e a segunda utilizando a técnica proposta pelo presente trabalho, *ray-casting* com raio X, sem poder se movimentar no AV. O objetivo do teste foi demonstrar que *ray-casting* com raio X aumenta a precisão do usuário e reduz a necessidade de movimentação. Os tempos, erros e movimentações foram computados para análise.

**Figura 64 – Cenário para seleção unitária distante do usuário com precisão.**

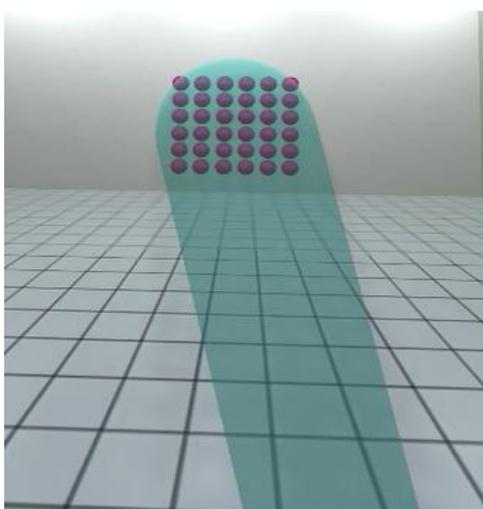


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

## 6.8 CENÁRIO 8: SELEÇÃO MÚLTIPLA DISTANTE DO USUÁRIO SEM NECESSIDADE DE PRECISÃO

No oitavo e último cenário, ilustrado na Figura 65, o usuário necessitava selecionar todas as esferas verdes da cena da forma mais rápida possível. Para realizar a tarefa foram comparadas as técnicas de *ray-casting* com seleção contínua e *aperture selection*. O objetivo do teste era demonstrar que *aperture selection* é uma técnica mais rápida de se utilizar quando o cenário não demanda precisão. Os tempos de cada teste foram computados para serem comparados e analisados.

**Figura 65 – Cenário para seleção múltipla próxima do usuário sem precisão.**



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

## 6.9 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO DE METODOLOGIA DE TESTES DOS MAPAS

O objetivo do presente capítulo foi descrever os oito cenários de teste desenvolvidos para avaliar as técnicas de interação do mapa de seleção. Cada teste gerou dados quantitativos e qualitativos, com tempos, quantidade de erros e feedbacks dos usuários. Devido ao escopo do mestrado apenas o mapa de seleção será avaliado, mas a metodologia de criar AVs com os cenários de uso e fazer testes comparativos entre as técnicas também pode ser aplicada nos mapas de manipulação e locomoção. Entretanto, é necessário fazer diferentes testes que investiguem variáveis relacionadas com o tipo de tarefa do mapa, como por exemplo nível de feedback háptico, imersão, fidelidade da interação, fadiga, velocidade de locomoção, quantidade de colisões e níveis de enjoo. O próximo capítulo irá

apresentar os resultados quantitativos dos testes realizados para o mapa de seleção, as perguntas da entrevista semiestruturada e os dados qualitativos gerados pelos usuários.

## 7 RESULTADOS

A amostra da presente pesquisa contém 25 usuários, 16 homens e 9 mulheres com idades entre 22 e 34 anos. Dentre os usuários presentes na amostra, 14 deles já haviam utilizado antes algum modelo de HMD e os modelos mais citados por esses usuários foram: HMDs mobile, Oculus Rift e HTC VIVE. A amostra foi composta por pessoas das áreas de engenharia, design e computação, o objetivo de ter escolhido uma amostra específica foi receber feedbacks de pessoas qualificadas que pudessem gerar ideias de como melhorar as duas técnicas criadas no presente trabalho. Os testes foram realizados com um Oculus Rift, dois controles do próprio HMD e um computador I5 8100, 16 GB de memória RAM DDR4 e uma GTX 1060 de 6 GB. Os usuários não sabiam quais técnicas foram criadas na presente pesquisa e quais técnicas eram da literatura ou do mercado. Cada conjunto de testes durava em média 30 minutos por usuário, obtendo dados quantitativos e qualitativos. Os testes eram pausados à medida que os usuários finalizavam cada tarefa. Os dados quantitativos eram gerados utilizando medidas de tempo e número de acertos, e os dados qualitativos foram gerados utilizando entrevista semiestruturada, transcrição dos áudios e codificação.

### 7.1 ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

A metodologia de entrevista semiestruturada foi escolhida por deixar o usuário livre para expressar suas opiniões e percepções. Essa metodologia permite que o pesquisador obtenha dados a partir do ponto de vista do entrevistado (Merriam, 2015).

As entrevistas foram feitas para analisar as duas técnicas de interação criadas no presente trabalho, *ray-casting* com raio X e mão virtual com deslocamento, assim como a técnica de *aperture selection*. Apesar de ser uma técnica presente na literatura, *aperture selection* foi escolhida para levantamento de dados qualitativos porque não foi utilizada nas aplicações do mercado analisadas, mas pode ser eficiente em algumas aplicações de RV. O objetivo das perguntas da entrevista era levantar dados sobre o uso de cada técnica de interação, fazer um levantamento de sugestões e perceber quais seriam os benefícios e dificuldades em utilizar cada técnica. As perguntas feitas nas entrevistas estão listadas no Quadro 7.

Quadro 7 – Entrevista Semiestruturada.

<b>Técnica de interação</b>	<b>Perguntas</b>
<i>Aperture selection</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A técnica ajudou na resolução da tarefa?</li> <li>2. Você sentiu dificuldades em controlar a abertura do raio?</li> </ol>
<i>Ray-casting</i> com raio X	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. A técnica ajudou na resolução da tarefa?</li> <li>4. Quais dificuldades você encontrou ao utilizar a técnica?</li> <li>5. Você sentiu dificuldades em deixar os objetos invisíveis?</li> <li>6. Foi difícil permanecer na área de colisão?</li> <li>7. Qual técnica você preferiu para resolução da tarefa ?</li> </ol>
Mão virtual com deslocamento	<ol style="list-style-type: none"> <li>8. A técnica ajudou na resolução da tarefa?</li> <li>9. Quais dificuldades você encontrou ao utilizar a técnica?</li> <li>10. A movimentação das esferas atrapalhou a seleção?</li> <li>11. Qual técnica você preferiu para resolução da tarefa ?</li> </ol>

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

## 7.2 ANÁLISE DOS TESTES COM USUÁRIOS

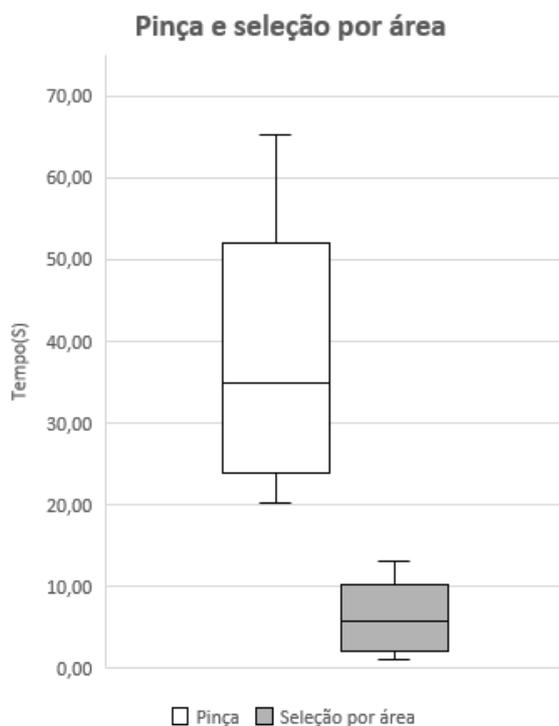
Os cenários 1 e 5 não computaram dados de erro porque as tarefas não possibilitavam erro e as técnicas de interação escolhidas são técnicas padrões do mercado e literatura, *ray-casting* e mão virtual simples. Sobre os tempos, cada cenário apresentou médias de 2 segundos para a resolução das tarefas.

Os outros 6 cenários apresentam dados computados de tempo ou erro, dependendo da necessidade do tipo da seleção. As próximas seções irão descrever os dados de cada técnica de interação testada nos cenários de uso.

### 7.2.1 Análise dos Testes no Cenário 2: Seleção Múltipla Próxima do Usuário sem Necessidade de Precisão

No cenário 2 foram comparados os tempos de execução de uma tarefa utilizando duas técnicas diferentes, mão virtual para seleção unitária e mão virtual para seleção múltipla. O gráfico da Figura 66 apresenta as médias de tempo de cada técnica.

**Figura 66 – Gráfico comparativo de tempos entre as técnicas de pinça e seleção por área.**



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

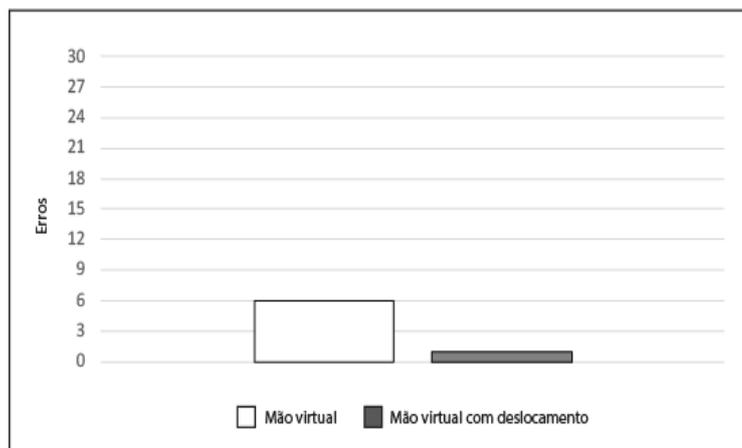
A técnica de pinça teve média de 34,93, com desvio padrão de 11,02 enquanto que seleção por área da mão teve média de 5,64 e desvio padrão de 3,38. Os dados do gráfico demonstram que utilizar a técnica de seleção múltipla foi mais rápida do que utilizar a seleção unitária, o motivo para esse resultado foi que a área da mão do usuário era maior do que a área de pinçar. Além de evitar desconforto do usuário, utilizar seleção múltipla acelera a resolução de tarefas desse tipo. Portanto, pode-se considerar que os dados comparativos demonstram que a adição da técnica de mão virtual para seleção por área no mapa elaborado pela presente pesquisa foi eficiente.

### **7.2.2 Análise dos Testes no Cenário 3: Seleção Unitária Próxima do Usuário com Necessidade de Precisão**

No cenário 3 foram comparadas as técnicas de mão virtual simples e mão virtual com deslocamento. Realizaram-se dois testes, um com esferas de tamanho 3cm (médias) e outro com esferas de tamanho 0.4 cm (pequenas). O usuário tinha o

objetivo de selecionar a esfera branca que estava em meio a outras esferas azuis. O primeiro teste realizado nesse cenário foi com esferas de tamanho médio. O gráfico da Figura 67 apresenta que os usuários erraram seis vezes com mão virtual simples e uma vez com mão virtual com deslocamento.

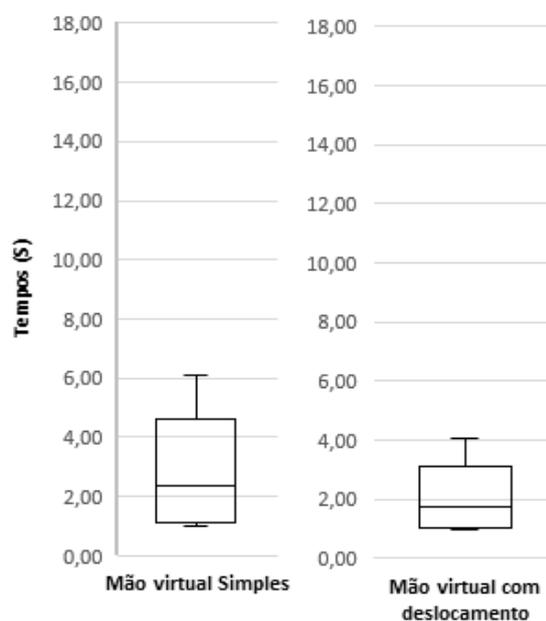
**Figura 67 – Testes cenário 3 com esferas de tamanho médio.**



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Além de computar os erros também foram gerados dados sobre o tempo de execução das tarefas. Em média mão virtual com deslocamento foi mais rápida do que mão virtual simples. A Figura 68 apresenta as médias, mínimas, máximas, além de mostrar o primeiro e o terceiro quartis dos tempos dos três testes com cada técnica de interação. As médias de tempo são parecidas, mas pode-se observar que mão virtual com deslocamento foi mais rápida que mão virtual simples, com média 1,7 segundos (desvio padrão de 1,25) contra 2,3 segundos (desvio padrão = 0,81).

Figura 68 – Tempos de testes do cenário 3 com esferas de tamanho médio.

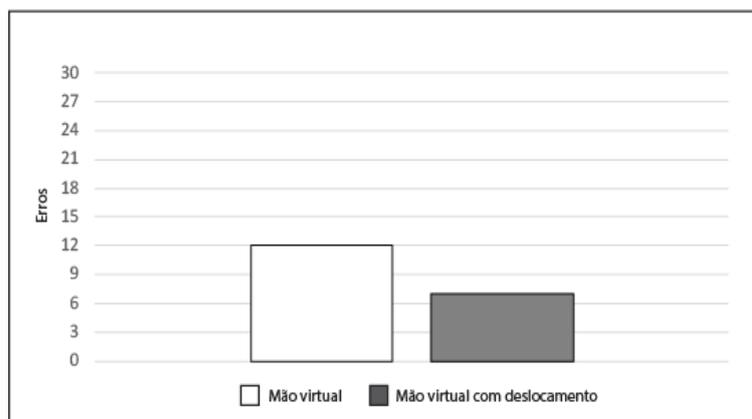


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Após realizar o teste foi perguntado para os usuários qual técnica eles preferiram utilizar para resolver a tarefa. No total 14 (56%) usuários escolheram resolver a tarefa utilizando mão virtual com deslocamento, dez (40%) usuários preferiram utilizar a técnica de mão virtual simples e um usuário não teve preferência por técnicas e afirmou que achou indiferente utilizar uma técnica ou outra.

Quando o cenário foi o de esferas pequenas o índice de erros aumentou, mas a técnica proposta teve melhor desempenho do que mão virtual simples. Como pode-se observar na Figura 69, quando os usuários utilizaram mão virtual simples eles erraram ao todo 12 vezes enquanto que com deslocamento erraram ao todo 7 vezes.

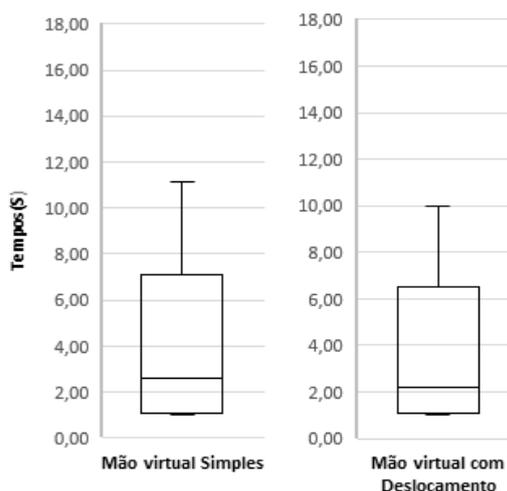
**Figura 69 – Erros cenário 3 com esferas de tamanho pequeno.**



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Os tempos de uso das duas técnicas foram muito parecidos no cenário das esferas pequenas, com médias de 2,61 (desvio padrão = 1,81) para mão virtual simples e 2,22 (desvio padrão = 1,34) para deslocamento. A Figura 70 ilustra as mínimas e máximas assim como o primeiro e terceiro quartis.

**Figura 70 – Tempos de testes do cenário 3 com esferas de tamanho pequeno.**



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

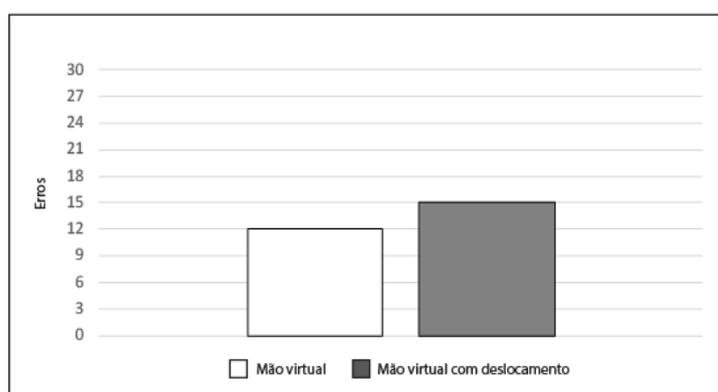
No cenário com esferas pequenas 16 usuários (64%) preferiram utilizar mão virtual com deslocamento, 7 (28%) preferiram utilizar mão virtual simples e 2 usuários afirmaram que era indiferente utilizar uma técnica ou outra no cenário com esferas pequenas. A técnica proposta conseguiu ter médias de erros mais baixas do que a técnica da mão virtual simples nos cenários médios e pequenos, além de ter a preferência dos usuários, principalmente no cenário que exigia mais precisão.

Portanto, o resultado do cenário 3 nos mostrou evidências que a técnica de mão virtual com deslocamento foi mais precisa do que mão virtual simples nos cenários com esferas de tamanho médio e de tamanho pequeno.

### 7.2.3 Análise dos Testes no Cenário 4: Seleção Múltipla Próxima do Usuário com Necessidade de Precisão

As técnicas comparadas no cenário 4 também foram mão virtual simples e mão virtual com deslocamento. A diferença entre o cenário 3 e o 4 foi a adição de mais 4 esferas, totalizando para a tarefa a seleção de 5 esferas brancas envoltas por esferas azuis. Os resultados obtidos entre utilizar as técnicas no cenário com esferas de tamanho médio e pequeno foram divergentes. A Figura 71 demonstra os dados obtidos sobre erros dos usuários quando o cenário era formado por esferas de tamanho médio. Pode-se perceber que foi melhor executar a tarefa sem utilizar a técnica de deslocamento. Os usuários erraram 12 vezes com mão virtual simples e 15 vezes utilizando mão virtual com deslocamento.

**Figura 71 – Erros no cenário 4 com esferas de tamanho médio.**

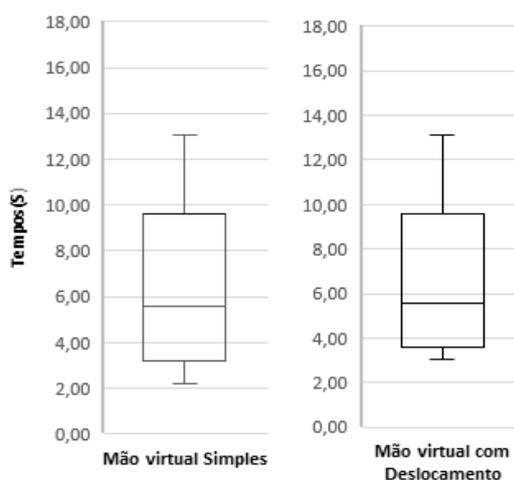


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

A Figura 72 apresenta as médias de tempos, o mínimo, o máximo e o primeiro e o terceiro quartis. Pode-se observar que as médias de tempos entre utilizar deslocamento ou mão virtual simples no cenário de esferas médias foi parecida, com tempos médios de 5,6 segundos (desvio padrão = 2,06) para mão virtual simples e 5,5 segundos (desvio padrão = 2,0) usando deslocamento. As mínimas e máximas também foram semelhantes com máximas próximas aos 13 segundos e mínimas próximas dos 2 segundos. Pode-se observar que no cenário das esferas médias a

técnica proposta provocou mais erros do que a técnica de mão virtual simples, esse dado será melhor explicado na seção de análise das entrevistas, através do feedback dos usuários sobre a movimentação das esferas, afirmando que a técnica atrapalhou a resolução da tarefa quando as esferas eram de tamanho médio.

**Figura 72 – Tempos de testes do cenário 4 com esferas de tamanho médio.**

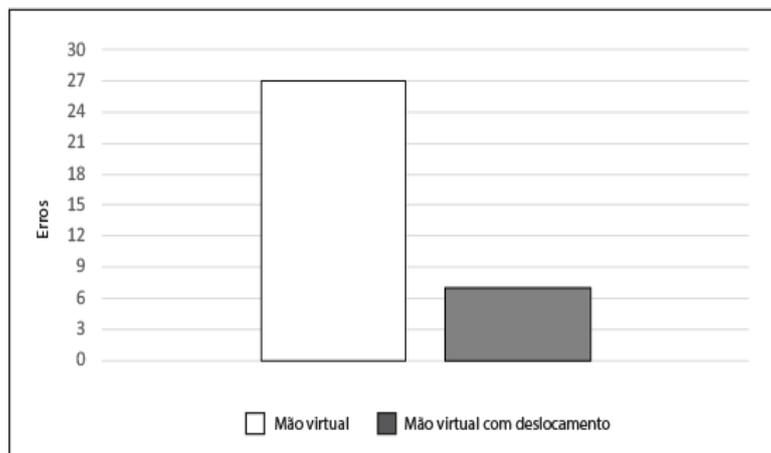


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Sobre a escolha de técnica para resolver a tarefa, a técnica proposta foi escolhida nos dois cenários. No cenário de esferas médias, 13 usuários (52%) escolheram realizar a tarefa através da técnica de deslocamento, 11 (44%) preferiram mão virtual simples e uma pessoa não teve preferências para escolher a técnica a ser utilizada.

Partindo para o cenário com esferas pequenas, pode-se visualizar na Figura 73 que a técnica proposta pontuou no total 7 erros enquanto a mão virtual simples apresentou um total de 27 erros. A técnica de deslocamento ajudou no desempenho dos usuários, 15 (60%) preferiram realizar o teste utilizando deslocamento, 7 (28%) preferiram mão virtual simples e 3 pessoas não perceberam diferença entre usar uma técnica ou outra.

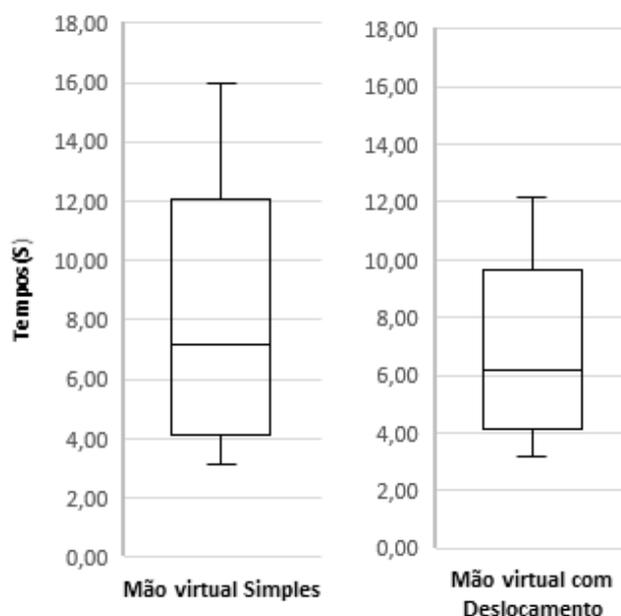
**Figura 73 – Erros no cenário 4 com esferas de tamanho pequeno.**



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Observando os tempos no gráfico da Figura 74 é possível notar que Deslocamento foi mais rápido com média de 6,1 segundos (desvio padrão = 1,61) contra 7,14 segundos (desvio padrão = 2,9) de mão virtual simples. As máximas de mão virtual simples chegaram em 16,0 segundos contra 12,2 do deslocamento.

**Figura 74 – Tempos de testes do cenário 4 com esferas de tamanho pequeno.**



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Os dados do cenário 4 demonstraram que a técnica de mão virtual com deslocamento para seleção de múltiplos objetos foi ruim no cenário com esferas de tamanho médio e boa no cenário de esferas pequenas. Os resultados contraditórios podem ser explicados pelos dados qualitativos, com o fato de que alguns usuários

não se adaptaram à movimentação das esferas quando o cenário era de esferas médias.

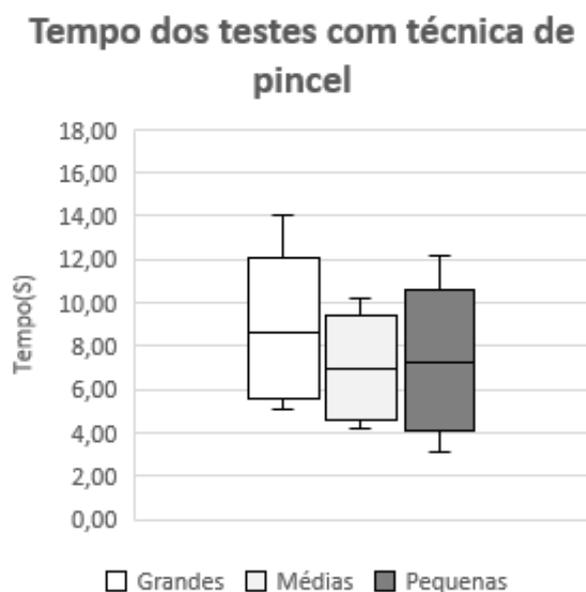
Para selecionar as 5 esferas brancas era necessário movimentar a mão por entre os outros objetos 3D próximos, encontrar a esfera correta e clicar no botão de seleção. Quando a mão virtual do usuário se movimentava perto das esferas elas se deslocavam de acordo com a proximidade do dedo indicador. As distâncias de deslocamento eram de no máximo 3 centímetros no cenário das esferas médias. Os erros aconteciam porque enquanto a mão do usuário estava próxima das esferas, o conjunto de objetos do cenário modificava suas posições iniciais. O usuário esperava que uma esfera estivesse em uma posição, mas ela estava, por exemplo 3 centímetros mais distante, provocando o erro de seleção. No cenário das esferas pequenas não ocorreram esses problemas pois as esferas se moviam distâncias menores, deslocando-se no máximo 0,5 cm de sua posição inicial.

Pode-se considerar a partir das análises dos dados que no cenário mais preciso, com esferas pequenas, a técnica de mão virtual com deslocamento apresentou ser melhor que mão virtual simples, mas mão virtual simples foi mais precisa nas esferas médias. Mais informações sobre os testes de mão virtual com deslocamento serão apresentadas na análise qualitativa.

#### **7.2.4 Análise dos Testes no Cenário 6: Seleção Múltipla Distante do Usuário com Necessidade de Precisão**

O cenário 6 utiliza a técnica de *ray-casting* com seleção contínua, também chamada de pincel. O teste consistia em o usuário fazer um desenho, representado por esferas azuis, de maneira contínua. Objetivando testar a precisão da técnica de interação, cada usuário fez três testes, um com esferas de 10 cm (grandes) e os dois outros com esferas de 5 cm (médias) e 2,5 cm (pequenas), respectivamente. O gráfico da Figura 75, apresenta os tempos que os usuários despenderam em cada teste.

Figura 75 – Tempos do cenário 6.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

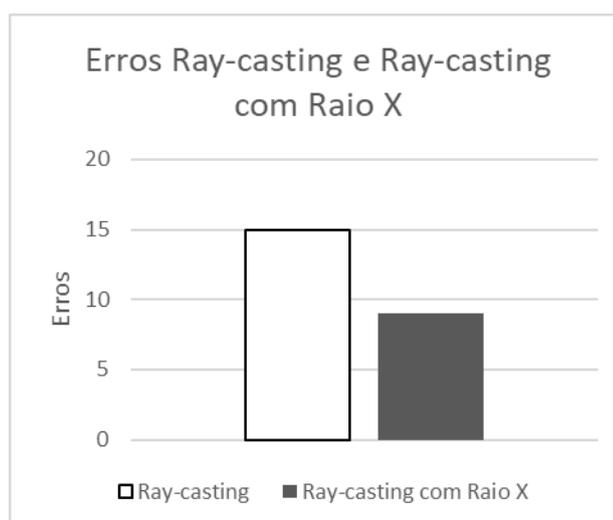
É possível observar que o teste mais rápido foi o de esferas médias com tempo médio de 6,9 segundos (desvio padrão = 1,95), pois os usuários percorriam uma distância pequena, mas sem necessidade de precisão como no cenário de esferas pequenas que teve média 7,2 segundos (desvio padrão = 2,74). Quanto aos erros, o teste com esferas grandes apresentou a maior quantidade de erros, contabilizando 3 erros no total. Nem dados quantitativos ou qualitativos podem explicar porque os usuários erraram mais nas esferas grandes. Entretanto, pode-se considerar que os usuários erraram mais no primeiro teste porque ainda estavam se acostumando com a técnica de interação proposta. Nos outros dois cenários ocorreram dois erros, um com esferas médias e outro com esferas pequenas.

No cenário 6 não ocorreram comparações com outras técnicas, apenas um teste de precisão da técnica de *ray-casting* com seleção contínua. A partir dos gráficos de tempo e do número de erros apresentados pelos 25 usuários pode-se evidenciar que a técnica de pincel supriu a necessidade dos usuários e pode ser utilizada para cenários que necessitem de seleção múltipla distante do usuário com necessidade de precisão.

### 7.2.5 Análise dos Testes no Cenário 7: Seleção Unitária Distante do Usuário com Necessidade de Precisão

No cenário 7 foram realizados testes comparativos entre as técnicas de *ray-casting* e *ray-casting* com raio X. O objetivo do usuário era selecionar 6 esferas que estavam posicionadas atrás de objetos, necessitando realizar seleção precisa. A Figura 76 ilustra um comparativo dos erros cometidos pelos usuários utilizando *ray-casting* e *ray-casting* com raio X. Pode-se observar que *ray-casting* com raio X foi mais preciso no cenário proposto, com 6 erros a menos do que a técnica não aprimorada. Além disso, para conseguir selecionar os objetos ocluídos 5 usuários necessitaram se locomover para completar a tarefa.

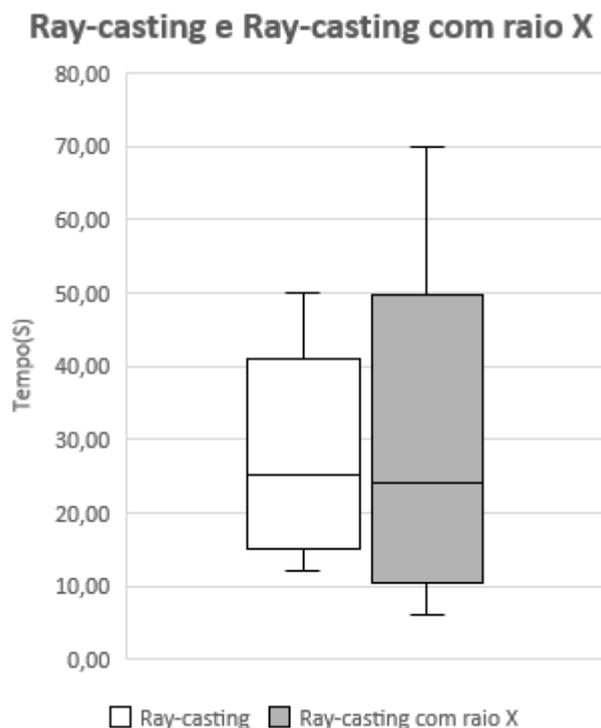
Figura 76 – Erros *ray-casting* e *ray-casting* com raio X.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Sobre os tempos, a técnica de interação criada na presente pesquisa foi mais rápida que *ray-casting*, com média de 24 segundos contra 25. Entretanto, pode-se observar através das mínimas e máximas do gráfico da Figura 77 que quando o usuário se adaptava à mecânica de seleção utilizando raio X a seleção ficava mais rápida com tempo mínimo de 6,1 segundos. Entretanto quando o usuário não se adaptava o tempo para completar a tarefa era aumentado, como pode ser visto na máxima em que um usuário demorou 70 segundos para finalizar a tarefa.

Figura 77 – Tempos ray-casting e ray-casting com raio X.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

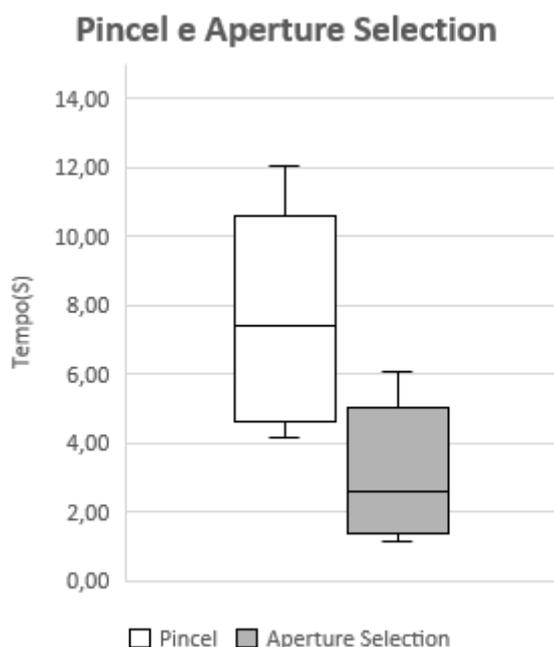
Na entrevista semiestruturada quando perguntado aos usuários qual técnica eles preferiam para resolver a tarefa, 22 usuários (88%) escolheram *ray-casting* com raio X e 3 (12%) escolheram *ray-casting* sem o aprimoramento porque não se adaptaram ao input da técnica.

A partir dos dados observados, pode-se considerar que a técnica com raio X foi mais precisa do que *ray-casting* em cenários de seleção unitária distante do usuário com necessidade de precisão. Os resultados comparativos entre as duas técnicas não foram muito diferentes, com 6 erros a mais para a técnica existente, mas pode-se afirmar que esse número de erros foi alto devido ao sistema de input escolhido que necessitava a permanência do raio na área de colisão para o objeto continuar invisível. Na análise qualitativa alguns usuários geraram sugestões para corrigir o input. Essas sugestões poderão ser implementadas futuramente para melhorar os resultados da técnica de raio X.

### 7.2.6 Análise dos Testes no Cenário 8: Seleção Múltipla distante do Usuário sem Necessidade de Precisão

No cenário 8 foram realizados testes comparativos entre as técnicas de pincel e *aperture selection* para seleção de um conjunto de esferas sem necessidade de precisão. O objetivo da tarefa era selecionar da forma mais rápida possível todas as esferas verdes do cenário. Primeiramente os usuários utilizaram pincel e depois utilizaram *aperture selection*. A comparação entre as duas técnicas foi através do tempo de execução da tarefa e a Figura 78 demonstra que *aperture selection* foi mais rápida que pincel com média de 2,56 segundos contra 7,42. Observando o gráfico, pode-se avaliar que *aperture selection* pode funcionar melhor que pincel quando o cenário demandar seleção rápida, mas sem precisão, tornando coerente a sua escolha no mapa.

Figura 78 – Tempos de Pincel e Aperture Selection.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

### 7.3 ANÁLISE QUALITATIVA DAS TÉCNICAS DE INTERAÇÃO

Como descrito na seção de entrevista semiestruturada, as técnicas escolhidas para análise qualitativa foram *aperture selection*, *ray-casting* com raio X e mão virtual com deslocamento. Após realizar as entrevistas, todos os áudios foram transcritos e analisados. Cada trecho das transcrições foi marcado e adicionados dentro de uma planilha. Após comparar os dados, todas os comentários iguais foram separados em códigos que resumiam um conceito. Por exemplo, quando um usuário falava que “a técnica foi precisa porque diminuía a oclusão”, esse comentário era representado pelo código “eliminar oclusão” e era classificado no grupo de benefícios da técnica de interação de *ray-casting* com raio X. Cada técnica apresentava benefícios, dificuldades e sugestões para melhorias. Os códigos obtidos e suas descrições estão listados no Quadro 8.

Quadro 8 – Código da análise qualitativa

<b>Códigos</b>	<b>Subcódigos e descrições</b>
Benefícios do <i>aperture selection</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Função da técnica: O que o usuário espera que a técnica faça e se ela atendeu as expectativas.</li> <li>• <i>Input</i>: O <i>input</i> foi executado da melhor maneira possível.</li> <li>• Feedback Visual: Os feedbacks visuais foram bem recebidos pelo usuário.</li> </ul>
Dificuldades do <i>aperture selection</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprendizado: A técnica demandou tempo para aprendizado.</li> <li>• <i>Input</i>: O usuário encontrou dificuldades de <i>input</i>.</li> </ul>
Benefícios do Raio X	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Função da técnica: O que o usuário espera que a técnica faça e se ela atendeu as expectativas.</li> <li>• <i>Input</i>: O <i>input</i> foi executado da melhor maneira possível.</li> <li>• Feedback visual: O feedback visual ajudou o usuário.</li> </ul>
Dificuldades do Raio X	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Input</i>: O usuário encontrou dificuldades de <i>input</i>.</li> <li>• Feedback visual: O usuário encontrou dificuldades por causa do feedback visual.</li> </ul>

Sugestões do Raio X	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Input</i>: Sugestões de <i>input</i> demandadas pelos usuários.</li> <li>• Feedback visual: Sugestões de feedback demandadas pelos usuários.</li> <li>• Tempo: Sugestões sobre tempo demandadas pelos usuários.</li> </ul>
Benefícios da mão virtual com deslocamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimentação: A movimentação das esferas ajudou o usuário.</li> <li>• Precisão: A técnica aumentou a precisão do usuário.</li> <li>• Feedback Visual: O feedback visual ajudou o usuário.</li> </ul>
Dificuldades da mão virtual com deslocamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimentação: A movimentação dos objetos atrapalhou o usuário.</li> <li>• Precisão: A técnica não foi precisa o suficiente.</li> <li>• Feedback visual: O usuário encontrou dificuldades por causa do feedback visual.</li> <li>• Cansaço do usuário: O usuário ficou cansado ao utilizar a técnica de interação.</li> </ul>
Sugestões da mão virtual com deslocamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Separação: O usuário deu sugestões de como melhorar a separação dos objetos.</li> <li>• Feedback visual: O usuário deu sugestões sobre o feedback visual.</li> <li>• Configurações personalizadas: O usuário deu sugestões sobre gerar configurações.</li> </ul>

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

## 7.4 ANÁLISE QUALITATIVA DA APERTURE SELECTION

A técnica de aperture selection foi utilizada no cenário 8 para selecionar todas as esferas de uma vez. A análise dessa técnica será dividida em duas partes, de acordo com os códigos gerados pelos usuários sobre os benefícios e as dificuldades da interação.

### 7.4.1 Os Benefícios da Aperture Selection

Após analisar as entrevistas dos usuários foi possível observar que a técnica de *aperture selection* gerou comentários sobre alguns benefícios. Era possível identificar comentários positivos sobre os benefícios da função da técnica que é

selecionar vários objetos de uma vez diminuindo o tempo de seleção. Os usuários também elogiaram o tipo de input que era fácil de controlar e fizeram comentários positivos sobre o feedback visual que ajudava no realce dos objetos que poderiam ser selecionados.

A principal função da técnica era ajudar os usuários na resolução da tarefa de seleção múltipla tornando mais rápido o desempenho. O comentário do usuário M04 exemplifica a facilidade de utilizar a técnica de *aperture selection* no cenário “Foi tranquilo, ajudou a selecionar da forma mais prática. Foi mais rápido selecionar todas as esferas de uma vez só.”. Como foi demonstrado nos resultados quantitativos, utilizar *aperture selection* foi mais rápido do que utilizar *ray-casting*.

Sobre o input, alguns usuários informaram que foi fácil controlar a área de seleção através dos botões do controle porque eles eram responsivos, como pode ser observado no comentário do usuário M07 “O raio vai bem devagarzinho, não vai de vez. Às vezes eu precisava apertar o botão e abrir o raio até um ponto, mas não abrir demais para só pegar as esferas azuis. Se eu errasse a medida de apertar o botão eu pegaria o resto das esferas, mas como foi devagarzinho eu fui conseguindo selecionar só o que eu queria.”.

Os usuários também afirmaram que a função de *hover* ajudou na seleção. Essa função demarcava o que poderia ser selecionado pelo usuário. Quando o raio colidia com as esferas elas ficavam com a cor de pré-seleção (*hover*), mudando de verde para amarelo mostrando para o usuário o que estava na área de seleção. Alguns usuários afirmaram que sem *hover* seria difícil de selecionar os objetos por causa da oclusão do cone de seleção. O comentário da usuária F08 ilustra essa percepção, “A técnica ajuda também no momento que você vai aumentando o raio pois você vai pré-selecionando, você vai vendo o que pode ser selecionado antes de apertar o botão.”.

#### **7.4.2 As Dificuldades da Aperture Selection**

As dificuldades do *aperture selection* foram o aprendizado e a funcionalidade do input. Alguns usuários expressaram que havia necessidade de tempo para se acostumar com a técnica de interação de *aperture selection*, por exemplo o usuário M5 comentou “Eu acho que foi tranquilo utilizar a técnica, mas talvez necessite de tempo para me acostumar mais com a interação”. Sobre dificuldades de input o usuário M10 afirmou que sentiu dificuldade em controlar o raio de seleção porque os

botões A e B do controle do Oculus Rift não tinham o mesmo grau de liberdade de, por exemplo, um gatilho e isso dificultava no controle da área de seleção. “Senti um pouco de dificuldade. Como a velocidade de incremento é linear então ela cresce muito rápido, se tivesse um ajuste fino de velocidade (...). Como o comando era só cresce ou não cresce, necessita de ajuste. Eu acho que depende do botão que a gente tem acesso, esse botão (A e B) é sim ou não. Ele não diz pressione metade do botão”.

Pode-se considerar que foram poucas as dificuldades encontradas na execução da técnica de *aperture selection*. Portanto, apesar de ser uma interação criada em 1996, ela pode ser utilizada facilmente com os dispositivos de interação da atualidade.

## 7.5 ANÁLISE QUALITATIVA DA TÉCNICA DE RAY-CASTING COM RAIOS X

A técnica de *ray-casting* com raio X foi utilizada no cenário 7, o usuário necessitava selecionar de forma precisa esferas que estavam ocluídas por outros objetos. As entrevistas realizadas com os usuários da técnica geraram códigos sobre benefícios, dificuldades e algumas sugestões.

### 7.5.1 Benefícios de Utilizar o Ray-casting com Raios X

Assim como na técnica de *aperture selection* os usuários comentaram sobre as funções da técnica. Alguns usuários observaram que a função da técnica era evitar o desconforto muscular e eliminar a oclusão. A técnica facilitava a seleção dos objetos e reduzia o desconforto porque retirava momentaneamente da cena os objetos que o usuário não precisava selecionar.

O comentário da usuária F16 demonstra que selecionar utilizando o raio X poderia ser mais confortável. “Sim. É melhor do que eu ficar andando e procurando uma posição. É mais confortável.”. Já o usuário M07 compara o uso das duas técnicas em seu comentário e também demonstra o conforto de usar a técnica de raio X. “Ajudou. Eu consegui sem deixar translúcido da primeira vez, mas com o translúcido foi mais fácil. Não precisava me esticar e não precisava mirar com cuidado para não errar.”.

Sobre o input da técnica, que era permanecer no ponto de colisão, alguns usuários demonstraram que a aplicação era simples, com um botão para deixar as

esferas que não deveriam ser selecionadas invisíveis, mas como será explicado na seção de dificuldades, muitos usuários não gostaram da mecânica de permanecer na área de colisão para que o objeto continuasse invisível. O comentário do usuário M14 exemplifica a simplicidade de deixar objetos invisíveis “Achei bem simples. Você tinha que apertar o botão e não remover rápido para não voltar a ficar translúcido. A parte de deixar invisível eu achei trivial.”.

Os usuários apreciaram o feedback visual de invisibilidade porque a animação deixava o objeto translúcido, mas sem fazer com que ele desaparecesse totalmente, gerando a percepção de que o objeto pode voltar a aparecer. O comentário da usuária F16 exemplifica essa percepção “O que eu gostei foi o feedback de transparência que você deixou com o mesmo formato da peça. Porque você sabe que ainda tem uma coisa ali. Você não perde a percepção do que está na frente. Você ainda consegue ver que aquele espaço é ocupado por outra coisa e qual o tamanho dela. Ficou bom.”.

### **7.5.2 Dificuldades do Raio X**

As dificuldades de usar o raio X estavam presentes em comentários sobre input e falta de alguns feedbacks visuais. O principal problema do input foi o fato de os usuários necessitarem permanecer com o raio dentro da área de colisão para que o objeto continuasse invisível. Alguns usuários não se adaptaram à mecânica e esqueceram que era necessário permanecer na área de colisão para habilitar a invisibilidade do objeto, como demonstra o comentário do usuário M02, “(...). Eu esqueci a informação de que quando você sai do raio da bolinha ela volta a acender (deixa de ficar translúcida).”.

Outros usuários mesmo lembrando como a interação funcionava geravam problemas porque movimentavam o braço e acabavam retirando o cursor da área de seleção, desativando a função de invisibilidade e provocando algum erro. O comentário da usuária F08 demonstra a dificuldade de permanecer na área da colisão: “Mas, a única coisa que eu achei ruim foi que, às vezes, eu não sei como, ele ficava transparente e mesmo assim eu selecionava. Tipo aquele erro que deu. Ele (objeto) estava transparente e aí quando eu coloquei um pouquinho para o lado ele saiu da colisão.”.

Também ocorreram dificuldades por causa de alguns feedbacks visuais. Problemas em relação ao contorno do objeto e as cores da função de pré-seleção

escolhidas. Sobre o feedback de contorno o comentário da usuária F08 exemplifica o fato de que foi difícil verificar o ponto máximo de colisão do objeto enquanto ele estava invisível: “A dificuldade foi mais ou menos essa, verificar onde é que tem colisão e aí como no primeiro momento eu não me “liguei” (lembrei) nisso, aí eu errei.”.

Sobre o feedback de pré-seleção alguns usuários sentiram dificuldades porque as cores verde e amarela eram parecidas e poderiam provocar confusão quando era iniciada a pré-seleção (*hover*). O comentário do usuário M03 exemplifica essa dificuldade: “Achei um problema na cor, quando eu estava selecionando com o raio X e depois mudava a cor da bolinha, de verde para amarelo. Acho que teria que colocar uma cor mais distinta porque amarelo e verde são cores muito parecidas. Quanto à técnica em si eu achei fácil.”.

### 7.5.3 Sugestões para o Ray-casting com Raio X

Alguns usuários sugeriram melhorias para a técnica de raio X. Essas sugestões foram geradas visando eliminar as dificuldades de utilizar a técnica de interação. As sugestões dos usuários foram divididas entre sugestões de input da técnica, feedback visual e tempo de execução. O Quadro 9 enumera as sugestões geradas pelos usuários.

Quadro 9 – Sugestões para o *ray-casting* com raio X.

Tipo de sugestão	Sugestão do usuário
<i>Input</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adicionar um botão para deixar o objeto invisível e outro para retirar a invisibilidade</li> <li>• Segurar um botão específico para manter os objetos invisíveis e após soltar o botão os objetos voltariam a sua forma normal</li> <li>• Selecionar novamente objetos que estão invisíveis para que eles deixem de ser translúcidos</li> </ul>
Feedback Visual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sinalizar área máxima de colisão para que o usuário saiba onde é o ponto de saída</li> <li>• Aumentar momentaneamente a área dos objetos que ficaram invisíveis para aumentar a área de colisão e evitar erros</li> </ul>

Tempo de execução	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar o tempo que os objetos ficam invisíveis após sair da zona de colisão para evitar erros</li> </ul>
-------------------	---

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Observando os dados quantitativos e qualitativos pode-se considerar que *ray-casting* com raio X foi aprovada pelos usuários, mas ainda é necessário gerar ajustes para que a técnica fique mais precisa. As sugestões geradas pelos usuários serão aplicadas e testadas em trabalhos futuros.

## 7.6 ANÁLISE QUALITATIVA DA TÉCNICA DE MÃO VIRTUAL COM DESLOCAMENTO

A técnica de mão virtual com deslocamento foi utilizada nos cenários 3 e 4. Os cenários demandavam que o usuário selecionasse uma ou 5 esferas brancas que estavam posicionadas próximas as esferas azuis. As entrevistas com os usuários geraram informações sobre benefícios de utilizar a técnica, dificuldades e sugestões para melhorias.

### 7.6.1 Benefícios da Mão virtual com Deslocamento

Como foi demonstrado anteriormente no capítulo de resultados a técnica de mão virtual com deslocamento foi aceita pela maior parte dos usuários. Quando questionados sobre os benefícios de utilizar a técnica de mão virtual com deslocamento os usuários falaram sobre a precisão e sobre o feedback visual.

Utilizar deslocamento aumentava a precisão no momento de pré-seleção. Quando o usuário estava prestes a selecionar uma esfera e executava com sua mão uma movimentação curta indesejada, o cursor continuava centralizado, diminuindo a chance de o usuário mudar de esfera por causa de uma movimentação curta da mão. O comentário do usuário M10 ilustra essa percepção: “Ajudou sim. Ajudou mais. Quando você necessita de precisão eu acho que ela termina facilitando a seleção, parece que você tem mais margem de erro, mais margem de movimentação da sua mão quando você está na bolinha certa.”.

Além de gerar precisão os usuários também comentaram que foi necessário utilizar o deslocamento quando o cenário era com bolinhas menores, ou seja, quando o cenário demandava muita precisão. O usuário M14 comentou o motivo da

seleção ser mais difícil quando as esferas eram menores: “Ajuda porque a seleção é um pouco mais complicada quando ela está naquela escala menor, porque como a resolução é menor fica mais fácil de uma movimentação não intencional da minha mão me fazer marcar uma bola indesejada. Quando ela está afastada é mais difícil de isso acontecer porque você vai ter uma separação maior.”.

Sobre o feedback visual, alguns usuários perceberam que o deslocamento ajudava na percepção de qual era a esfera que estava na área de seleção. Além de ter o feedback de *hover*, demonstrando qual esfera poderia ser selecionada, os usuários também tinham o feedback de qual esfera era a central. O comentário da usuária F13 exemplifica essa percepção: “Usando o deslocamento melhorava, não melhorou como no feedback visual da cor, mas você consegue ver assim o afastamento, a que está centralizada e a que está afastada. Você sabe que era aquela.”.

Outra informação sobre feedback visual gerada pelos usuários foi o fato de que a técnica era visualmente atrativa e divertida. Por se tratar de um ambiente de RV, alguns usuários esperam ter experiências fantásticas e quando observavam que as esferas se moviam de acordo com o posicionamento da mão eles se divertiam mais. O comentário da usuária F16 exemplifica esse fato: “O que eu gostei da técnica de afastar (deslocamento) é que ela é atrativa, ela é mais divertida e mais bonita”.

### **7.6.2 Dificuldades da Mão virtual com Deslocamento**

Os usuários que sentiram dificuldades em utilizar a técnica tiveram problemas com a movimentação, precisão, feedback e cansaço físico. Os problemas com movimentação podem ser divididos em duas partes, a movimentação das esferas e a movimentação do usuário. Sobre o movimento das esferas, os usuários sentiram dificuldades por causa de distrações provocadas pelo deslocamento que geravam sobrecarga cognitiva. O comentário da usuária F06 ilustra essa percepção: “O movimento atrapalhou, a proporção... assim, como o quanto a bolinha se mexe. Você se distrai um pouco e se perde em qual bola você estava.”.

Outro problema causado pela movimentação das esferas era a percepção de insegurança no momento da seleção. O usuário movimentava sua mão e enquanto procurava a esfera correta as outras esferas se moviam e tornavam a seleção insegura. Apesar de ter preferido realizar a tarefa utilizando a técnica de mão virtual com deslocamento, a usuária F09 comentou que a movimentação gerava

insegurança provocada pela movimentação das esferas: “Eu fiquei com mais medo de errar porque as coisas estavam se mexendo. Enquanto elas se moviam atrapalhava, aí eu parava de mover a mão para elas pararem de se mexer e eu selecionava direitinho. Enquanto elas estavam se mexendo eu achava que podia errar.”. A técnica facilita a seleção do elemento, mas dificulta a movimentação necessária para chegar até a esfera correta.

Por outro lado, a movimentação da mão do usuário também era afetada quando utilizavam mão virtual com deslocamento. Alguns usuários tinham a percepção de que a movimentação era mais lenta utilizando a técnica. A mão virtual com deslocamento tornava a movimentação mais lenta, porque as esferas se afastavam e aumentavam a distância que os usuários deveriam percorrer.

Partindo para os problemas que ocorreram por causa de precisão, um usuário afirmou que a técnica era imprevisível por causa da movimentação das esferas e isso provocava erros, diminuindo a precisão em alguns momentos. O comentário do usuário M14 exemplifica a percepção de imprevisibilidade: “Atrapalha, porque o movimento passa a ser um pouco mais imprevisível, porque o afastamento é de acordo com a bola que você está centrado, aí às vezes você anda um pouco para o lado e a disposição das bolas muda aí você fica sambando de um lado para o outro.”.

Outro problema encontrado foi em relação ao feedback visual, o usuário M15 sentiu necessidade de um feedback visual no modelo 3D da mão virtual, para demonstrar qual é o ponto de seleção das esferas. De acordo com esse usuário: “(..) e o fato de eu não saber exatamente que parte da mão era utilizada na seleção não ajudou muito. Eu acho que realmente se você colocasse ela na ponta do dedo da mão para ser exatamente a parte que está selecionando a bolinha facilitaria muito e melhoraria essa outra técnica.”.

Por fim, o usuário, M12, reportou problemas quanto a cansaço físico provocado no cenário de mão virtual. O desconforto ocorreu usando as duas técnicas, mão virtual simples e mão virtual com deslocamento. Ele afirmou que no cenário com esferas pequenas sentiu desconforto físico e isso atrapalhou a seleção dos objetos 3D: “Meu braço cansou mais e eu senti dificuldades para controlar a seleção das bolinhas (...)”.

### 7.6.3 Sugestões para Mão Virtual com Deslocamento

As sugestões geradas pelos usuários para melhorar a técnica de mão virtual com deslocamento foram em relação à separação dos objetos, feedback visual da mão virtual e criar configurações personalizadas para os usuários. O quadro 10 apresenta as sugestões geradas pelos usuários.

**Quadro 10 – Sugestões para a Mão virtual com deslocamento.**

<b>Tipo de sugestão</b>	<b>Sugestão do usuário</b>
Separação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Só separar as esferas quando a mão do usuário chegar muito perto</li> </ul>
Feedback Visual	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pintar a ponta do dedo da mão virtual do usuário para indicar o ponto de seleção</li> </ul>
Configurações personalizadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Criar um seletor de velocidade e distância para que o usuário consiga definir quanto e quão rápido os objetos irão se afastar</li> </ul>

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Observando os dados quantitativos e qualitativos pode-se considerar que mão virtual com deslocamento foi aprovada pelos usuários, mas são necessários refinamentos quanto à movimentação dos objetos e feedbacks visuais. As sugestões geradas pelos usuários serão aplicadas e testadas em trabalhos futuros.

## 8 CONCLUSÃO

A presente pesquisa ofereceu um levantamento sobre técnicas de interação para RV imersiva encontradas atualmente na literatura e no mercado. O trabalho apresenta descrições de características, dispositivos de entrada e tipos de funções que cada uma dessas técnicas pode executar em AVs imersivos. A partir dos dados obtidos sobre cada técnica foram gerados cenários de uso que deram origem a três mapas para escolha de interações de seleção, manipulação e locomoção para construção de AVs imersivos.

Como apresentado no capítulo de estado da arte, existem diversas técnicas de interação com diferentes tipos de características. Cada técnica funciona melhor em um cenário específico e para que um desenvolvedor novato na área de RV conheça uma variedade de técnicas é necessário realizar pesquisas em diversas áreas, como por exemplo, engenhos de busca, livros e mercado. Os três mapas da presente pesquisa podem contribuir na geração de conhecimento de novos desenvolvedores para criar futuros AVs ou investigar novos cenários de uso das técnicas de interação.

Devido ao escopo de dois anos do mestrado apenas o mapa de seleção foi implementado e avaliado com usuários. Os testes possibilitaram verificar se as técnicas escolhidas e desenvolvidas para cada ramificação dos mapas eram coerentes para os cenários de uso encontrados na literatura e mercado. Como contribuição da presente pesquisa os cenários e técnicas desenvolvidas estão disponibilizados para serem testados e aprimorados por desenvolvedores da área de RV.

### 8.1 SOBRE A METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO MAPA DE SELEÇÃO

A avaliação foi realizada em duas abordagens metodológicas, quantitativa e qualitativa. A abordagem quantitativa permitiu fazer testes de erros e do tempo de execução de cada usuário, visando apurar qual técnica foi mais precisa e mais rápida para completar a tarefa escolhida. Já a metodologia qualitativa, gerada a partir de entrevistas com os usuários, permitiu que os dados levantados pela presente pesquisa fossem ricos em descrições e percepções, apresentando como cada usuário utilizou uma técnica proposta. A partir da análise dos dados pode-se evidenciar que os resultados obtidos na presente pesquisa demonstraram que as

técnicas aplicadas em cada ramificação do mapa de seleção eram coerentes para cada cenário abordado, sendo melhores do que outras técnicas que foram comparadas.

## 8.2 AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DESENVOLVIDAS

Além de avaliar o mapa de seleção, também foram criadas e avaliadas duas novas técnicas de interação que foram chamadas de mão virtual com deslocamento e *ray-casting* com raio X. Essas duas técnicas foram testadas por usuários e os resultados ilustraram que elas são melhores que as técnicas padrões de mão virtual simples e *ray-casting* em cenários que exigem precisão na seleção próxima ou distante do usuário.

A técnica de mão virtual com deslocamento foi melhor do que mão virtual simples nos cenários que necessitavam de precisão, pois diminuía a ambiguidade da seleção através do deslocamento das esferas próximas de uma esfera central. Já a técnica de *ray-casting* com raio X foi melhor que *ray-casting* e resolveu um dos principais problemas de seleção por apontamento, a oclusão de objetos 3D. Além de ajudar na seleção de objetos enfileirados o raio X evitava a necessidade de utilizar alguma técnica de locomoção.

Criar novas técnicas de interação foi um desafio para a presente pesquisa e infelizmente nem todos os usuários aprovaram as escolhas de projeto que foram feitas, como por exemplo sistema de entrada, feedbacks visuais, velocidade, entre outras características. Entretanto, a maior parte dos usuários aprovou as técnicas criadas e percebeu que elas ajudaram na resolução das tarefas propostas.

## 8.3 TRABALHOS FUTUROS

Os trabalhos futuros podem ser divididos em três partes. Implementar e avaliar as técnicas dos dois mapas restantes, implementar algumas das sugestões geradas pelos usuários para aperfeiçoar as técnicas de mão virtual com deslocamento e *ray-casting* com raio X e investigar técnicas de interação para HMDs que utilizam dispositivos móveis para criar novos mapas.

A implementação das técnicas de manipulação e locomoção escolhidas para os mapas é necessária para verificar a coerência das interações escolhidas de acordo com os testes comparativos feitos com usuários. Além disso, no processo de

avaliação podem ser criadas novas técnicas para as ramificações dos mapas, possibilitando novas maneiras de interagir e resolver problemas de uso em alguns cenários de manipulação e locomoção.

Sobre as sugestões mais relevantes criadas pelos usuários para melhorar a técnica de mão virtual com deslocamento pode-se modificar a implementação para que os objetos só se movam quando a mão do usuário estiver muito perto. Outra abordagem interessante é criar configurações personalizadas para que os usuários calibrem a interação, pois os resultados apresentaram diferentes percepções. Sobre a técnica de raio X, a sugestão mais relevante a ser implementada inicialmente é aumentar o tempo de invisibilidade do objeto após o cursor sair da área de seleção. Essa sugestão é simples de ser implementada e não ocupa nenhum botão extra do dispositivo de entrada.

Após testar a coerência dos três mapas, eles serão testados com alunos e desenvolvedores para verificar se as recomendações ajudam de alguma maneira no processo de design de AVs imersivos.

Sobre investigar técnicas de interação para dispositivos móveis, serão criados novos mapas com sugestões para aplicações que utilizam dispositivos móveis, permitindo que desenvolvedores que utilizam smartphone possam construir AVs interativos de acordo com os equipamentos de interação disponíveis no mercado e literatura.

## REFERÊNCIAS

ABOVE and Beyond Software. **Cosmic Wandering (Multiplataforma)**. Oklahoma, Estados Unidos. 2016

ALDIN Dynamics. **Waltz of the wizard (Multiplataforma)**, Reykjavik, Islândia. 2016

AMIR, Mohd Hezri et al. Duke: enhancing virtual reality based fps game with full-body interactions. In: **Proceedings of the 13th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology**. ACM, 2016. p. 35.

ANTHES, Christoph et al. State of the art of virtual reality technology. In: **2016 IEEE Aerospace Conference**. Ieee, 2016. p. 1-19.

ARGELAGUET, Ferran; ANDUJAR, Carlos. A survey of 3D object selection techniques for virtual environments. **Computers & Graphics**, v. 37, n. 3, p. 121-136, 2013.

ARGELAGUET, Ferran et al. The role of interaction in virtual embodiment: Effects of the virtual hand representation. In: **2016 IEEE Virtual Reality (VR)**. IEEE, 2016. p. 3-10.

ARNDT, Sebastian; PERKIS, Andrew; VOIGT-ANTONS, Jan-Niklas. Using Virtual Reality and Head-Mounted Displays to Increase Performance in Rowing Workouts. In: **Proceedings of the 1st International Workshop on Multimedia Content Analysis in Sports**. ACM, 2018. p. 45-50.

ARORA, Rahul et al. Experimental Evaluation of Sketching on Surfaces in VR. In: **CHI**. 2017. p. 5643-5654.

BOWMAN, Doug A.; HODGES, Larry F. Formalizing the design, evaluation, and application of interaction techniques for immersive virtual environments. **Journal of Visual Languages & Computing**, v. 10, n. 1, p. 37-53, 1999.

BOWMAN, Doug A. et al. Maintaining spatial orientation during travel in an immersive virtual environment. **Presence**, v. 8, n. 6, p. 618-631, 1999.

BOWMAN, Doug et al. **3D User interfaces: theory and practice**, CourseSmart eTextbook. Addison-Wesley, 2004.

BOZGEYIKLI, Evren et al. Point & teleport locomotion technique for virtual reality. In: **Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play**. ACM, 2016. p. 205-216.

BRUDER, Gerd; LUBOS, Paul; STEINICKE, Frank. Cognitive resource demands of redirected walking. **IEEE transactions on visualization and computer graphics**, v. 21, n. 4, p. 539-544, 2015.

BOLTON, John et al. PaperDude: a virtual reality cycling exergame. In: **CHI'14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems**. ACM, 2014. p. 475-478.

CAKMAK, Tuncay; HAGER, Holger. Cyberith virtualizer: a locomotion device for virtual reality. In: **ACM SIGGRAPH 2014 Emerging Technologies**. ACM, 2014. p. 6.

CAPCOM. **Resident Evil 7 VR (Multiplataforma)**. Tokyo, Japão. 2017.

CARBON Games. **Airmech Command VR (Multiplataforma)**. Seattle (Washington), Estados Unidos. 2016.

COOMER, Noah et al. Evaluating the effects of four VR locomotion methods: joystick, arm-cycling, point-tugging, and teleporting. In: **Proceedings of the 15th ACM Symposium on Applied Perception**. ACM, 2018. p. 7.

CYBERITH VIRTUALIZER. Disponível em < <https://www.cyberith.com/>>. Acesso em 10 de Setembro de 2019.

DAVIS, Simon; NESBITT, Keith; NALIVAICO, Eugene. A systematic review of cybersickness. In: **Proceedings of the 2014 Conference on Interactive Entertainment**. ACM, 2014. p. 1-9.

DORABJEE, Rohann et al. Back to the future: identifying interface trends from the past, present and future in immersive applications. In: **Proceedings of the Annual Meeting of the Australian Special Interest Group for Computer Human Interaction**. ACM, 2015. p. 540-544.

EMPYREAN Interactive. **Super Island God VR (Multiplataforma)**. Califórnia, Estados Unidos. 2016

FORSBERG, Andrew; HERNDON, Kenneth; ZELEZNIK, Robert. Aperture based selection for immersive virtual environments. In: **ACM Symposium on User Interface Software and Technology**. 1996. p. 95-96.

GLOVEONE. Disponível em <<https://www.kickstarter.com/projects/gloveone/gloveone-feel-virtual-reality>>. Acesso em 10 de Setembro de 2019.

GROSSMAN, Tovi; BALAKRISHNAN, Ravin. The design and evaluation of selection techniques for 3D volumetric displays. In: **Proceedings of the 19th annual ACM symposium on User interface software and technology**. ACM, 2006. p. 3-12.

GU, Xiaochi et al. Dexmo: An inexpensive and lightweight mechanical exoskeleton for motion capture and force feedback in VR. In: **Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. ACM, 2016. p. 1991-1995.

HIDDEN Path Entertainment. **Brass Tactis VR (Oculus Rift)**. Bellevue (Washington), Estados Unidos. 2018

HTC VIVE. Disponível em <<https://www.vive.com/us/>>. Acesso em 10 de Setembro de 2019.

INTERRANTE, Victoria; RIES, Brian; ANDERSON, Lee. Seven league boots: A new metaphor for augmented locomotion through moderately large scale immersive virtual environments. In: **2007 IEEE Symposium on 3D User Interfaces**. IEEE, 2007.

JAIN, Dhruv et al. Immersive scuba diving simulator using virtual reality. In: **Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology**. ACM, 2016. p. 729-739.

JERALD, Jason. **The VR book: Human-centered design for virtual reality**. Morgan & Claypool, 2015.

KINECT. Disponível em < <https://developer.microsoft.com/pt-br/windows/kinect>>. Acesso em 10 de Setembro de 2019.

LAVIOLA JR, Joseph J. et al. **3D user interfaces: theory and practice**. Addison-Wesley Professional, 2017.

LEAP MOTION VR. Disponível em < <https://developer.leapmotion.com/vr-setup>>. Acesso em 10 de Setembro de 2019.

LIANG, Jiandong; GREEN, Mark. JDCAD: A highly interactive 3D modeling system. **Computers & graphics**, v. 18, n. 4, p. 499-506, 1994.

LOPES, Pedro et al. Providing haptics to walls & heavy objects in virtual reality by means of electrical muscle stimulation. In: **Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. ACM, 2017. p. 1471-1482.

MAPES, Daniel P.; MOSHELL, J. Michael. A two-handed interface for object manipulation in virtual environments. **Presence: Teleoperators & Virtual Environments**, v. 4, n. 4, p. 403-416, 1995.

MERRIAM SB, TISDELL EJ. "Qualitative Research: A Guide to Design and Implementation (4th ed.)". San Francisco, CA: Jossey-Bass. 2015 Aug

NABIYOUNI, Mahdi et al. Comparing the performance of natural, semi-natural, and non-natural locomotion techniques in virtual reality. In: **2015 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)**. IEEE, 2015. p. 3-10.

NEAT Corporation. **Budget Cuts VR (Multiplataforma)**. Estocolmo, Suécia. 2018

NILSSON, Niels Christian; SERAFIN, Stefania; NORDAHL, Rolf. The perceived naturalness of virtual locomotion methods devoid of explicit leg movements. In: **Proceedings of Motion on Games**. ACM, 2013. p. 155-164.

OCULUS RIFT. Disponível em <[https://www.oculus.com/?locale=pt\\_BR](https://www.oculus.com/?locale=pt_BR)>. Acesso em 10 de Setembro de 2019.

OWLCHEMY Labs. Job Simulator VR. (Multiplataforma). Texas, Estados Unidos. 2016

PERIVERZOV, Frol; ILIEȘ, Horea. IDS: the intent driven selection method for natural user interfaces. In: **2015 IEEE symposium on 3D user interfaces (3DUI)**. IEEE, 2015. p. 121-128.

PLAYSTATION NETWORK. Disponível em: <<https://store.playstation.com>>. Acesso em 10 de Setembro de 2019.

SAMSUNG GEAR VR. Disponível em: <<https://www.samsung.com/br/wearables/gear-vr/>>. Acesso em 10 de Setembro de 2019.

SAMSUNG ODYSSEY VR. Disponível em: <<https://www.samsung.com/br/hmd/hmd-odyssey-xe800zaa-hc1br/>>. Acesso em 10 de Setembro de 2019.

SCHORR, Samuel B.; OKAMURA, Allison M. Fingertip tactile devices for virtual object manipulation and exploration. In: **Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. ACM, 2017. p. 3115-3119.

SCHWIND, Valentin et al. These are not my hands!: Effect of Gender on the Perception of Avatar Hands in Virtual Reality. In: **Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. ACM, 2017. p. 1577-1582.

SHAW, Lindsay Alexander et al. Evaluating sensory feedback for immersion in exergames. In: **Proceedings of the Australasian Computer Science Week Multiconference**. ACM, 2017. p. 11.

SLATER, M., WILBUR, S. A Framework for Immersive Virtual Environments: Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments** 6,6: 603–616, (1997).

STEAM STORE. Disponível em: <<https://store.steampowered.com/?l=brazilian>>. Acesso em 10 de Setembro de 2019.

STEINICKE, Frank et al. Estimation of detection thresholds for redirected walking techniques. **IEEE transactions on visualization and computer graphics**, v. 16, n. 1, p. 17-27, 2010.

STEINICKE, Frank et al. **Human walking in virtual environments**. New York: Springer, 2013.

SUPERMASSIVE Games. **Until Dawn: Rush of Blood (Oculus Rift)**, Guildford, Inglaterra. 2016

SUTHERLAND, Ivan E. The ultimate display. **Multimedia: From Wagner to virtual reality**, p. 506-508, 1965.

SWAPP, David; WILLIAMS, Julian; STEED, Anthony. The implementation of a novel walking interface within an immersive display. In: **2010 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)**. IEEE, 2010. p. 71-74.

UNKNOWN Wolds Entreteniment. **Subnautica VR (Multiplataforma)**. Califórnia, Estados Unidos. 2018

VIRTUIX OMNI. Disponível em < <https://www.virtuix.com/>>. Acesso em 10 de Setembro de 2019.

WARD, Lewis (IDC), UNITY. **2017 Virtual Reality Year in Review**. Março de 2018 Disponível em: <https://bit.ly/2Z2z4D2>

WELLS, M., B. PETERSON, and J. ATEN (1996). "The Virtual Motion Controller: A Sufficient-Motion Walking Simulator." **Proceedings of the 1996 IEEE Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS '96)**, 1–8.

WILSON, Preston Tunnell et al. VR locomotion: walking> walking in place> arm swinging. In: **Proceedings of the 15th ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry-Volume 1**. ACM, 2016. p. 243-249.

WIZDISH. Disponível em <<https://www.wizdish.com/>>. Acesso em 10 de Setembro de 2019.

YOUNG, Mary K.; RIESER, John J.; BODENHEIMER, Bobby. Dyadic interactions with avatars in immersive virtual environments: high fiving. In: **Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Applied Perception**. ACM, 2015. p. 119-126.

## APÊNDICE A – APLICAÇÕES ANALISADAS

Quadro 11 – Aplicações do Mercado Analisadas

Nome	Plataformas	Gênero
ZomDay	VIVE	FPS/Survival
Out of Ammo: Death Drive	VIVE/ Oculus Rift	Ação
Nano Shift	VIVE/ Oculus Rift	<i>Puzzle</i>
The SoulKeeper VR	VIVE/ Oculus Rift	RPG (FPS)
Dream Coaster VR	VIVE/ Oculus Rift /Outros	Simulação/ Casual
Rez Infinite VR	VIVE/ Oculus Rift	Musica/Endless runner
Operation Warcade VR	VIVE/ Oculus Rift	Shooter/Arcade
Rise of Insanity	VIVE/ Oculus Rift /Outros	Terror
VRSG VR Shooter Guns	VIVE/ Oculus Rift	Shooter
Archery	VIVE/ Oculus Rift	Esportes
Serious Sam VR: The Second Encounter	VIVE/ Oculus Rift /Outros	FPS
Waltz of the Wizard	VIVE/ Oculus Rift	Aventura/Magia
Google Earth VR	ViVE/ Oculus Rift	Aplicativo
Eleven: Table Tennis VR	VIVE/ Oculus Rift	Esportes
VR Vanishing Realms	VIVE	RPG
Space Pirate Trainer	VIVE/ Oculus Rift /Outros	FPS
Dead effect 2 VR	VIVE/ Oculus Rift	FPS/Survival
A chair in a room: GreenWater	VIVE/ Oculus Rift	<i>Puzzle/Investigação</i>
Gorn VR	VIVE/	Luta

	Oculus Rift	
The Lab	VIVE	Diversão
Rec Room VR	VIVE/ Oculus Rift	Diversão
Hot Dogs, Horseshoes & Hand Grenades	VIVE/ Oculus Rift	FPS
Richie's Plank Experience	VIVE/ Oculus Rift	Aventura/Mundo aberto
Freedom Locomotion VR	VIVE/ Oculus Rift	Diversão/Mundo Aberto
Call Starseed	VIVE/ Oculus Rift	Aventura/ <i>Puzzles</i>
AirMech Command	VIVE/ Oculus Rift	Estratégia
Final approach vr	VIVE/ Oculus Rift	Flight/ Manager
Final approach vr	VIVE	FPS
Nervosa: Prelude	VIVE/ Oculus Rift	Terror/ <i>Puzzle</i>
Deadly hunter vr	VIVE/ Oculus Rift	Ação/Aventura
Conductor VR	VIVE/ Oculus Rift	Aventura/ <i>Puzzles</i>
I expect you to die VR	VIVE/ Oculus Rift /Outros	<i>Puzzle</i>
Castle Must Be Mine VR	VIVE/Oculus Rift	Estratégia/ <i>Tower Defense</i>
Lazerbait VR	VIVE/ Oculus Rift	Estratégia
Cosmic Trip VR	VIVE/ Oculus Rift	Estratégia/Ação
Kittypocalypse	VIVE/ Oculus Rift /Outros	Estratégia/ <i>Tower Defense</i>
Manastorm champions of gnar vr	VIVE/ Oculus Rift	Estratégia/Card
Evil Robot Traffic Jam VR	VIVE	Estratégia/ <i>Tower Defense</i>
Alchemist Defender VR	VIVE/ Oculus Rift	Estratégia/ <i>Tower Defense</i>
Quar: Battle for Gate 18 VR	VIVE/ Oculus Rift	Estratégia/Turnos
Battle	VIVE/	Estratégia/Summoner

Summoners VR	Oculus Rift	
Cubians VR	VIVE/ Oculus Rift	Estratégia/ <i>Tower Defense</i>
Cubians VR	VIVE/ Oculus Rift	Casual
The cubicle	VIVE/ Oculus Rift	<i>Puzzle</i>
Dark Legion	VIVE/ Oculus Rift	FPS
Dig 4 destruction	VIVE/ Oculus Rift	FPS
island 359	VIVE/ Oculus Rift	FPS/aventura
Thirst VR	VIVE/ Oculus Rift	FPS
Wake Up	VIVE	<i>Puzzle</i>
Trickster VR Co-op Dungeon Crawler	VIVE/ Oculus Rift	RPG/Aventura
OverKill VR	VIVE/ Oculus Rift	FPS
SmashBox Arena	VIVE/ Oculus Rift	FPS/Competitivo
Vtol Vr	VIVE/ Oculus Rift	Simulador Aeronáutico
Pavlov VR	VIVE/ Oculus Rift	FPS
PokerStars VR	VIVE/ Oculus Rift	Jogo de Cartas
Fallout 4	VIVE/ Oculus Rift	Ação/Aventura
Doom	VIVE/ Oculus Rift	FPS
Farpoint	PSVR	Ação/Aventura
Moss	PSVR	Plataforma
Bravo Team	VIVE/ Oculus Rift /PSvr	FPS
Super Island God VR	VIVE/ Oculus Rift	Estratégia
Budget Cuts VR	VIVE/ Oculus Rift	Ação/Aventura
Cosmic Wandering	VIVE/ Oculus Rift	Aventura/ <i>Puzzles</i>
Spider Man VR Experience	VIVE/ Oculus Rift	Aventura

Snow Fortress	VIVE/ Oculus Rift	Aventura
Beat saber	VIVE/ Oculus Rift	Musica, Endless runner
Toy Box VR	VIVE/ Oculus Rift	Diversão/Construção
Dwingle Bot	VIVE/ Oculus Rift	<i>Puzzle</i>
Astro Bot VR	PSVR	Plataforma
Until Dawn Rush of blood	PSVR	Terror
Orbus VR Reborn	VIVE/ Oculus Rift	RPG
Super Hot	VIVE/ Oculus Rift	FPS
Star Wars Vader Immortal	VIVE/ Oculus Rift	Aventura
Wildlands 2 VR	VIVE/ Oculus Rift	Aventura
Bogo VR	VIVE/ Oculus Rift	Gerenciamento de PET
Brass tactics vr	VIVE/ Oculus Rift	Estratégia
Star Trek Bridge Crew VR	Vive/ Oculus Rift /psvr	Ficção
Subnautica VR	VIVE/ Oculus Rift	Aventura
The Climb	Oculus Rift	Esportes
Simulador de Montagem Volkswagem	VIVE	Simulação industrial
ARCHVIZ		Simulador de arquitetura
Simulador de Armazenamento Volkswagem	VIVE	Simulador de estoque
Simulador HTX Labs Antiterrorismo	VIVE	Simulador antiterrorismo
Simulador HTX Labs Industrial Colaborativo	VIVE	Simulador industrial
Simulador Medicinal Acadius	Oculus Rift	Simulador medicinal
Simulador	Oculus Rift	Simulador medicinal

Medicinal CHLA (Hospital de crianças de L.A)		
Simulador de Engenharia Mecânica Tengo	VIVE	Simulador de engenharia
Simulador OMNI	VIVE/ Oculus Rift	Simulador para treinamento profissional
Simulador CertifyMe	Oculus Rift	Simulador industrial
Simulador Mechatraining	Oculus Rift	Simulador engenharia
Simulador de Industrial Light & Shadow	VIVE	Simulador industrial
Simulador Medicinal Arch Virtual	Oculus Rift	Simulador Medicinal
Simulador de Manutenção Double Dare Games	VIVE	Simulador de manutenção de equipamentos
Simulador ORINOX	Oculus Rift	Simulador de engenharia Naval
Simulador de Operação em Plataformas Kairos3D	Oculus Rift	Simulador de operação em plataformas
Tilt Brush Google VR	Oculus Rift /VIVE/Outros	Aplicativo de pintura 3D
Blocks Google VR	Oculus Rift /VIVE/Outros	Aplicativo de modelagem 3D RV
VR Clay	Oculus Rift	Aplicativo de modelagem 3D RV
Paint VR	Oculus Rift /VIVE/Outros	Aplicativo de pintura 3D
Kingspray Graffiti VR	Oculus Rift	Aplicativo de grafiteagem (desenho com <i>spray</i> )

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).