

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

**Avaliação de Técnicas de Interação Egocêntricas  
em Ambientes Virtuais**

por

LILIANE JACON-JACOB

Dissertação submetida à avaliação,  
como requisito parcial para a obtenção do grau de  
Mestre em Ciência da Computação

Profa. Dra. Carla Maria Dal Sasso Freitas  
Orientadora

Profa. Dra. Luciana Porcher Nedel  
Co-orientadora

Porto Alegre, novembro de 2002



## CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Jacon-Jacob, Liliane

Avaliação de Técnicas de Interação Egocêntricas em Ambientes Virtuais /  
por Liliane Jacou Jacob. – Porto Alegre : PPGC da UFRGS, 2002.  
126 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.  
Programa de Pós-Graduação em Computação, Porto Alegre, BR – RS, 2002.  
Orientadora: Freitas, Carla Maria Dal Sasso, Co-orientadora: Nedel, Luciana  
Porcher.

1. Técnicas de Interação. 2. Ambientes Virtuais. 3. Avaliação de interfaces  
tridimensionais. I. Freitas, Carla Maria Dal Sasso. II. Nedel, Luciana Porcher.  
III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitora: Profa. Wrana Panizzi

Pró-Reitor de ensino: Prof. José Carlos Ferraz Hennemann

Pró-Reitor Adjunto de Pós-Graduação: Prof. Jaime Evaldo Fensterseifer

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Philippe Olivier Alexandre Navaux

Coordenador do PPGC: Prof. Carlos Alberto Heuser

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro



## **Agradecimentos**

O meu mais sincero agradecimento a minha orientadora Carla Maria Dal Sasso Freitas e a minha co-orientadora Luciana Porcher Nedel, pela inestimável ajuda que me proporcionaram, para que eu concluísse o meu trabalho.

O agradecimento à minha amiga Caroline Oliva não cabe nesta folha. Mesmo assim, vou tentar mais uma vez: valeu, Carol!!!!

Agradeço à UNOESTE (Universidade do Oeste Paulista), em especial, à pró-reitora académica sra. Ana Cardoso Maia de Oliveira Lima, pelo apoio financeiro.

Agradeço aos meus amigos Cláudia, Daniela e Francisco, pelos momentos de “terapia” durante nossas viagens e pelos trabalhos compartilhados. Em especial, à Cláudia, pela classe com que “driblou” as pedras que surgiram pelo caminho...

Ao grupo de computação gráfica o meu agradecimento pelo excelente ambiente da sala 208. Um grupo alegre, descontraído e sempre disposto a ajudar: Thiago, Isabel Siqueira, Stefan, Carlos e Alécio.

Aos amigos Melissa, Cássia, Aglaê, Jane, Eliane & Roberto, Carol, Vainer, July, Lito, Irassu, Miriam, Clemon & Kenya, Diana e Luciana, pelas risadas gostosas que minimizaram as saudades de minha casa.

Aos professores do mestrado em computação, pelos preciosos conhecimentos ensinados.

Aos funcionários do Instituto de Informática da UFRGS, pela atenção dispensada, principalmente ao Luís Otávio, que não poupou esforços, para instalar um tipo diferente de “chuveiro” na sala 208.

Ao pessoal da biblioteca, sempre tão prestativo. Igualmente ao pessoal da pós-graduação, que sempre me atendeu prontamente.

Aos meus filhos Rodrigo e Vinícius, pelos momentos em que não pude estar presente fisicamente, mas que estiveram, sempre, em meu coração e pensamentos, sobretudo ao meu “pequeno” Vinícius.

À Deus, que permitiu que eu cumprisse a minha promessa feita ao meu filho Vinícius, toda vez que eu viajava: “eu vou, mas eu volto!”

## **Dedicatória**

À minha mãe Maria Tereza,  
uma guerreira de quem eu me orgulho de ser filha.

## Sumário

<b>Lista de abreviaturas .....</b>	<b>09</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>11</b>
<b>Lista de tabelas .....</b>	<b>13</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>15</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>17</b>
<b>1 Introdução .....</b>	<b>19</b>
<b>1.1 Motivação .....</b>	<b>20</b>
<b>1.2 Objetivo .....</b>	<b>21</b>
<b>1.3 Organização do texto.....</b>	<b>21</b>
<b>2 Interação e Percepção em Ambientes Virtuais .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1 Interação em ambientes não-imersivos .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2 Interação em ambientes imersivos .....</b>	<b>25</b>
2.2.1 Seleção e manipulação de objetos em Avs.....	25
2.2.2 Navegação em ambientes imersivos.....	31
2.2.3 Outras formas de interação.....	35
<b>2.3 Senso de Presença em AVs imersivos .....</b>	<b>38</b>
<b>2.4 Considerações finais .....</b>	<b>39</b>
<b>3 Avaliação Experimental em AVs Imersivos.....</b>	<b>41</b>
<b>3.1 Características que afetam o desempenho do usuário .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2 Metodologias para Avaliação Experimental.....</b>	<b>45</b>
3.2.1 Definição dos sujeitos, das hipóteses, das variáveis dependentes e independentes .....	45
3.2.2 A escolha do método experimental e a análise estatística dos dados .....	48
3.2.3 Coleta de dados .....	49
<b>3.3 Avaliações experimentais estudadas .....</b>	<b>51</b>
3.3.1 Técnicas de interação para seleção e manipulação de objetos .....	51
3.3.2 Técnicas de navegação .....	57
3.3.3 Ênfase na propriocepção .....	62
3.3.4 Senso de Presença .....	64
<b>3.4 Exemplos de variáveis dependentes e independentes utilizadas em alguns experimentos estudados .....</b>	<b>66</b>
<b>3.5 Considerações finais .....</b>	<b>70</b>
<b>4 Avaliação Experimental de Técnicas de Seleção e Manipulação .....</b>	<b>73</b>
<b>4.1 A aplicação .....</b>	<b>73</b>
<b>4.2 Técnicas de interação e visualização utilizadas .....</b>	<b>74</b>
<b>4.3 Dispositivos e plataforma computacional utilizados .....</b>	<b>75</b>
<b>4.4 Avaliação das técnicas de interação.....</b>	<b>76</b>
4.4.1 As hipóteses e as variáveis independentes e dependentes.....	76
4.4.2 O experimento realizado .....	78
<b>4.5 Resultados obtidos .....</b>	<b>81</b>
<b>4.6 Conclusão do experimento.....</b>	<b>88</b>

<b>5</b>	<b>Avaliação Experimental de Equipamentos em Tarefas de Navegação.....</b>	<b>91</b>
<b>5.1</b>	<b>A aplicação .....</b>	<b>91</b>
<b>5.2</b>	<b>Dispositivos e plataforma computacional utilizados .....</b>	<b>93</b>
<b>5.3</b>	<b>Técnicas de interação utilizadas e justificativa de aplicação.....</b>	<b>95</b>
<b>5.4</b>	<b>Avaliação das técnicas de interação .....</b>	<b>95</b>
5.4.1	As hipóteses e as variáveis independentes e dependentes.....	96
5.4.2	O experimento realizado .....	97
<b>5.5</b>	<b>Resultados obtidos .....</b>	<b>99</b>
<b>5.6</b>	<b>Conclusão do experimento.....</b>	<b>101</b>
<b>6</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>103</b>
<b>6.1</b>	<b>Considerações finais .....</b>	<b>103</b>
<b>6.2</b>	<b>Trabalhos futuros .....</b>	<b>105</b>
<b>Anexo 1</b>	<b>Questionário pré-teste para levantamento das características dos sujeitos na aplicação do xadrez virtual .....</b>	<b>107</b>
<b>Anexo 2</b>	<b>Questionário pós-teste para aplicação do xadrez virtual .....</b>	<b>109</b>
<b>Anexo 3</b>	<b>Questionário pré-teste para levantamento das características dos sujeitos na aplicação do elevador panorâmico virtual.....</b>	<b>115</b>
<b>Anexo 4</b>	<b>Questionário pós-teste para aplicação do elevador panorâmico virtual .....</b>	<b>117</b>
<b>Referências</b>	<b>.....</b>	<b>121</b>



## Lista de Abreviaturas

AV	Ambiente virtual
BOOM	Binocular Omni Orientation Monitor
CAVE	Computer Automatic Virtual Environments
DOF	Degree-of-freedom / graus de liberdade
HMD	Head Mounted Display
RV	Realidade Virtual
VRML	Virtual Reality Modeling Language



## Lista de Figuras

FIGURA 2.1-	Esquema de interação humano-computador em ambientes imersivos...	23
FIGURA 2.2-	Visão (a) exocêntrica e (b) egocêntrica.....	25
FIGURA 2.3-	Metáforas e técnicas de manipulação e seleção em Avs .....	26
FIGURA 2.4-	Taxonomia das técnicas de seleção e manipulação de objetos em AVs imersivos.....	27
FIGURA 2.5-	Técnica WIM .....	28
FIGURA 2.6-	(a) Técnica <i>go-go</i> ; (b) Técnica da clássica mão virtual .....	28
FIGURA 2.7-	Raio por apontamento ( <i>ray-casting</i> ) .....	29
FIGURA 2.8-	Cone de luz .....	30
FIGURA 2.9-	Técnica <i>stretch go-go</i> .....	30
FIGURA 2.10-	Metáfora do movimento físico: <i>Virtual Motion Controller</i> .....	32
FIGURA 2.11-	Uma das técnicas da metáfora com direção planejada .....	32
FIGURA 2.12-	Taxonomia das técnicas de navegação para AVs imersivos .....	33
FIGURA 2.13-	(a) Vista virtual e (b) vista real da técnica <i>map-dragging</i> .....	34
FIGURA 2.14-	Exemplo de menu 3D .....	35
FIGURA 2.15-	Virtual Notepad .....	36
FIGURA 2.16-	(a) Prancheta e apontador da ferramenta PIP ; (b) objeto de estudo sobre a prancheta .....	36
FIGURA 2.17-	Exemplo de uso da técnica <i>scaled world grab</i> .....	37
FIGURA 2.18-	<i>Widget</i> manual para controle remoto de objetos .....	37
FIGURA 2.19-	Técnica <i>head-butt-zoom</i> .....	38
FIGURA 2.20-	Técnica de interação com menus através do olhar .....	38
FIGURA 2.21-	Técnica que utilizada as duas mãos do usuário .....	38
FIGURA 3.1-	Medição em <i>virtual cubits</i> .....	43
FIGURA 3.2-	Tarefa de seleção com utilização da técnica <i>ray-casting</i> .....	53
FIGURA 3.3-	Ambiente para testar seleção e manipulação .....	56
FIGURA 3.4-	Visão externa do corredor tridimensional .....	58
FIGURA 3.5-	Visão interna do corredor do experimento .....	59
FIGURA 3.6-	Exemplo de ambiente com obstáculos projetados para avaliar técnicas de <i>walkthrough</i> .....	60
FIGURA 3.7-	Objeto no primeiro destino (experimento para avaliar técnica de <i>walkthrough</i> ) .....	61
FIGURA 3.8-	Xadrez tridimensional .....	65
FIGURA 3.9-	Experimento com multi entradas sensoriais .....	70
FIGURA 4.1-	Xadrez virtual em situação inicial. (a) tabuleiro com inclinação de 60 graus e (b) com inclinação de 0 graus (vista superior) .....	73
FIGURA 4.2-	Utilização da técnica de <i>ray-casting</i> com <i>feedback</i> visual. (a) Tabuleiro com inclinação de 60 graus e (b) com inclinação de 0 graus. ....	74
FIGURA 4.3-	(a) 5DT Data Glove. (b) Flocks of Birds (Ascension Technology) .....	75
FIGURA 4.4-	H3D Glasses .....	76
FIGURA 4.5-	Situações diferentes na disposição das peças pelo tabuleiro. (a) Primeira situação: utilizada com luva e inclinação em 60 graus e (b) Segunda situação: utilizada com luva e sem inclinação .....	78
FIGURA 4.6-	Terceira situação de jogo, utilizada nos testes com o mouse .....	79
FIGURA 4.7-	Uma das voluntárias realizando os testes .....	79
FIGURA 4.8-	Instruções para a próxima tarefa a ser realizada pelo sujeito .....	80

FIGURA 5.1-	O ambiente .....	91
FIGURA 5.2-	(a) Visão do corredor de dentro do elevador e (b) visão do elevador a partir do corredor de entrada .....	92
FIGURA 5.3-	Corredor de saída do 9º andar visto de dentro do elevador. ....	92
FIGURA 5.4-	Porta de saída no final do corredor .....	93
FIGURA 5.5-	Esquema da planta baixa do edifício (a) corredor de entrada e (b) corredor de saída. ....	93
FIGURA 5.6-	Movimentos com a <i>data-glove</i> para deslocamento do usuário no ambiente. (a) mão aberta: parada. (b) Mão fechada para baixo: o usuário se desloca para frente. (c) Mão fechada para cima: deslocamento para trás .....	94
FIGURA 5.7-	HMD VFX3D (IIS, inc.) .....	95
FIGURA 5.8-	(a) Visão na entrada do corredor e (b) visão do corredor intermediário ..	98
FIGURA 5.9-	Realização dos testes (a) com sujeito utilizando capacete e luva e (b) utilizando <i>mouse</i> e óculos .....	99

## Lista de Tabelas

TABELA 2.1-	Técnicas de Interação em ambientes não-imersivos .....	24
TABELA 3.1-	Tipos de testes estatísticos aplicados alguns experimentos estudados	49
TABELA 3.2-	Características das técnicas avaliadas .....	55
TABELA 3.3-	Variáveis dependentes e independentes para operações de seleção ....	66
TABELA 3.4-	Variáveis dependentes e independentes operações de manipulação	67
TABELA 3.5-	Variáveis dependentes e independentes para operações de navegação	68
TABELA 3.6-	Variáveis dependentes e independentes num experimento para verificar a sensação de imersão e presença .....	69
TABELA 4.1-	Condições dos testes aplicados no xadrez virtual .....	80
TABELA 4.2-	Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de seleção conforme a inclinação do tabuleiro .....	82
TABELA 4.3-	Somatório dos movimentos realizados com a mão do sujeito para selecionar a peça, conforme a inclinação do tabuleiro .....	82
TABELA 4.4-	Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de manipulação conforme a inclinação do tabuleiro .....	82
TABELA 4.5-	Somatório da quantidade de manipulações erradas, conforme a inclinação do tabuleiro .....	83
TABELA 4.6-	Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de seleção com e sem <i>feedback</i> visual .....	83
TABELA 4.7-	Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de manipulação com e sem <i>feedback</i> visual .....	84
TABELA 4.8-	Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de seleção com as técnicas mão virtual e <i>ray-casting</i> .....	84
TABELA 4.9-	Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de manipulação com as técnicas mão virtual e <i>ray-casting</i> .....	85
TABELA 4.10	Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de seleção conforme o dispositivo utilizado (luva ou <i>mouse</i> ).....	86
TABELA 4.11	Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de manipulação conforme o dispositivo utilizado (luva ou <i>mouse</i> ).....	86
TABELA 4.12	Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de seleção utilizando luva e <i>ray-casting</i> .....	87
TABELA 4.13	Somatório da quantidade de movimentos realizados pela mão dos sujeitos conseguir selecionar a peça, utilizando luva e <i>ray-casting</i> ....	88
TABELA 4.14	Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de manipulação utilizando luva e <i>ray-casting</i> .....	88
TABELA 4.15	Somatório da quantidade de manipulações erradas utilizando luva e <i>ray-casting</i> .....	88
TABELA 5.1-	Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem a tarefa de navegação com os diferentes equipamentos disponíveis .....	100
TABELA 5.2-	Média do tempo de navegação obtidos durante a navegação .....	100
TABELA 5.3-	Média da quantidade de colisões feitas pelos sujeitos durante a realização da tarefa de navegação .....	101



## Resumo

Navegação, seleção e manipulação de objetos em ambientes virtuais são baseadas em métodos (técnicas de interação) associados a dispositivos convencionais ou especiais. Existem várias técnicas e dispositivos à disposição dos que desenvolvem aplicações com tais ambientes, sendo a escolha da técnica mais adequada uma tarefa difícil.

Neste trabalho, são apresentadas diversas técnicas de interação existentes, suas metáforas e taxonomias, para realizar tarefas de seleção e manipulação de objetos e navegação do usuário pelo AV. A metodologia adotada nos experimentos realizados, visando a avaliar técnicas de interação em AVs imersivos foi composta por critérios de avaliação de interfaces de IHC (interface humano-computador), com critérios utilizados por Bowman, Mine e Poupyrev em seus experimentos com interfaces 3D. Também são apresentados alguns experimentos realizados, tendo vista avaliarem-se técnicas de interação na realização de tarefas de navegação, seleção e manipulação de objetos em ambientes virtuais imersivos.

O objetivo deste trabalho foi a realização de experimentos para avaliar técnicas de interação para operações de seleção, manipulação e navegação em ambientes virtuais. Foram realizadas duas experiências: a primeira é uma avaliação de técnicas de seleção e manipulação em um ambiente semi-imersivo similar a um jogo de xadrez. As técnicas avaliadas são a mão virtual, associada a um *mouse* comum e a uma luva; e a *ray-casting*, associada à luva. Observou-se que o desempenho dos sujeitos é superior, quando a técnica utilizada é a mão virtual associada ao *mouse* comum. A segunda experiência apresenta uma avaliação experimental de dispositivos de RV em tarefas de navegação. Foi criado um ambiente, contendo um edifício com um elevador panorâmico e corredores de entrada e saída. Os testes foram realizados num ambiente imersivo, com capacete e luva, e, também em um ambiente semi-imersivo, com *mouse* comum e óculos com lentes de cristal líquido. Nesse segundo experimento, a preferência dos usuários pelos equipamentos utilizados foram o capacete e a luva. Observou-se que a existência ou não de objetos familiares no trajeto percorrido pelo usuário, não afeta a quantidade de colisões do sujeito com as mesmas.

**Palavras-Chave:** Técnicas de Interação, Ambientes Virtuais, Avaliação de Interfaces 3D





**TITLE:** “EVALUATION OF EGOCENTRIC INTERACTION TECHNIQUES IN VIRTUAL ENVIRONMENTS”

## **Abstract**

Navigation, object selection and manipulation in virtual environments are based on methods or interaction techniques used with conventional or special devices. There are several techniques and devices available for the development of applications providing immersive worlds, and to choose the most suitable one for a given situation is a difficult task.

Several existing techniques are presented in this work, its metaphors and taxonomy to carry out tasks of object selection and manipulation and the user's navigation by virtual environment. The used methodology during the experiments, aiming to evaluate immersive techniques of interaction in virtual environments was conceived by evaluating IHC criteria, based on Bowman, Mine and Poupyrev's experiments with 3D interfaces. There are also some experiments which aimed to evaluate interaction techniques in the accomplishment of navigation tasks, object selection and manipulation in immersive virtual environments.

The objective of this work was the accomplishment of experiments to evaluate techniques of interaction for operations of selection, manipulation and navigation in virtual environments. Two experiments had been carried out: the first one is the evaluation of selection and manipulation techniques in a semi-immersive environment based on a chess game. The techniques evaluated in the experiment were the animated hand model, associated to a mouse and data glove, and the ray-casting, used with a data glove. It was observed that the subject's performance is superior when associated to data glove and mouse. The second experience presents an experimental evaluation of virtual environment devices in navigation tasks. It was created an environment holding a building with panoramic elevator and entrance and exit corridor. The tests had been carried out in an immersive environment with a head-mounted display (HMD) and glove, and in a semi-immersive environment with mouse and shutter glasses. HMD and glove were the preferable equipment by the users. It was also evaluated if the existence or not of familiar objects helps the user not feel disoriented during the trajectory.

**Keywords:** interaction techniques, virtual environments, evaluation of 3D interfaces



# 1 Introdução

A Realidade Virtual (RV) se destaca como uma técnica avançada de interface através da qual o usuário pode realizar imersão, navegação e interação em ambientes sintéticos tridimensionais gerados por computador, utilizando canais multisensoriais. A imersão é a sensação vivenciada pelo usuário de estar “mergulhado” dentro do ambiente. A qualidade da imersão, ou senso de presença é a principal característica da Realidade Virtual e ela depende do grau de interatividade e realismo que o sistema é capaz de proporcionar.

Realidade Virtual também pode ser definida como uma tecnologia que, segundo Brandão [BRA 97], enfatiza características como utilização de dispositivos multisensoriais, navegação em espaços tridimensionais, imersão no contexto da aplicação, simulação de ambientes e interação em tempo real. Nedel [NED 99] define RV como sendo “*o conjunto de técnicas usadas para criar um mundo artificial no qual o usuário tenha a impressão de ESTAR, a possibilidade de NAVEGAR e de MANIPULAR objetos*”.

A habilidade para manipulação interativa de objetos virtuais é, segundo Bowman [BOW 97b], melhor do que simplesmente visualizar um ambiente passivamente. A RV surgiu como um avanço tecnológico bastante importante do ponto de vista de interação em ambientes virtuais tridimensionais.

Mas o que significa “interação”? O significado da palavra interação, segundo o dicionário Aurélio [HOL 98], é “ação entre entes” (inter + ação) = ação entre, ou seja, representa uma ação mútua entre, no mínimo, dois agentes. A interação é um fluxo de comunicação em duas direções entre agentes que dialogam entre si durante a construção de uma mensagem. No contexto deste trabalho, os agentes considerados são o homem e o computador, que interagem num ambiente tridimensional. Interação, no escopo de RV, também pode ser definida como a capacidade do sistema em dar respostas ao usuário, ou seja, é o mapeamento das entradas do usuário capturadas por dispositivos de entrada, que resultam em ações nos ambientes virtuais (AV).

As formas de interação num sistema de RV envolvem: o reconhecimento de gestos, interfaces tridimensionais e, em alguns casos, a participação de múltiplos usuários. O usuário deve ser capaz de visualizar, manipular e explorar o ambiente de maneira instantânea, usando os seus sentidos, principalmente, os movimentos do seu corpo (braços, pernas, cabeça e olhos) para interagir no espaço virtual. A vantagem deste tipo de interface é o conhecimento intuitivo do usuário a respeito do mundo real que pode ser transferido para manipular o mundo virtual, sendo necessário que o sistema consiga interpretar e responder os comandos do usuário rapidamente para proporcionar um alto grau de interação.

A interação em ambientes tridimensionais é realizada de maneira a atingir três objetivos: efetuar operações de *seleção* e *manipulação* de objetos; permitir a *navegação* no ambiente tridimensional.

Por manipulação entende-se, neste contexto, a tarefa de alterar algum parâmetro de um objeto tridimensional, acarretando mudança de suas propriedades geométricas (tamanho/escala, posição, forma, cor, textura ou orientação) ou não. Por seleção, entende-se o processo de definir, dentre os objetos presentes em um ambiente tridimensional, sobre qual deles se deseja operar. A navegação, por sua vez, corresponde ao processo de deslocar o observador no ambiente tridimensional. Este deslocamento compreende mudança na posição e/ou rotação do observador, bem como as tarefas de parar e alterar a velocidade do movimento.

Existem vários conceitos relacionados ao de Realidade Virtual. São eles: sistemas de *video mapping*, realidade aumentada, telepresença ou tele-robótica, realidade virtual imersiva e não imersiva. O sistema de *video mapping* concentra-se na interpretação dos movimentos do usuário que são capturados através de uma câmera de vídeo usando processamento de imagens e reconhecimento de padrões. Sistemas de realidade aumentada fazem uma “fusão” da imagem de um ambiente real com uma informação gerada por computador. Telepresença ou tele-robótica são sistemas em que o usuário atua em um ambiente real sem estar de fato presente nele. A idéia é que o usuário manipule objetos de um ambiente virtual e estas ações afetem um mundo real. Os sistemas imersivos são caracterizados pelo uso de capacetes (HMD), luvas, rastreadores de posição e fones de ouvido. Nos sistemas imersivos, o usuário é “desligado” do mundo real e passa a visualizar, ouvir e sentir apenas os estímulos gerados por um sistema computacional. Sistemas não imersivos caracterizam-se pelo uso de monitores convencionais de computador no qual o usuário vê o universo virtual, e alguns destes sistemas já possuem, atualmente, dispositivos especiais de interação como: *mouse* 3D, luvas eletrônicas e óculos para visão estereoscópica [PIN 2001]. Neste trabalho, sistemas não imersivos que utilizam dispositivos especiais, serão denominados sistemas semi imersivos.

Neste trabalho, será utilizada a expressão “Ambiente Virtual” (AV) no lugar de “Realidade Virtual” (RV), pois um ambiente virtual não necessita replicar a realidade [COS 98]. Um ambiente virtual imersivo permite ao usuário a sensação de estar “dentro” do ambiente, e é realizada através de dispositivos especiais como capacetes (HMD), BOOMs, *Shutter-Glasses* ou CAVEs. BOOMs (*Binocular Omni-Orientation Monitor*) são pequenos monitores colocados dentro de uma caixa da qual o usuário pode olhar e são suspensos por um braço mecânico. O sistema CAVE (*Computer Automatic Virtual Environments*) consiste na projeção sincronizada de imagens nas paredes, piso e teto semi-transparentes de uma sala com características especiais, permitindo a imersão total do usuário no ambiente virtual.

## 1.1 Motivação

A RV é uma tecnologia que apesar dos grandes progressos nos últimos anos, ainda enfrenta muitas limitações a serem superadas. Limitações estas que impedem o usuário de atuar em ambientes virtuais de forma natural e intuitiva.

A manipulação de objetos em ambientes virtuais (AV) pode ser, inicialmente, desconfortável ao usuário, além de freqüentemente difícil. A precariedade do *feedback* tátil, a ausência de peso dos objetos, o uso de técnicas de interação inadequadas para realizar a tarefa solicitada, entre outros fatores, podem transformar a simples tarefa de “pegar” e “movimentar” um objeto em uma experiência frustrante para o usuário. Por exemplo, quando no mundo real uma pessoa arrasta uma cadeira no chão, é possível sentir a vibração da cadeira, escutar o som do atrito, sentir o peso e a força do movimento através das mãos. Em um ambiente virtual, estas sensações ainda não podem ser corretamente simuladas e suficientemente percebidas, devido a precariedade dos dispositivos disponíveis.

É preciso aprender a explorar melhor as formas possíveis de interação no mundo virtual como forma de compensar as limitações do ambiente. Por exemplo, qual a melhor técnica a ser utilizada para selecionar um objeto entre vários outros, ou então, como selecionar um objeto que está escondido atrás de um outro? A metáfora de interação com 6 graus de liberdade permite movimentar os objetos em todas as direções. No entanto, podem ocorrer situações em que esta metáfora não seja tão interessante,

como por exemplo, em operações de ajuste ou alinhamento de um objeto, acabando por dificultar a interação do usuário no ambiente [PIN 2001].

O objetivo almejado num processo de interação é permitir que o usuário faça da sua tarefa o centro de sua atenção, de tal forma que isso possa ser uma operação habitual, sem que o mesmo precise conhecer todas as operações do sistema para conseguir alcançar seus objetivos. Esta experiência deve ser gratificante e não uma tentativa frustrante. Considerando as diversas formas possíveis de interação com o ambiente virtual (utilizando apenas dispositivos convencionais ou não) é necessário pesquisar, analisar e avaliar aquela mais adequada para cada situação.

## 1.2 Objetivo

O desenvolvimento de aplicações em ambientes virtuais deve prever um cuidadoso estudo quanto a utilização de técnicas de interação mais apropriadas, pois a meta é que os usuários se concentrem mais em tarefas de alto nível do que em atividades motoras de baixo nível. Existem técnicas que são mais apropriadas para determinadas tarefas do que outras. Por exemplo, segundo Poupyrev [POU 98a] e Bowman [BOW 97b], a técnica *ray casting* é apropriada para o posicionamento de objetos a uma distância constante do usuário, mas apresenta um baixo desempenho quando é requerida uma mudança na distância do objeto.

A avaliação de uma técnica de interação deve prever, por exemplo, o nível de conforto e o desempenho do usuário enquanto este desenvolve uma tarefa de manipulação. Um dos critérios a serem considerados num processo de avaliação é o tempo que o usuário leva para realizar uma tarefa com sucesso. Após a realização de testes são aplicados questionários para avaliar aspectos subjetivos quanto a apreciação ou não das técnicas de interação experimentadas. Pode ocorrer que determinadas técnicas apresentem uma carga cognitiva maior ou menor que as demais, sendo que o objetivo é que o usuário consiga realizar a sua tarefa de forma efetiva e com facilidade.

O objetivo deste trabalho é a realização de experimentos que avaliem técnicas de interação para operações de seleção, manipulação e navegação em ambientes virtuais. A avaliação de técnicas de interação envolve a utilização de dispositivos habituais, como o *mouse* e o teclado, bem como dispositivos específicos de RV, tais como: luvas, *mouse* 3D, capacetes (HMD- *Head Mounted Display*), óculos com lentes de cristal líquido (*shutter glasses*), etc.

Uma forma de interagir em ambientes virtuais é através de controles virtuais, tais como: menus, botões, relógios etc. Trata-se de uma forma indireta de interação. Por exemplo, podem existir controles intermediários que ajudem o usuário a rotacionar ou transladar objetos (maiores ou mais distantes). Estes controles virtuais atuam como se fossem uma “espécie” de controle remoto. Neste trabalho, é realizada a avaliação de técnicas de interação de forma direta, ou seja, não existem controles virtuais intermediários para ajudar o usuário. Na forma direta, o usuário utiliza partes do seu corpo (mão, cabeça, ombro) para interagir diretamente no ambiente.

## 1.3 Organização do Texto

O capítulo 2 apresenta um estudo sobre interação e percepção em ambientes virtuais. São abordadas técnicas de interação para ambientes não-imersivos e também, as metáforas, as taxonomias e as técnicas utilizadas em ambientes virtuais imersivos.

O capítulo 3 aborda metodologias para se realizar uma avaliação experimental. Primeiramente, é feito um estudo sobre as etapas envolvidas na avaliação experimental,

ênfatizando características específicas para ambientes virtuais. Neste capítulo são apresentadas algumas avaliações experimentais de técnicas de interação e, também, um experimento para avaliar o senso de presença e o desempenho do usuário em AVs.

O planejamento e os resultados obtidos com os experimentos realizados neste trabalho, com duas aplicações (elevador panorâmico e xadrez virtual) são apresentados nos capítulos 4 e 5, respectivamente. O capítulo 6 apresenta as conclusões deste trabalho e algumas sugestões para trabalhos futuros. Em anexo encontram-se os questionários e formulários utilizados durante a realização dos experimentos.

## 2 Interação e Percepção em Ambientes Virtuais

O processo de interação em ambientes virtuais consiste na capacidade reativa do sistema em detectar e responder a cada ação do usuário através de modificações instantâneas no ambiente virtual. Trata-se de um processo contínuo que tanto pode ser realizado através de dispositivos especiais como convencionais. A interação em ambientes tridimensionais é realizada com o objetivo de efetuar operações de seleção, manipulação e navegação no ambiente tridimensional.

O usuário efetua ações no ambiente virtual através dos dispositivos de entrada. Estas ações (estímulos motores) são efetuadas através de técnicas de interação, que correspondem a métodos através dos quais o usuário especifica comandos e dados para o sistema computacional, para executar tarefas. A resposta do sistema se dá através de dispositivos de saída que estimulam os sentidos do usuário (tato, visão, audição).

A percepção é o resultado de uma cadeia de processamentos de estímulos obtidos pelos diferentes sentidos, como a visão, a audição e o tato. Tais estímulos são processados e assimilados pelo cérebro e, juntamente com as expectativas criadas com base em experiências anteriores, definem como as pessoas interagem com o ambiente. Davidoff [DAV 2001] afirma que “a percepção é um processo cognitivo, uma forma de conhecer o mundo” e que este processo é complexo pois depende tanto do meio ambiente como da pessoa que percebe. Alguns dos atributos utilizados no processo perceptual são: cor, textura, tamanho, perspectiva, oclusão, sombra e movimento do observador.

No processo de interação humano-computador usando a tecnologia oferecida pelos dispositivos de realidade virtual (RV), busca-se eliminar qualquer estímulo do mundo real através da produção de estímulos virtuais realistas. O objetivo é proporcionar imersão total no ambiente virtual, “desligando” o usuário do mundo real. A figura 2.1 apresenta o esquema que resume este processo. O usuário tem seus sentidos estimulados pelo computador e por um conjunto de atuadores e envia ao computador, por intermédio desses mesmos atuadores, as ações desejadas.

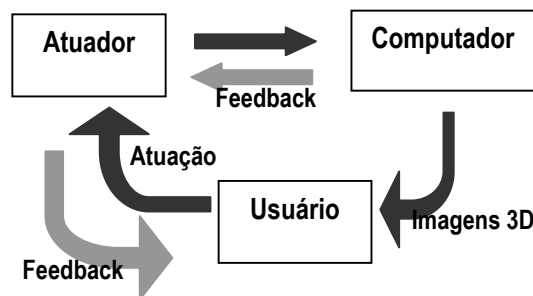


FIGURA 2.1- Esquema de interação humano-computador em ambientes imersivos

Existem várias técnicas de interação para o usuário realizar suas ações no ambiente virtual, técnicas que podem ser mais apropriadas ou não para determinados tipos de tarefas. Este capítulo apresenta algumas avaliações experimentais de técnicas de interação, no intuito de ilustrar suas vantagens e desvantagens na realização de tarefas. Também são apresentadas as metáforas e as técnicas de interação utilizadas em ambientes virtuais imersivos e não-imersivos.

## 2.1 Interação em ambientes virtuais não-imersivos

A principal característica dos sistemas não-imersivos é o uso de monitores para visualização do ambiente tridimensional. O que ocorre também é que estes sistemas, normalmente, dispõem apenas de teclado e *mouse* como dispositivos de entrada para interagir com o ambiente. Isto significa que o usuário não consegue ter a sensação de imersão, de estar “mergulhado” no ambiente. Estes sistemas (não-imersivos) podem ou não se utilizar de equipamentos típicos de RV como: óculos com lente de cristal líquido (*shutter glasses*), luvas, *mouse* 3D, entre outros. A tendência das aplicações de RV é que evoluam para sistemas imersivos com a utilização de capacetes ou salas de projeção (CAVEs).

A interação em ambientes tridimensionais não-imersivos pode ser realizada de duas formas: direta ou indiretamente. A manipulação indireta de objetos funciona com objetos gráficos de interface conhecidos (*sliders*, *dials* e *widgets*). Fazendo uma analogia, a manipulação indireta funciona como se fosse uma espécie de controle remoto à distância. Cada ação do usuário no objeto de interface intermediário é refletida no objeto que se deseja manipular. Por exemplo, *widgets* no formato de relógio são úteis para rotação de objetos. Zeleznik [ZEL 93] apresenta uma ferramenta para construção de *widgets* 3D.

A navegação indireta em aplicações não-imersivas pode ser feita através de controles específicos como, por exemplo, a barra de controle do VRML [JAC 2000, DAL 2000]. Sayers [SAY 2000] apresenta um ambiente para navegação indireta que possui uma barra de controle com botões, menu, *widget* no formato de relógio, *slider* para controle de velocidade, entre outros.

A manipulação direta é realizada através de apontamento sobre a cena 3D. O usuário pode interagir com o *mouse* clicando sobre a cena representada com vista ortográfica ou em perspectiva, para realizar operações de translação, escala e rotação (maiores detalhes podem ser obtidos em [PIN 2001]). A seleção direta é feita através da leitura do movimento do *mouse* sobre o objeto desejado (maiores detalhes sobre técnicas de interação em ambientes não-imersivos podem ser encontrados em [PIN 2001]).

A tabela 2.1 obtida em Pinho [PIN 2001] apresenta, resumidamente, as técnicas de interação em ambientes não-imersivos.

TABELA 2.1- Técnicas de interação em ambientes não-imersivos [PIN 2001]

AMBIENTES NÃO-IMERSIVOS		
Seleção	Manipulação	Navegação
<u>Indireta</u> : pode ser feita através de menus, ícones e vistas orto-gráficas em 2D.	<u>Indireta</u> : utiliza <i>widgets</i> 3D ou controles comuns como botões, <i>sliders</i> e menus.	<u>Indireta</u> : pode ser realizada da seguinte forma: -com controle comum ( <i>slider</i> , menus); -com controles específicos como a barra de controle do VRML; -dispositivos especiais: <i>joysticks</i> , direção de carro, etc.
<u>Direta</u> : é necessário verificar qual região que se deseja selecionar: qual face, ou qual aresta ou vértice, ou então a seleção do objeto inteiro. A técnica para este tipo de seleção pode ser um envelope que envolve o objeto, ou também pode ser através da mudança de cor da região selecionada.	<u>Direta</u> : é realizada através de apontamento sobre a imagem. Este apontamento pode ser feito: <ul style="list-style-type: none"> <li>• sobre vistas ortográficas;</li> <li>• sobre projeção perspectiva;</li> <li>• com manipulador tridimensional (setas tridimensionais).</li> </ul>	<u>Direta</u> : utilização de setas de movimentação do teclado (cima/baixo e esquerda/direita), ou do <i>mouse</i> convencional para deslocar o observador pelo ambiente.



## 2.2 Interação em ambientes virtuais imersivos

Conforme mencionado anteriormente, os sistemas imersivos permitem que os usuários se sintam “dentro” do ambiente. Nestes sistemas, o processo de interação é realizado através de dispositivos especiais como capacetes (HMD - *Head Mounted Display*), luvas, rastreadores de posição, entre outros.

As técnicas de interação em ambientes imersivos, segundo Mine [MIN 95] podem ser realizadas da seguinte forma:

- direta (corpo do usuário atua diretamente sobre o objeto);
- com controles físicos (envolve o uso de botões, *joysticks*, pedais, volante de automóvel, etc);
- com controles virtuais (representação virtual de um dispositivo físico, tais como menus 3D, *widgets*, botões).

A forma básica de interação mais comum é a interação direta (utilizando a técnica da mão virtual, raio de apontamento e extensão do braço). Este trabalho pretende avaliar apenas esta modalidade de interação.

### 2.2.1 Seleção e manipulação de objetos em AVs

A tarefa de manipulação envolve também a tarefa de seleção. Suponha que o usuário deseje manipular um objeto (isto envolve uma das seguintes operações: rotação, translação, escala e mudança de propriedades como cor, texturas, etc.). Em qualquer um dos casos, primeiramente, é preciso selecionar o objeto, para em seguida manipulá-lo.

A seguir, são apresentadas metáforas e técnicas para as tarefas de seleção e manipulação de objetos em ambientes virtuais imersivos.

#### 2.2.1.1 Metáforas de interação

Poupyrev *et al* [POU 98a] dividem as técnicas de manipulação de ambientes virtuais de acordo com as metáforas básicas de interação: egocêntricas e exocêntricas (figura 2.2). Como técnicas egocêntricas, Poupyrev cita as metáforas da mão e do raio de apontamento. Mas novos acréscimos são realizados nesta classificação, pois Bowman [BOW 97b] apresenta um experimento que utiliza técnicas com o braço estendido, enquanto Jacob [JAC 2000b] relata uma técnica de interação para seleção em AV com o movimento dos olhos.

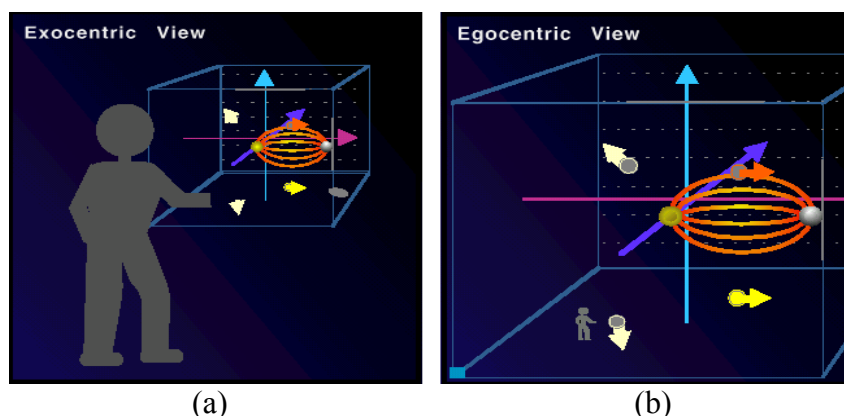


FIGURA 2.2- Visão (a) exocêntrica e (b) egocêntrica [MIN 97]

Com interação exocêntrica, também conhecida como “*God’s eye viewpoint*”, o usuário interage com o AV fora do sistema de referência dele. Já com a interação egocêntrica, a mais comum, o usuário interage com o AV de dentro do próprio

ambiente, isto é, o AV engloba o usuário. A figura 2.3 apresenta a classificação das técnicas de interação acrescida das duas metáforas citadas acima.

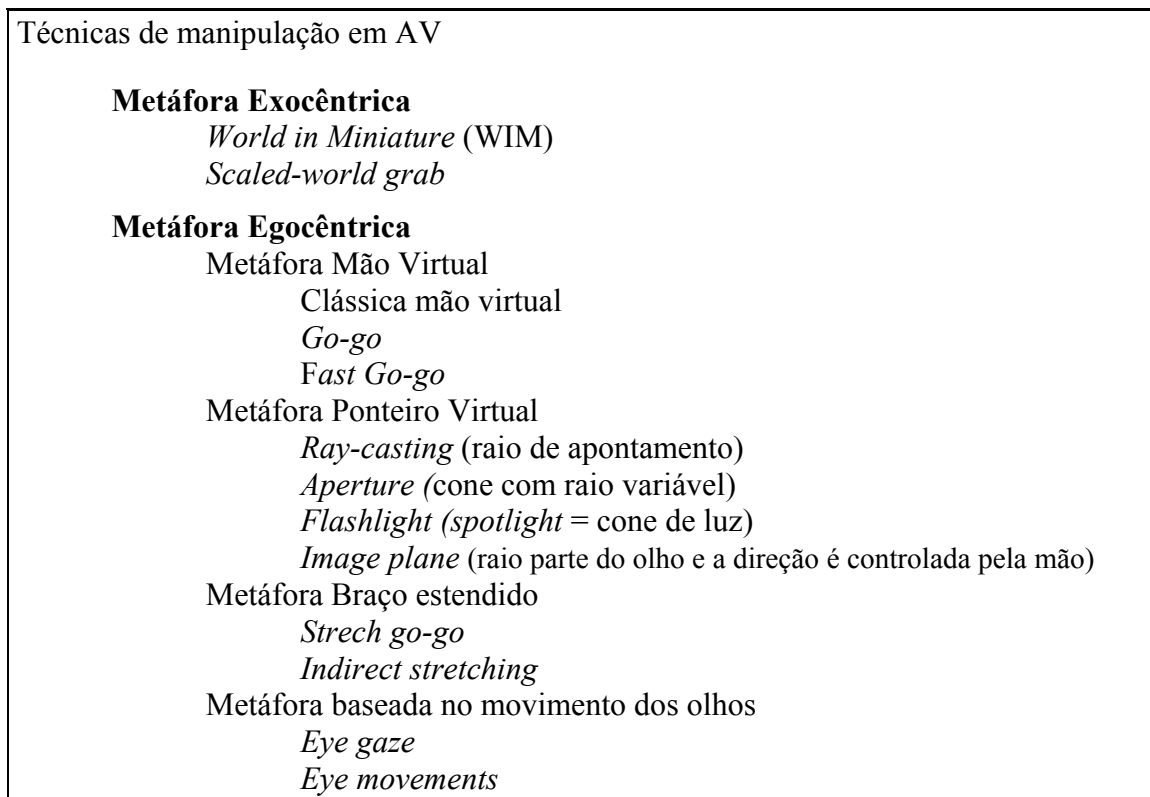


FIGURA 2.3- Metáforas e técnicas de manipulação e seleção em AVs [POU 98a, BOW 97b e JAC 2000a, 2000b].

Com a metáfora da mão virtual, os usuários podem pegar e posicionar objetos pelo toque e escolher um deles através da movimentação da representação virtual de sua mão real. Já o ponteiro virtual consiste de um raio que é controlado pelo usuário. Na metáfora do ponteiro, o usuário posiciona o raio na direção do objeto desejado para selecioná-lo e manipulá-lo.

Bowman [BOW 97b] apresenta exemplos de técnicas de interação para selecionar e manipular objetos remotos e, para isto, uma outra metáfora é acrescentada: a do braço estendido. Nela, o braço virtual do usuário é estendido no ambiente, de forma que as mãos atinjam os objetos situados a longa distância.

Mine [MIN 95] cita a direção do olhar (*eye gaze*) como uma técnica de seleção. O usuário olha para um objeto a ser selecionado e então indica sua opção através de um sinal de seleção padrão. Na falta de uma forma confiável para rastrear o olho, a seleção pode ser feita usando a orientação atual da cabeça do usuário. Jacob e Tanriverdi apresentam uma técnica de interação que utiliza o movimento dos olhos (*eye movements*) para selecionar objetos [JAC 2000a].

#### 2.2.1.2 Taxonomia

A taxonomia apresentada na figura 2.4 é o produto de uma análise das tarefas envolvidas na seleção e manipulação de objetos. Ela mostra um conjunto de tarefas que são divididas inicialmente em três grupos: seleção, manipulação e liberação. Para cada tarefa, existe uma outra subdivisão, ou seja, a tarefa é subdividida em subtarefas. Por exemplo, a tarefa de manipulação é subdividida em subtarefas de fixação,

posicionamento, orientação e *feedback*. Cada sub tarefa pode ser dividida em outras sub tarefas, até o ponto em que as sub tarefas são decompostas em componentes das técnicas. Uma técnica de interação é construída a partir de um componente.

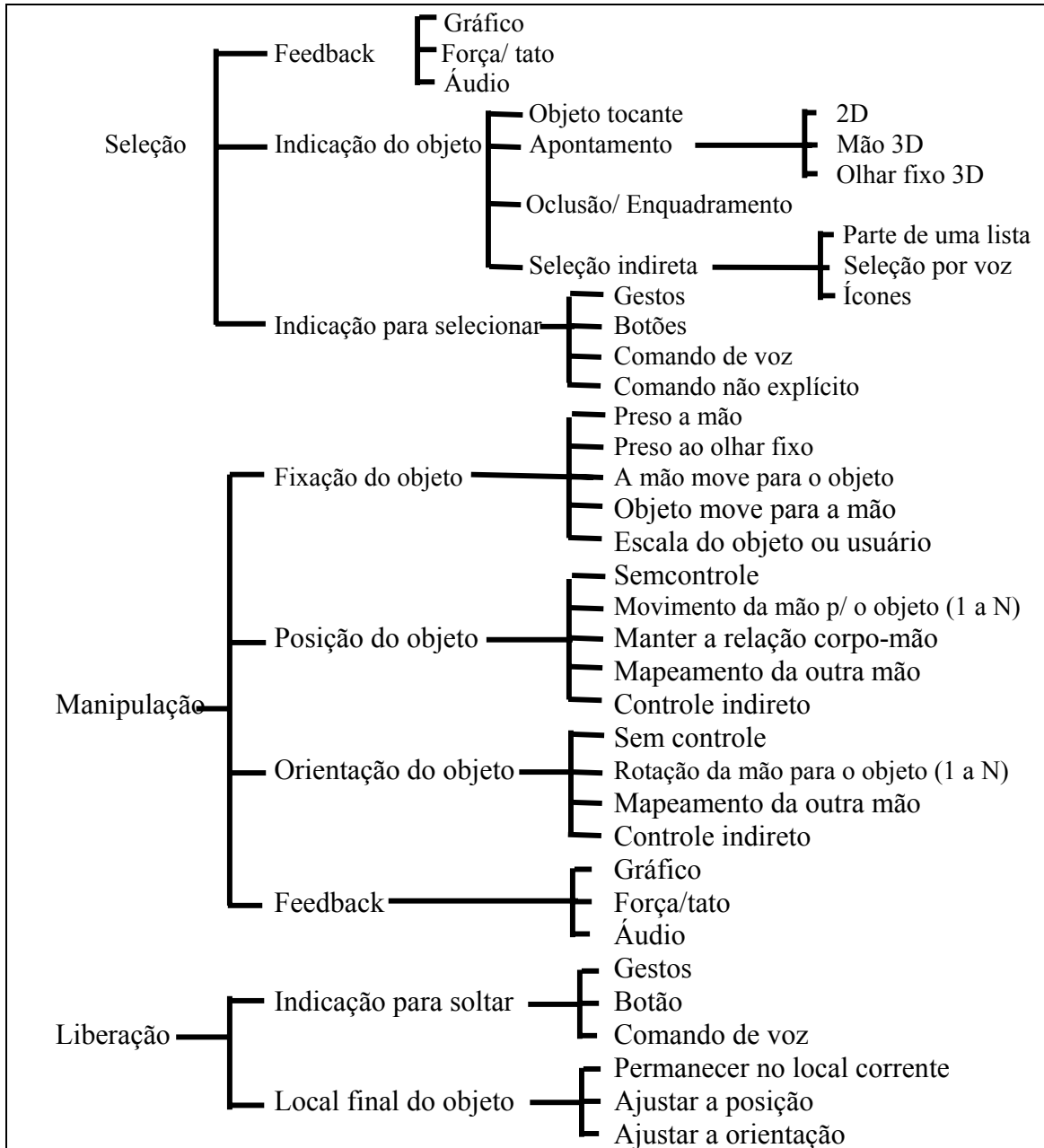


FIGURA 2.4- Taxonomia das técnicas de seleção e manipulação de objetos em AVs imersivos.

Esta taxonomia serve para auxiliar no processo de criação de novas técnicas de interação. Pode-se considerar a grande opção de possíveis projetos de técnicas de interação, simplesmente testando diferentes combinações de componentes para cada sub tarefa. Bowman e Hodges [BOW 99a] afirmam que apesar de ser possível obter 4608 combinações diferentes, apenas cerca de 600 são realmente passíveis de serem implementadas devido a restrições e dependências existentes.

Na figura 2.4, seleção refere-se ao ato de especificar ou escolher um objeto para algum propósito. Manipulação é a tarefa de estabelecer a posição e orientação (com possibilidade também de realizar operações de escala ou mudança de forma) do objeto

selecionado. Liberação corresponde a operação de “soltar” o objeto, liberá-lo da seleção.

### 2.2.1.3 Técnicas de Seleção e Manipulação de objetos

Esta seção apresenta algumas das técnicas de interação utilizadas para manipulação e seleção de objetos, pesquisadas na literatura. Algumas técnicas aqui apresentadas também podem ser utilizadas para operação de navegação do usuário pelo ambiente virtual.

**WIM (World in Miniature).** Nesta técnica [MIN 97, PAU 95b] a manipulação de objetos é realizada num modelo em miniatura do ambiente, conforme ilustrado pela figura 2.5. O ambiente virtual é reduzido em uma das mãos do usuário, que pode efetuar operações de rotação e translação com a outra mão. A técnica WIM também pode ser utilizada para tarefas de navegação (seção 2.2.2.3).

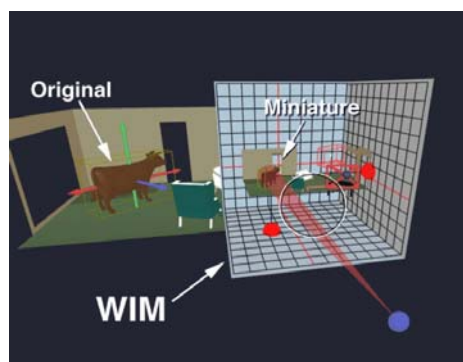


FIGURA 2.5- Técnica WIM [MIN 97]

**Clássica mão virtual.** O usuário é provido com uma mão virtual, cuja posição e orientação são controladas através de um captor de posição preso à mão real do usuário. Para selecionar um objeto virtual, o usuário intercepta o objeto com a mão virtual e pressiona um botão com o dispositivo de botão [POU 96, BOW 2001]. A figura 2.6b ilustra a clássica mão virtual.

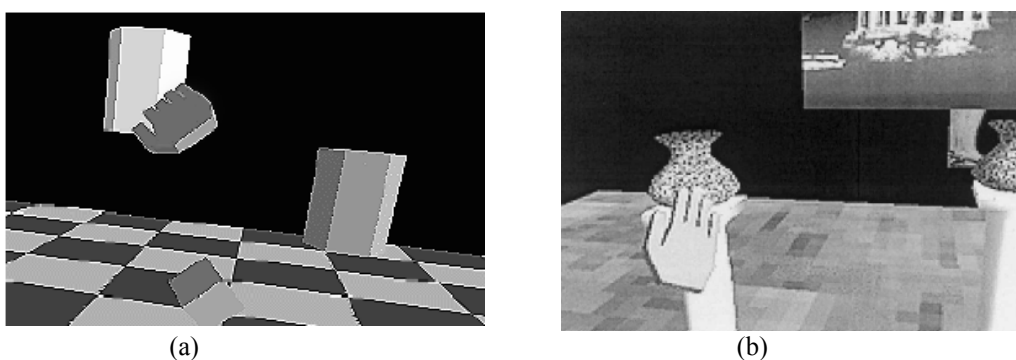


FIGURA 2.6- (a) Técnica *go-go* [POU 97]; (b) Técnica da clássica mão virtual [BOW 2001]

**Go-go.** Semelhante à clássica mão virtual. A diferença entre elas é quanto ao mapeamento entre a mão real do usuário e a representação da mesma no ambiente virtual. A técnica clássica de mão virtual propicia o mapeamento 1:1 entre a mão real e a mão virtual, enquanto que a técnica *go-go* aplica uma função de mapeamento não-linear para estender a área de alcance do usuário no ambiente. A figura 2.6a ilustra a técnica de interação *go-go*.

**Fast go-go.** Outra variação da técnica da mão virtual utilizada por Bowman [BOW 97b] é a *fast go-go*, que através do uso de uma função, acrescenta maior rapidez a técnica *go-*

go. Tanto a técnica *go-go* como a *fast go-go* permitem que a mão tenha um alcance finito apenas.

**Ray-casting.** É uma das técnicas mais comuns (figura 2.7) [POU 98a, BOW 2001, BOW 97a], onde a direção do apontador é definida pela orientação da mão virtual. A técnica consiste de um raio infinito invisível que sai da mão do usuário; sendo que um pequeno segmento do raio é preso a mão para indicar a direção do apontamento. Para selecionar um objeto, o usuário aponta-o e pressiona um botão no dispositivo de botão. A técnica pode embutir ou não o *feedback* visual. Quando o *feedback* visual é aplicado, a cor do objeto muda quando o raio virtual o intercepta.

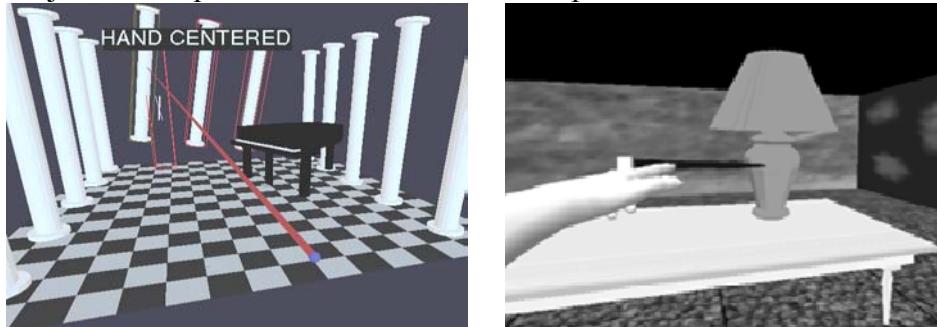


FIGURA 2.7- Raio por apontamento (*ray-casting*) [MIN 97] e [BOW 97b]

**Ray-casting with reeling.** A técnica *ray-casting* apresenta dificuldades para o usuário quando este necessita, por exemplo, aproximar ou distanciar um objeto previamente selecionado. A técnica conhecida como *ray-casting with reeling*, utilizada por Bowman [BOW 97b], funciona como uma espécie de carretel para “puxar” o objeto desejado. O usuário pode “puxar” os objetos para mais perto ou “empurrar” para longe usando dois botões do *mouse*. Esta técnica acrescenta um grau de liberdade a mais que a técnica *ray-casting*.

**Flashlight.** Muitas técnicas aparentemente derivam uma da outra, possuindo algumas propriedades em comum. Por exemplo, existem muitas similaridades entre as técnicas *ray-casting* (raio de apontamento) e *flashlight*. A técnica *flashlight* realça o raio por usar um cone de luz (*spotlight*) que facilita a seleção de pequenos objetos. Estes melhoramentos frequentemente resultam em uma nova restrição. Por exemplo, com a técnica *flashlight* pode ocorrer uma ambiguidade se um objeto muito pequeno aparecer dentro do cone de luz, ou mesmo quando os objetos pequenos encontram-se muito próximos um do outro. A figura 2.8 ilustra a técnica *spotlight*.

**Aperture.** Esta técnica é uma variação da técnica *flashlight* (cone de luz). Nela, o volume do cone pode ser controlado por um “círculo de abertura”. Este círculo de abertura permite controlar o volume cônico de seleção dos objetos no ambiente [POU 96].

**Image-plane.** Nesta técnica, a seleção é feita sobre a projeção perspectiva da cena tridimensional, ou seja, o ambiente virtual não é considerado. O raio parte do olho do usuário e tem sua direção controlada pela mão ou um outro dispositivo [POU 96].

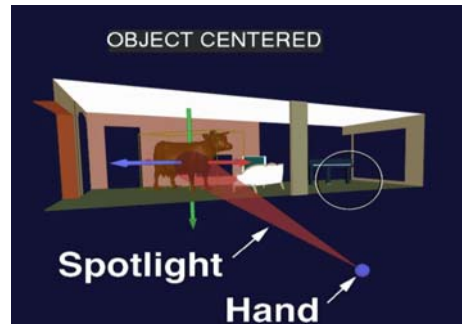


FIGURA 2.8- Cone de luz [MIN 97]

**Homer (Hand-centered Object Manipulation Extending Ray-casting).** Técnica híbrida criada por Bowman [BOW 97b, 99a, 99b]. Na maior parte das técnicas básicas, o usuário seleciona o objeto com um raio de luz, mas em vez do objeto ficar preso ao raio, a mão virtual se move para a posição do objeto e o objeto é preso à mão (o objeto permanece fixo no mundo, enquanto o campo de visão do usuário se movimenta e é posicionado na direção do objeto selecionado). Quando o objeto é solto, a mão retorna à sua posição natural.

**Strech go-go.** Nesta técnica tem-se a representação do braço e da mão do usuário no ambiente virtual. Conforme o usuário estica sua mão para uma área situada num ponto extremo do ambiente, o braço cresce numa velocidade constante, visando alcançar objetos remotos. Se o usuário retrai o seu braço, a velocidade da mão virtual no ambiente diminui, caso ele permaneça numa região mediana, o comprimento do braço fica o mesmo. A figura 2.9 ilustra a técnica *stretch go-go* [BOW 97b].

FIGURA 2.9- Técnica *stretch go-go* [BOW 97b]

**Indirect stretching.** Esta técnica de esticamento indireto é bastante semelhante a *stretch go-go*, mas ao invés de usar o movimento do braço, o usuário pode esticar ou retrair o braço virtual ao pressionar o botão de um mouse 3D [BOW 97b]. Um botão estende o braço a uma taxa constante, enquanto o outro retrai. A técnica de esticamento indireto proporciona um menor esforço físico do usuário.

**Eye gaze.** Jacob [JAC 2000a, 2000b] apresenta uma técnica de interação baseada no movimento dos olhos para selecionar objetos. Trata-se de uma técnica que, sempre que possível, obtêm informações de movimentos naturais dos olhos do usuário, ao invés de basear-se em movimentos treinados (interação não baseada em comandos). Mine também apresenta a técnica da direção dos olhos (*eye gaze*) para realizar tarefas de seleção [MIN 95].

## 2.2.2 Navegação em ambientes imersivos

A operação de deslocamento do usuário pelo ambiente é conhecida por navegação. O usuário pode ser representado por um avatar (representação virtual do usuário participante no ambiente).

Bowman [BOW 98, 2001] divide a tarefa de navegação em duas partes: *wayfinding* e *walkthrough*. Navegação (*walkthrough*) é definida como o controle do movimento no ambiente virtual sob o ponto de vista do usuário, o que é diferente de *wayfinding*. Entende-se por *wayfinding*, o processo cognitivo de escolher um caminho baseado em sugestões visuais, como por exemplo a utilização de mapas ou bússolas que auxiliam o usuário na escolha do caminho a seguir dentro do ambiente. A navegação é composta pelos processos de viagem (*walkthrough*) e *wayfinding*.

As tarefas de navegação são, geralmente, classificadas em 3 categorias. *Exploração* é a navegação sem um objetivo específico, onde o usuário investiga simplesmente o ambiente. A tarefa de *busca* envolve o movimento para um local específico, enquanto a tarefa de *maneuvering* prevê deslocamentos pequenos pelo ambiente com alta precisão.

A navegação pode ser uma tarefa difícil de ser realizada, sendo que a principal dificuldade enfrentada é a desorientação do usuário. Um exemplo de desorientação ocorre quando o usuário está muito próximo a um objeto no AV. Se o objeto preenche o campo de visão do usuário (por exemplo “com o nariz contra a parede”), o usuário fica sem uma pista visual que permita a ele determinar qual será a sua próxima ação de navegação. Smith e Marsch [SMI 2001a, 2001b] apresentam diretrizes construídas a partir de convenções cinematográficas para a construção de ambientes virtuais no intuito de ajudar o usuário a compreender melhor o espaço virtual, visando reduzir a desorientação do mesmo. Busca-se sugerir ao usuário a existência de outro espaço além do que é visto, isto é, sugerir espaço virtual fora da tela. As diretrizes são:

- pontos de entrada e saída: sempre que possível, oferecer ao usuário opções para sair da área confinada. A saída daquele ambiente pode ser implementada através de portas, corredores ou caminhos;
- exibição parcial de objetos familiares no campo de visão: a parcialidade dos objetos mostrados faz com que o usuário perceba que lá existem, mesmo que parcialmente exibidos, outros objetos que estão fora do seu campo de visão. Desta forma, o usuário pode imaginar o espaço virtual que está fora da tela, diminuindo assim a sua desorientação.

As seções seguintes apresentam as metáforas de interação, a taxonomia e as técnicas para deslocamento do usuário pelo AV.

### 2.2.2.1 Metáforas de interação

Bowman, Kruijft, LaViola e Poupyrev [BOW 2001] citam 5 metáforas para as técnicas de navegação: movimento físico, manipulação do ponto de visão, pilotagem (*steering*), navegação baseada no alvo (*target-based travel*), direção planejada (*route planning*).

Na metáfora baseada no movimento físico, o movimento do corpo do usuário é usado para deslocá-lo pelo ambiente. Exemplos incluem caminhada no local, rastreamento do movimento numa área ampla e uso de dispositivos de locomoção, tais como bicicletas fixas ou tambores que são rotacionados para deslocar o usuário pelo AV. A figura 2.10 ilustra esta metáfora.

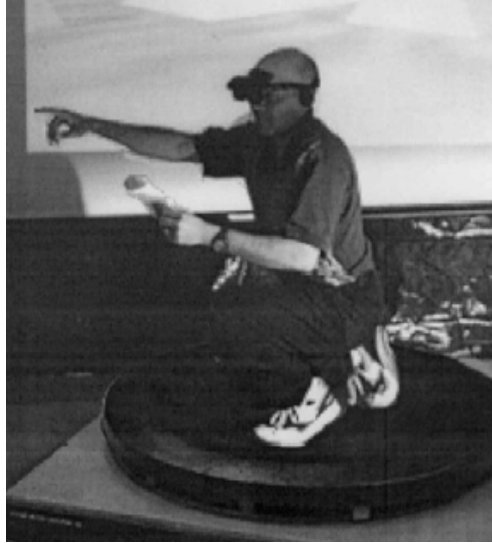


FIGURA 2.10- Metáfora do movimento físico: *Virtual Motion Controller* [BOW 2001]

Na metáfora de manipulação do ponto de visão, utiliza-se a mão do usuário para realizar a viagem. Por exemplo, o usuário “agarra o ar” e puxa-o em sua direção como se tivesse uma corda virtual em sua mão. Em outro tipo de técnica utiliza-se um objeto selecionado como o ponto central para movimentar o usuário. Estas técnicas podem ser eficientes e fáceis para aprender, no entanto, causam fadiga.

Entende-se por pilotagem (*steering*), a especificação contínua da direção do movimento. Trata-se da metáfora mais comum e inclui técnicas tais como pilotagem direcionada pelo olhar (a orientação da cabeça do usuário determina a direção do movimento) ou apontamento (neste caso a orientação da mão é utilizada). Segundo Bowman *et al* [BOW 2001] as técnicas de pilotagem são as mais comuns e eficientes.

Na metáfora de navegação baseada no alvo (*target-based travel*), o usuário especifica o destino e o sistema controla o movimento. Isto pode ser feito na forma de teletransporte, onde o usuário imediatamente é transportado de onde está para a nova localização, ou, preferivelmente, é realizada uma animação do deslocamento do usuário do ponto de partida para o ponto destino.

Na metáfora com direção planejada (*route planning*), o usuário especifica o caminho que deve ser seguido pelo ambiente e o sistema controla o movimento. O usuário pode manipular ícones ou estipular qual o caminho sobre um mapa do ambiente. A figura 2.11 ilustra uma técnica em que o usuário realiza marcações do caminho a ser percorrido num mapa do ambiente virtual.

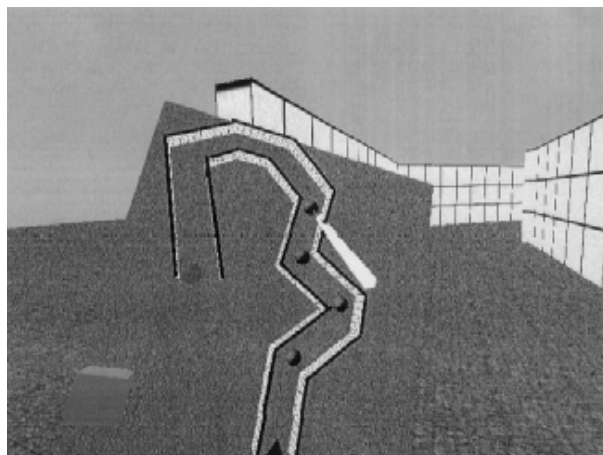


FIGURA 2.11- Uma das técnicas da metáfora com direção planejada [BOW 2001]



### 2.2.2.2 Taxonomia

Bowman [BOW 98, 99a] identifica 3 subtarefas básicas que devem ser analisadas para qualquer técnica de navegação. Através desta taxonomia, uma técnica de navegação pode ser desmembrada em 3 subtarefas e, desta forma ser analisada separadamente. Uma técnica que apresenta um desempenho pobre pode ser aperfeiçoada naquela subtarefa que lhe é mais vulnerável. A figura 2.12 apresenta as subtarefas que são descritas abaixo:

- seleção da direção/alvo: define como o usuário indica a direção ou o ponto final do movimento. As duas técnicas de navegação mais populares são: direcionada pelo olhar fixo e direcionada por apontamento. Na navegação direcionada pelo olhar fixo, o usuário se move em direção ao que ele está olhando, enquanto no apontando, o usuário aponta na direção que deseja ir. Existe ainda a possibilidade de mudar a direção e o alvo do movimento através de menus, objetos (bússolas) e raio de apontamento 2D;
- seleção da velocidade/aceleração: As técnicas permitem que o usuário varie a velocidade e a aceleração do movimento. A maioria das aplicações de RV dispensam esta característica e usam uma velocidade constante no movimento. Entretanto, várias técnicas tem sido propostas, incluindo uso de gestos contínuos para selecionar velocidade, uso de apoios tais como pedais para os pés, ou ainda o uso de sistemas adaptativos para controle de velocidade;
- condição de entrada: significa como o usuário inicia, continua e finaliza o movimento. O usuário pode ter um movimento constante caso nenhuma entrada tenha sido requerida. Como alternativa, o sistema pode requerer entrada contínua para determinar o estado do usuário ou simplesmente entradas do começo e/ou fim de um movimento. Este componente pode também ficar sob controle do sistema.

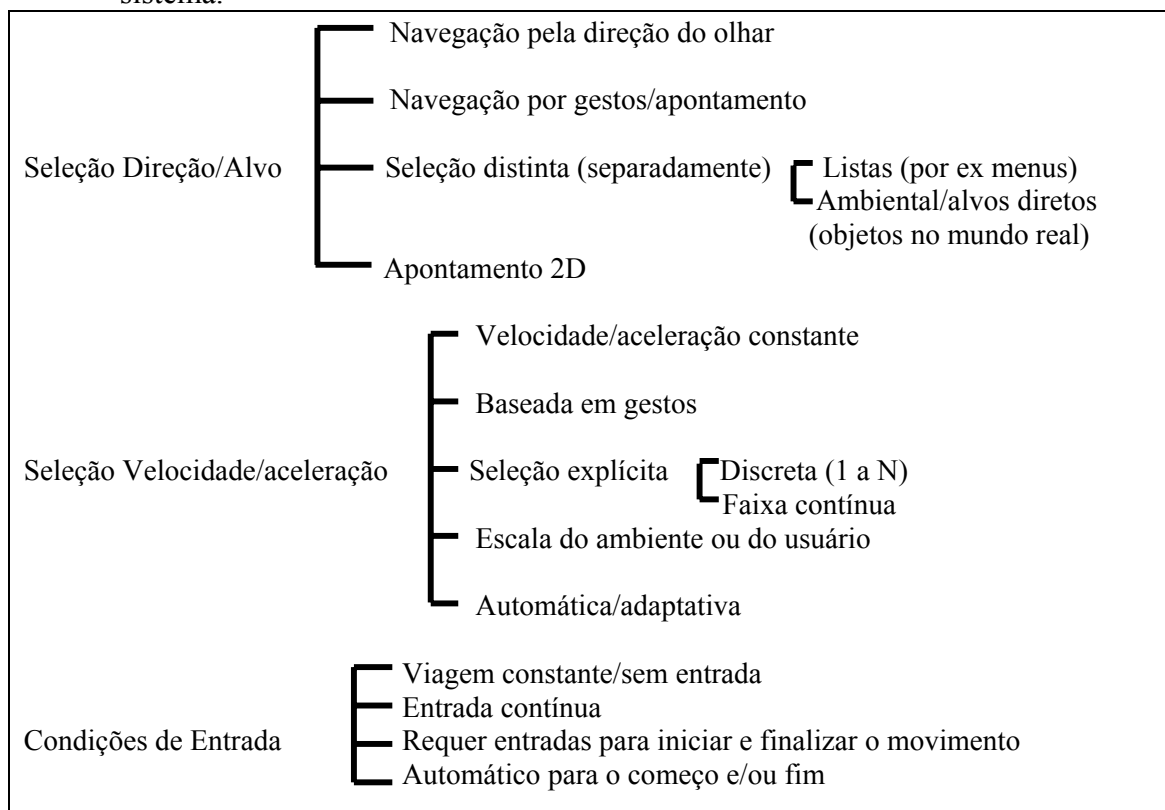


FIGURA 2.12- Taxonomia das técnicas de navegação para AVs imersivos

### 2.2.2.3 Técnicas de Navegação

Esta seção apresenta algumas técnicas de navegação pesquisadas.

**Map dragging.** Esta técnica consiste na ação de arrastar um ícone num mapa bidimensional através da mão não-dominante do usuário e foi utilizada por Bowman [BOW 99b] em um dos seus experimentos. O mapa mostra o *layout* do ambiente, enquanto um ícone indica a posição do usuário dentro do ambiente (figura 2.13a). Usando um instrumento pontiagudo, o usuário deve arrastar este ícone para uma nova localização. Quando o ícone é solto, o usuário estará “voando” suavemente da posição corrente para a nova localização no ambiente (indicada no mapa, anteriormente).

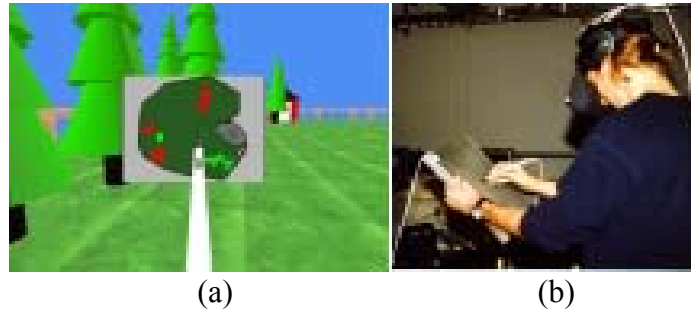


FIGURA 2.13- (a) Vista virtual e (b) vista real da técnica *map-dragging* [BOW 99b].

**Scaled world grab.** A técnica *scaled-world grab* é utilizada para manipular objetos, sendo que também pode ser usada para transportar o usuário pelo ambiente [MIN 97]. Uma escala é realizada de tal forma que o ambiente fique ao alcance das mãos do usuário. O usuário escolhe um ponto de interesse e uma nova escala reverte o ambiente ao seu tamanho original tendo como ponto de referência aquele marcado pelo usuário. Esta operação permite que o usuário seja transportado para o local desejado. Com *scaled world grab* o usuário pode alcançar um destino visível com uma simples operação de seleção.

**Ray-casting.** Esta técnica é utilizada geralmente na seleção e manipulação de objetos, mas também pode ser utilizada para movimentar o usuário pelo ambiente (navegação). O usuário aponta um pequeno raio virtual para um objeto a fim de selecioná-lo e, em seguida, ele é deslocado pelo sistema para a posição corrente do objeto [BOW 99b].

**Go-go.** Técnica de manipulação de objetos que, a exemplo da técnica exposta acima, também pode ser utilizada para movimentar o usuário pelo ambiente. Nela, o usuário “pega” um objeto com a mão virtual e o sistema se encarrega em deslocar automaticamente o sujeito até o objeto selecionado. [BOW 99b]

**Pilotagem com rastreador preso à mão ou, à cabeça ou no torso do usuário.** Trata-se da forma mais comum de navegação. Se o rastreador de posições estiver preso à mão, a navegação é efetuada através do apontamento da mão do usuário na direção desejada. Quando o rastreador está preso à cabeça, o deslocamento é realizado na direção para onde o usuário estiver olhando. O rastreador pode também estar preso ao torso e, neste caso, o deslocamento é guiado pelo torso do usuário [BOW 98, 99b].

**WIM (World In Miniature).** Esta técnica, citada na seção 2.2.1.3, pode tanto ser utilizada em tarefas de seleção e manipulação de objetos como também na navegação [MIN 97, PAU 95a, 95b]. A técnica WIM pressupõe a representação gráfica do ambiente em miniatura, que pode ser manipulada com a mão do usuário, como se fosse um mapa tri-dimensional. Para utilizar esta técnica na navegação, segundo Pausch *et al* [PAU 95a, 95b], basta representar o usuário como se fosse um objeto no ambiente

(também conhecido como avatar). Através da técnica WIM, o usuário pode simplesmente alcançar o seu avatar, selecioná-lo e efetuar uma mudança em sua posição dentro do ambiente em miniatura. Esta ação resulta no “vôo” do usuário pelo ambiente com escala normal. Ainda segundo Pausch *et al*, esta técnica ajuda a localização e orientação espacial do usuário, pois mostra ao usuário a sua posição em relação ao ambiente todo. A desvantagem percebida é que geralmente, o vôo do usuário pelo ambiente causa confusão, pois, o usuário dirige sua atenção sempre para o ambiente em miniatura, e não para o ambiente com escala normal.

**HOMER (Hand-centered Object Manipulation Extending Ray-casting).** Esta técnica, criada por Bowman [BOW 97b, 99a, 99b], pode ser utilizada para manipular objetos, bem como para deslocar o usuário pelo ambiente. A técnica é uma combinação de raio de apontamento (*ray-casting*) com a mão virtual. A técnica utiliza, primeiramente, o raio para selecionar o objeto desejado e, em seguida, utiliza a mão para o deslocamento do usuário. A seguir, tem-se um exemplo para melhor entendimento: suponha que o usuário “pegue” um mastro com sua mão. A mão do usuário se move para trás, em direção ao seu corpo, mas o mastro não se move, posto que está fixo no chão. Em vez disto, o corpo do usuário se move na direção do mastro. A técnica HOMER também permite que o usuário rotacione o seu campo de visão ao redor do objeto selecionado, bastando para isto, rotacionar a sua mão.

### 2.2.3 Outras formas de interação

**Menus 2D e 3D.** O menu é frequentemente usado em ambientes *desktop*, pois este tipo de interação minimiza a memorização de comandos e informações exigidas do usuário. Darken [DAR 94] apresenta um menu 3D para espaços virtuais (ilustrado na figura 2.14), que facilita a interação pois libera as mãos do usuário para outras tarefas. O menu 3D desenvolvido por Darken utiliza a fala para selecionar os itens.



FIGURA 2.14- Exemplo de menu 3D [DAR 94]

Hodges, Bolter, Meyer e Nichols [HOD 95] utilizaram um menu 2D com opções para: deslocar o usuário pelo AV (navegação), apresentar um mapa 2D de todo o espaço virtual, gravar pontos/localizações específicas do ambiente permitindo que mais tarde o usuário realize uma viagem por lugares pré-estabelecidos, entre outras opções.

**Painéis tridimensionais.** A ferramenta desenvolvida por Poupyrev e Weghorst [POU 98b] permite que o usuário escreva textos ou faça desenhos sobre imagens no ambiente virtual. A figura 2.15 ilustra uma aplicação que permite ao usuário realizar anotações sobre imagens de exames de raio-X. Para o usuário fazer anotações no ambiente virtual, tem-se uma prancheta sensível à pressão, um rastreador de posição e uma caneta.



FIGURA 2.15- Virtual Notepad [POU 98b]

A ferramenta *Personal Interaction Panel - PIP*, construída por Szalavári [SZA 97], também é composta por uma prancheta e um apontador, conforme ilustrado na figura 2.16a. Esta ferramenta permite que um objeto seja selecionado e arrastado sobre a prancheta para efeitos de estudo (figura 2.16b).

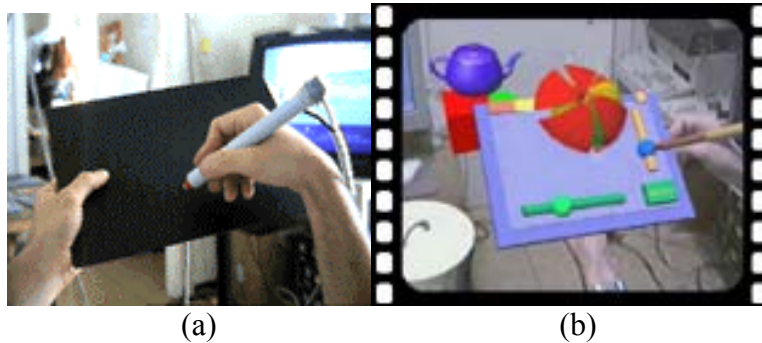


FIGURA 2.16- (a) Prancheta e apontador da ferramenta PIP [SZA 97]; (b) objeto de estudo sobre a prancheta.

### 2.2.3.1 Interação enfatizando a propriocepção

Mine [MIN 97] define propriocepção como a sensação que toda pessoa tem da posição e da orientação das partes do seu próprio corpo. Esta sensação favorece a interação em ambientes imersivos porque propicia maior facilidade na manipulação dos objetos, uma vez que o usuário tem a sensação tátil do seu próprio corpo.

Usando as informações do próprio corpo, como a posição das mãos ou da cabeça, as técnicas propostas possibilitam entre outras coisas:

- uma referência física real na qual o usuário pode apoiar-se para compreender o processo interativo (menus ou controles presos ao corpo do usuário);
- um controle mais fino sobre os movimentos;
- a possibilidade de uma interação sem os olhos, onde o usuário não necessita estar sempre olhando para os objetos ou para aquilo que estiver fazendo.

Considerando este conhecimento inerente que todo usuário tem das partes do seu corpo, Mine cita algumas técnicas para manipulação de objetos.

a) Manipulação Direta

**Scaled-world grab.** O ambiente virtual é escalado automaticamente quando o usuário seleciona o objeto. Após a manipulação, uma transformação inversa devolve o objeto a seu tamanho original, respeitando as transformações realizadas durante o processo de manipulação (figura 2.17).

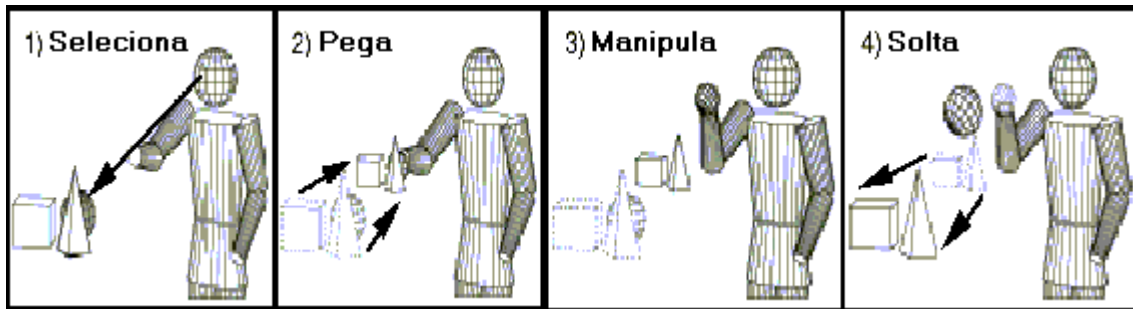


FIGURA 2.17- Exemplo de uso da técnica *scaled world grab* [MIN 97]

b) Objetos virtuais vinculados ao corpo do usuário

**Menus *pull-down*.** Menus localizados em posições fixas em relação ao corpo do usuário. Quando o usuário anda livremente pelo ambiente, pode ter dificuldade para encontrar os objetos após um movimento brusco ou um deslocamento muito grande. Para contornar este problema, utiliza-se menus presos ao corpo do usuário, como por exemplo, no bolso da camisa ou preso ao cinto. Um menu pode conter opções dos diferentes locais para onde o usuário pode se deslocar pelo ambiente, ou então, uma lista de objetos do ambiente que podem ser selecionados.

**Widgets controlados pelas mãos.** *Widgets* são presos diretamente aos objetos que controlam. São objetos gráficos 3D com geometria e comportamento, que aparecem na mão virtual do usuário. *Widgets* manuais podem ser usados para controlar objetos a distância como uma espécie de controle remoto de TV. Os movimentos e transformações aplicados aos *widgets* são realizados sobre os objetos aos quais estão associados. A figura 2.18 ilustra um *widget* manual.

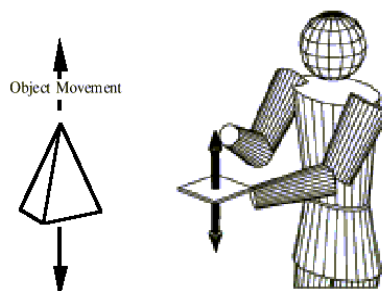


FIGURA 2.18- *Widget* manual para controle remoto de objetos [MIN 97]

c) Ações por gestos

**Remoção por cima dos ombros.** É bastante intuitivo, podendo-se usar o gesto de “jogar fora um objeto” ao atirá-lo por cima do ombro, para efetuar a sua remoção.

**Head-butt-zoom.** o usuário utiliza as duas mãos para delimitar uma moldura sobre a cena virtual. Esta moldura é especificada através do posicionamento das mãos em frente ao objeto de interesse do usuário. Para prover um *feedback* ao usuário durante o

processo de seleção, pode-se desenhar sobre a imagem um retângulo que represente a moldura. A figura 2.19 ilustra esta técnica.

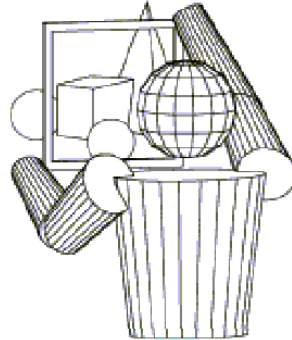


FIGURA 2.19- Técnica *head-butt-zoom* [MIN97b]

**Interação com menus através do olhar.** Um raio é fixado na cabeça do usuário. Esta é uma maneira intuitiva para selecionar um item simplesmente olhando para ele. Para confirmar a seleção, o usuário pressiona um botão físico. A figura 2.20 ilustra esta técnica.

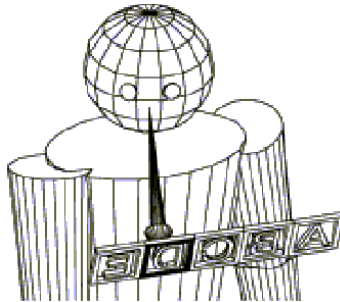


FIGURA 2.20- Técnica de interação com menus através do olhar [MIN 97]

**Especificando a direção com as duas mãos.** Trata-se de uma técnica para controle da locomoção, onde a direção do movimento pode ser especificada com o uso das duas mãos. Neste caso, o sistema deve criar um vetor baseado nas posições de ambas as mãos. Este vetor é então usado para direcionar o movimento, conforme ilustrado na figura 2.21.

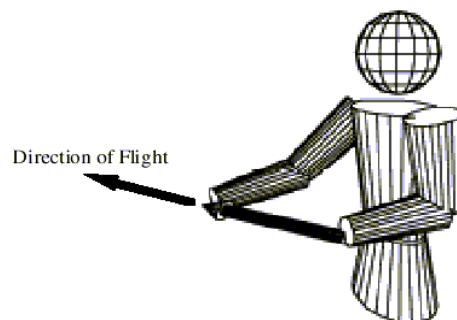


FIGURA 2.21- Técnica que utiliza as duas mãos do usuário [MIN 97]

### 2.3 Senso de presença em AVs

Segundo Furness, Winn e Yu [FUR 97], a presença (ou imersão) se refere à sensação do participante estar eletivamente no lugar representado pelo AV e não em um laboratório usando um HMD (*Head Mounted Display*) ou outro dispositivo similar. O

senso de presença aumenta a medida que a interface se torna mais intuitiva e a representação gráfica do AV mais próximo do mundo real.

A RV é uma técnica avançada de interface, cuja principal vantagem é permitir que o usuário use o seu conhecimento intuitivo a respeito do mundo físico para realizar tarefas no mundo virtual. Imersão, segundo Bowman [BOW 99c] é o sentimento do usuário de realmente “estar” no ambiente virtual. Um usuário está “imerso” quando ele sente que o mundo virtual está ao seu redor.

Furness, Winn e Yu sugerem que o papel do ambiente na dimensão da presença depende em grande parte de questões técnicas e de interface, como: campo de visão, precisão, velocidade, taxa na qual as imagens do AV são renderizadas pelo computador.

## **2.4 Considerações finais**

O objetivo deste capítulo foi apresentar as diversas técnicas de interação existentes, suas metáforas e taxonomias para realizar tarefas de seleção e manipulação de objetos e navegação do usuário pelo AV.

A partir deste estudo sobre as técnicas de interação, foi possível delinear um panorama sobre as técnicas existentes e, também, escolher as mais apropriadas para os experimentos deste trabalho. Na implementação de uma técnica, o que se busca, é que seja intuitiva para o usuário, posto que o interesse deste deve estar voltado para o ambiente e não para a técnica.





### 3 Avaliação experimental em AV's imersivos

O papel da avaliação é assegurar que projetos e sistemas comportem-se como o esperado, além de verificar se atendem às necessidades dos usuários [DIX 97]. Dix apresenta os 3 objetivos a serem atingidos num processo de avaliação:

- Aumento da funcionalidade do sistema. A funcionalidade do sistema é importante posto que deve estar de acordo com as necessidades do usuário para a realização de suas tarefas. Em outras palavras, o sistema deve permitir que o usuário execute suas tarefas mais facilmente;
- Avaliar o efeito da interface para o usuário. Devem ser considerados aspectos como facilidade de aprendizagem, usabilidade e a atitude do usuário com relação a interface. A usabilidade pode ser entendida como a qualidade de uso da interface e descreve o esforço necessário para se utilizar o software. Existe um conjunto de características através das quais é possível medir a qualidade da interação do usuário com a interface. Para Nielsen [NIE 94], a usabilidade é a combinação das seguintes características: facilidade de aprender, eficiência de uso (esforço físico e cognitivo do usuário durante o processo de interação), capacidade de memorização, frequência de erro e satisfação do usuário com a interface. A maioria dos métodos empregados para avaliar a usabilidade são baseados em testes realizados com os usuários (*user testing*) [RUB 94], onde a usabilidade é medida através da observação da interação dos usuários com o sistema. Outros métodos de avaliação de usabilidade são baseados na inspeção da interface por um especialista capaz de identificar os problemas de usabilidade [NIE 94];
- Identificar e especificar os problemas com o sistema, posto que pode ocorrer que o sistema, ao ser usado em determinado contexto, cause resultados inesperados ou confusão entre os usuários.

As avaliações podem ser executadas dentro de determinadas condições, como por exemplo num laboratório, ou conduzidas no seu próprio ambiente de trabalho. No laboratório, os sujeitos realizam as suas tarefas num ambiente livre de interrupções, além de contar com sofisticados equipamentos e facilidades tecnológicas que, de uma forma geral, não podem ser replicados no seu ambiente de trabalho.

A vantagem das avaliações realizadas dentro de laboratórios é que existem situações onde o sistema deve ser implantado em locais perigosos ou remotos, como por exemplo em uma estação espacial. Neste caso, o laboratório de observação é a única opção disponível para testes

Este trabalho tem por objetivo avaliar técnicas de interação, o que envolve medir o desempenho dos usuários segundo alguns critérios, enquanto eles realizam suas tarefas. Foram avaliadas técnicas aplicadas à realização de tarefas de navegação, seleção e manipulação de objetos.

#### 3.1 Características que afetam o desempenho do usuário

Antes de estabelecer os critérios para avaliar o desempenho do usuário enquanto realiza as tarefas no AV, é preciso verificar quais as características do sistema que também podem influenciar no desempenho final deste usuário.

**Dispositivos utilizados.** MacKenzie apresenta diversos dispositivos de entrada existentes e suas características (resolução, taxa de amostragem, entre outros) [MAC 95]. Ele comenta sobre a utilização de tais dispositivos no processo de interação em ambientes virtuais, e também sobre os limites impostos devido à utilização dos mesmos.

Poupyrev [POU 97] cita a dependência do desempenho do usuário com os dispositivos de entrada/saída utilizados. Atributos dos dispositivos tais como: graus de liberdade, resolução, campo de visão, profundidade máxima suportada, entre outros, devem ser considerados ao se comparar resultados de desempenho do usuário.

**O usuário.** Discute-se aqui quem são os usuários que farão parte do processo de avaliação e para quem se destina a aplicação ou o sistema.

Shneiderman [SHN 92] destaca a importância do usuário no projeto de interfaces. Ele relata as diferenças antropométricas existentes entre os usuários. Por exemplo: as pessoas com mãos grandes ou pequenas demais podem ter dificuldade em usar teclados padrões, mas uma grande parcela da população se adapta bem a um único projeto. Outro exemplo refere-se ao monitor: como pode variar substancialmente a preferência pela intensidade do brilho entre os usuários, os projetistas devem providenciar um botão para ajuste de acordo com a preferência do usuário. Sobre a percepção, Shneiderman afirma que os projetistas precisam ser cuidadosos com relação a este aspecto devido às variações existentes entre os vários usuários. Ele cita alguns itens a serem considerados: percepção apropriada da distância e dos ângulos, visão 3D e percepção da profundidade, sensibilidade ao contraste, sensibilidade a velocidade ao se alternar duas imagens gráficas diferentes no computador, visão periférica, capacidade para identificar um objeto no contexto, impacto da luz, fadiga visual, entre outros. A cognição, segundo Shneiderman, é a habilidade para interpretar as entradas sensoriais rapidamente e iniciar as ações necessárias, e está ligada a capacidade de aprendizagem do usuário sobre o sistema. Com relação a experiência do usuário, Shneiderman cita 3 tipos de usuário: os inexperientes, os intermediários, e os experientes. Usuários inexperientes necessitam de mais informações para confirmar suas ações, diferentemente dos experientes. Projetar uma interface para um destes tipos de usuário é fácil, mas projetar para todos os tipos é muito difícil, segundo Shneiderman.

Poupyrev [POU 97] cita quais atributos sobre os usuários devem ser considerados num processo de avaliação: experiência com AV's e com computadores em geral, cognição, percepção, habilidades motoras, diferenças antropométricas, entre outras. Com relação as diferenças antropométricas, Poupyrev criou uma nova métrica denominada *virtual cubits* (figura 3.1), onde um *cubit* é uma unidade de medição usada na Roma antiga, e que equivale à distância entre o cotovelo e a ponta do dedo médio. Um objeto localizado a uma distância de até um *virtual cubit*, estará localizado no limite do alcance das mãos do usuário. No entanto, existe um problema devido as diferenças antropométricas entre os usuários. Se a distância para um objeto é definida em *virtual cubits*, então para usuários com braços compridos a posição atual de um objeto estará um pouco mais a frente, e portanto seu tamanho visual será menor do que para aqueles usuários que possuam braço mais curto.

Bowman cita quais características do usuário devem ser consideradas num processo de avaliação: idade, origem, acuidade (sutileza) visual, altura, alcance dos braços, habilidade para fundir imagens estéreo, experiência com ambientes virtuais e computadores, conhecimento técnico ou não e habilidade espacial.

Bowman, Koller e Hodges [BOW 98] relatam um experimento que apresentou diferenças significativas no desempenho entre usuários que já tinham conhecimento de RV imersiva e usuários inexperientes. Slater, Linakis e Kooper [SLA 96] também realizaram um experimento para avaliar o senso de presença e o desempenho do usuário, e constataram que o conhecimento anterior do usuário em ambientes virtuais apresentava diferença nos resultados das avaliações.

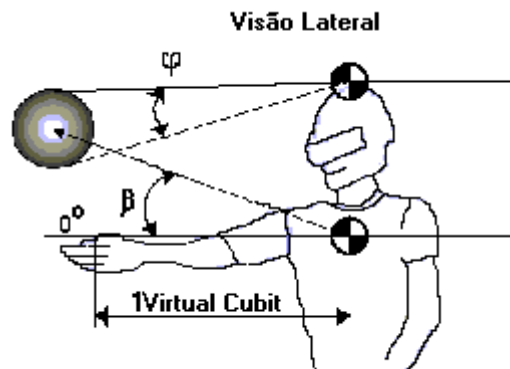


FIGURA 3.1- Medição em *virtual cubits* [POU 97]

**As tarefas solicitadas e as técnicas utilizadas.** Grissom e Perlman enfatizam em seu trabalho que as tarefas devem ser integradas para representar um cenário realístico. Num planejamento de quais tarefas devem ser executadas, devem ser escolhidas aquelas que são relevantes na representação de um determinado domínio [GRI 93]. Por exemplo, a movimentação de um objeto no ambiente envolve tarefas de seleção e manipulação que devem ser integradas para a realização da ação desejada.

Na literatura de IHC (interface humano computador) existe um conceito importante que é a noção de análise das tarefas (*task analysis*). Este conceito baseia-se na decomposição de uma tarefa em sub-partes ou componentes e formaliza as etapas que devem ser realizadas para completar a tarefa. Esta categorização apresenta um entendimento detalhado das tarefas. Foley, Wallace e Chan estabeleceram uma taxonomia que divide as tarefas de ambientes gráficos em: seleção, posicionamento, orientação, caminho (*path*), quantificação (entrada de números) e entrada de textos [FOL 84]. As tarefas foram divididas em sub-tarefas, e foi indicado qual o dispositivo mais apropriado para cada uma delas. A taxonomia de Foley é útil porque mapeia dispositivos de entrada para tarefas de entrada.

Bowman [BOW 98] afirma que existe uma ligação entre técnica e tarefa, pois a técnica não pode ser considerada isoladamente da tarefa a ser realizada. Por exemplo, a técnica de *ray-casting* é muito eficiente para selecionar objetos remotos, mas não é apropriada para aproximar ou distanciar um objeto do usuário. A técnica *go-go*, ao ser utilizada em tarefas de navegação, apresenta bons resultados no quesito velocidade, mas em compensação, alguns usuários apresentaram enjojo, cansaço do peso dos braços e tontura para realizar o deslocamento pelo ambiente. Conclui-se que, para realizar uma determinada tarefa, é preciso analisar qual a técnica mais apropriada para aquela tarefa.

Num processo de avaliação de técnicas de interação, Bowman relaciona quais são as características das tarefas de navegação a serem analisadas: distância de deslocamento do usuário pelo AV, número de curvas no caminho, visibilidade do alvo, exatidão requerida, complexidade da tarefa, carga cognitiva solicitada do usuário, informação solicitada do usuário [BOW 98].

Poupyrev [POU 97] também menciona a dependência entre técnica e tarefa no desempenho do usuário. A diferença entre os trabalhos apresentados por Poupyrev e Bowman é que, enquanto Poupyrev se preocupa com as características que afetam as tarefas básicas de manipulação e seleção de objetos, Bowman enfatiza o mesmo para operações de navegação do usuário pelo ambiente e também para tarefas de seleção e manipulação de objetos.

**O sistema.** As características do sistema, citadas por Bowman [BOW 98], dizem respeito a implementação, por exemplo: a técnica de renderização utilizada, o modelo de iluminação, a quantidade de quadros usados para a visualização das imagens, a latência, características de exibição (imagens estéreo ou mono, campo de visão, resolução, brilho, etc), se há detecção de colisão no ambiente e a forma de representação do corpo humano virtual.

Um ambiente implementado com detecção de colisão não permite que o usuário atravesse objetos sólidos ou paredes. Smith e Marsch [SMI 2001a, 2001b] realizaram experimentos onde a detecção de colisão podia ser habilitada ou não. Neste estudo, foi medido o número de vezes que o usuário atravessava as paredes dentro de um labirinto virtual. Foi estabelecido que toda vez que o usuário caminhava através de uma parede, ele estava desorientado (ambiente sem detecção de colisão).

Bowman [BOW 98] verificou se a presença ou a ausência de detecção de colisão afetava a capacidade do sujeito em memorizar informações contidas no AV (se o sujeito lembrava das informações contidas no ambiente após realizar a navegação). Ele observou que o uso de detecção de colisão ajudava os usuários a realizar a tarefa solicitada, facilitando a movimentação dos mesmos pelo ambiente.

Poupyrev também cita algumas características da implementação, embora com outra denominação (características da aplicação). São elas: configuração do AV, restrições das tarefas e outras.

**O ambiente.** A caracterização do ambiente está relacionada com a representação e disposição dos objetos pelo ambiente [BOW 98]. Segundo Bowman, as características que devem ser observadas ao solicitar a navegação do usuário pelo ambiente são as seguintes: visibilidade do ambiente, número de obstáculos ou distrações, atividade ou movimento dentro do ambiente, tamanho do ambiente, nível de detalhes visuais e fidelidade, homogeneidade (quantidade de variações) no ambiente, estrutura, alinhamento com os eixos padrão.

Poupyrev cita algumas características que podem ser enquadradas como características do ambiente, mas com a denominação de características da aplicação [POU 97]. Estas características são consideradas em tarefas de seleção e manipulação de objetos. São elas: tamanho, forma e localização dos objetos.

A maneira como os objetos são dispostos e exibidos no ambiente pode ajudar ou não o usuário a realizar suas tarefas. Por exemplo, a navegação não é considerada uma tarefa fácil devido a um problema muito comum: a desorientação do usuário. Conforme citação anterior (seção 2.2.2), Smith e Marsch [SMI 2001a, 2001b] apresentam 2 diretrizes criadas a partir de convenções cinematográficas para auxiliar o usuário a compreender melhor o espaço virtual onde está inserido. Uma das diretrizes é a exibição parcial de objetos familiares no campo de visão do usuário. Smith e Marsch realizaram experimentos em que o usuário tinha que navegar por um labirinto virtual até encontrar a saída. Foram criadas 2 situações: numa delas, as paredes do labirinto eram todas de uma única cor/textura e, na outra, as paredes continham quadros com reproduções de Picasso, Monet e Matisse, além de corrimão, grades e rodapés. Ou seja, na primeira situação não era utilizada a diretriz mencionada, e na segunda situação sim. Os resultados sugerem que os objetos e figuras do ambiente atuam como dicas visuais ajudando a reduzir a desorientação do usuário.

Num dos experimentos realizados por Bowman [BOW 98] tem-se uma característica do ambiente que foi determinante nos resultados da avaliação realizada. Trata-se da complexidade do caminho. Neste experimento, o usuário percorreu corredores virtuais com as seguintes dimensões: unidimensional (direto e horizontal), bidimensional (horizontal mas com curvas) e tridimensional (com curvas e também com

componentes verticais). Verificou-se que conforme a dimensão do corredor aumentava, maior era o tempo gasto pelo usuário para percorrer o trajeto.

## 3.2 Metodologia para Avaliação Experimental

Existem diferentes formas de avaliação centradas no usuário. Segundo Dix [DIX 97] elas incluem métodos empíricos e experimentais, métodos de observação e técnicas de consulta, em que o usuário responde diretamente.

Um dos mais poderosos métodos de avaliação de projeto envolve o uso de um experimento controlado. Dentro do formato básico da avaliação experimental existe uma quantidade de fatores que são importantes para a plena confiabilidade do experimento. Isto compreende os sujeitos escolhidos, as variáveis testadas e manipuladas, e as hipóteses. Com relação às variáveis, existem 2 tipos num experimento: aquelas que são manipuladas e aquelas que são medidas. São conhecidas como variáveis independentes e dependentes, respectivamente.

### 3.2.1 Definição dos sujeitos, das hipóteses, das variáveis dependentes e independentes

Dix recomenda que na primeira etapa de um projeto experimental sejam definidas as hipóteses. As hipóteses são importantes pois é através delas que é definido o que é que se está tentando demonstrar. Ao escolher as hipóteses, se está esclarecendo quais são as variáveis dependentes e independentes, e desta forma, identificando o que se pretende manipular e quais mudanças são esperadas. Neste estágio também devem ser considerados os sujeitos que farão parte do experimento: a disponibilidade dos mesmos e se eles são representativos do grupo de usuários desejado.

A seguir, tem-se uma descrição mais detalhada dos sujeitos, das hipóteses e das variáveis dependentes e independentes.

**Escolha dos sujeitos.** Segundo Dix [DIX 97], os sujeitos devem ser escolhidos de acordo com a expectativa da população usuária do sistema. Se os sujeitos não são os usuários atuais, eles devem ser escolhidos por ter uma idade similar e nível de educação compatível com o grupo de usuários para quem se destina a aplicação.

Outro aspecto que Dix ressalta é o tamanho da população voluntária. Ele recomenda que são necessários no mínimo 10 sujeitos para controlar os experimentos.

**Hipóteses.** Uma hipótese é um prognóstico de resultado de um experimento, segundo Dix [DIX 97]. Ela é criada em termos de variáveis dependentes e independentes. O propósito do experimento é mostrar se este prognóstico está correto ou não. Mine [MIN 97], em seus experimentos, relata primeiramente suas hipóteses, para em seguida refutá-las ou não.

**Definição das variáveis independentes.** Denomina-se de independentes àquelas variáveis do experimento que são manipuladas a fim de produzir diferentes condições de comparação. Exemplos de variáveis independentes são: estilo de interface, nível de ajuda, entre outros [DIX 97]. Para ambientes virtuais, um exemplo é o tamanho do objeto a ser selecionado e/ou manipulado. Diferentes valores para o tamanho do objeto podem ser atribuídos, criando diversas condições para comparação.

Bowman, Johnson e Hodges [BOW 99b] estipularam as seguintes variáveis independentes no experimento de seleção de objetos em AV's por eles conduzido: distância do usuário ao objeto a ser selecionado, tamanho e densidade (o espaço ou vão entre um objeto e outro) do objeto.

Poupyrev *et al.* [POU 97] também definiram variáveis independentes para avaliar técnicas de seleção e manipulação de objetos, sendo que a tarefa de manipulação

é composta pelas tarefas de posicionamento e orientação. A seguir, tem-se as variáveis independentes para as tarefas de seleção, posicionamento e orientação de objetos.

**a) Variáveis independentes para as tarefas de seleção.** São as seguintes:

- número de objetos a serem selecionados: Em casos mais simples é preciso selecionar somente um objeto. A tarefa de selecionar mais do que um objeto é referenciada como uma tarefa de “*browsing*”;
- distância do objeto alvo;
- tamanho do objeto alvo: o tempo requerido para selecionar um objeto depende do tamanho do objeto, isto é, um objeto grande localizado próximo é mais fácil de ser selecionado do que um pequeno distante. Em sistemas imersivos, entretanto, devido aos efeitos de perspectiva, um grande objeto localizado longe pode ser mais difícil de ser selecionado que um pequeno localizado próximo;
- direção para o objeto destino: diferentes partes do corpo e músculos são afetados nesta ação. Dependendo da direção do objeto destino em relação ao usuário; diferentes desempenhos são alcançados;
- occlusão de um objeto destino: Quando um objeto está escondido, ou parcialmente escondido, atrás de um outro objeto, sua seleção é mais difícil, devido ao tamanho e acesso restringido pelo outro objeto;
- outras variáveis: existem mais variáveis que podem ser consideradas, tais como dinamismo do alvo (tarefa de alcançar um alvo dinâmico); densidade de objetos em torno do objeto-alvo; volume do objeto-alvo (pode ocasionar a seleção de mais de um objeto).

**b) Variáveis independentes para as tarefas de posicionamento.** A tarefa de posicionamento requer que o sujeito mude um objeto de posição. A execução desta tarefa pode ser descrita através de 3 fases distintas: seleção do objeto, transferência e, finalmente, o correto movimento para posicionar o objeto na posição final com precisão. As variáveis são:

- distância inicial do objeto manipulado em relação ao usuário;
- direção inicial para o objeto a ser manipulado;
- distância até o objeto final/destino;
- direção até o objeto final/destino.

Estudos de posicionamento tem mostrado que o tempo e a exatidão dos movimentos dependem da posição inicial do objeto, da distância do trajeto, e da orientação do usuário em relação a posição final. Um posicionamento preciso é mais difícil do que um impreciso para movimentos sem restrições. A precisão requerida afeta muito a última fase do posicionamento, isto é, aqueles movimentos finais e próximos ao objeto destino.

**c) Variáveis independentes para as tarefas de orientação.** A tarefa de orientação pode ser desmembrada nas seguintes subtarefas: inicialmente seleciona-se o objeto, modifica-se a direção do objeto (de forma desajeitada) e, em seguida, finaliza-se a orientação com maior precisão. O usuário pode ser avisado sobre a orientação final através de uma referência do objeto, que é marcado por uma cor diferente. As variáveis envolvidas nesta tarefa são:

- direção em relação ao objeto;
- distância do objeto.

A orientação de um objeto localizado próximo ao usuário e um outro distante é diferente e pode requerer diferentes técnicas de interação.

- orientação inicial;
- orientação final.

A orientação inicial e final definem a direção da rotação do objeto durante a execução da tarefa, sendo que a tarefa de orientação também requer exatidão na orientação do objeto.

**Definição das variáveis dependentes.** As variáveis dependentes, por outro lado, são variáveis que podem ser medidas no experimento [DIX 97]. Devem ser mensuradas de alguma forma, sendo que podem ser afetadas pelas variáveis independentes e, na medida do possível, não são afetadas por outros fatores. Escolhas comuns de variáveis dependentes num experimento de avaliação são: o tempo total para completar a tarefa, o número de erros cometidos, as preferências do usuário, entre outras.

Algumas variáveis dependentes são mais fáceis de medir do que outras. Por exemplo, é mais objetivo medir o tempo gasto para realizar uma tarefa do que medir a facilidade de uso e de aprendizagem ao se utilizar uma determinada técnica de interação. Para obter as medidas mais subjetivas, pode ser aplicado um questionário com perguntas baseadas em comparação (utilização de escalas pré-definidas).

Bowman [BOW 98] cita algumas variáveis dependentes para avaliar técnicas de interação ao realizar tarefas de navegação. São elas:

- rapidez: velocidade adequada;
- exatidão: aproximação do alvo desejado;
- percepção espacial: conhecimento do usuário de sua posição e orientação dentro do ambiente durante e após a navegação;
- facilidade de aprendizagem: capacidade de um usuário inexperiente usar a técnica;
- facilidade de uso: complexidade ou sobrecarga cognitiva ao utilizar a técnica, do ponto de vista do usuário;
- presença: senso de imersão do usuário (sensação de “estar dentro” do ambiente durante a navegação);
- conforto do usuário: presença ou não de enjôo, tontura ou náusea;
- memorização de informação: habilidade do usuário para memorizar informações contidas no ambiente durante a navegação.

Poupyrev [POU 97] cita as variáveis a serem consideradas num processo de avaliação de técnicas de interação para a realização de tarefas de seleção e manipulação de objetos num AV. São as seguintes:

- tempo: o tempo necessário para realizar com sucesso uma tarefa. Para uma tarefa de seleção, este é o tempo cronometrado do momento em que o estímulo é disparado, até o momento em que o objeto é selecionado com sucesso. Para as tarefas de posicionamento e orientação, o tempo completo é medido do momento em que o usuário “pega” o objeto de teste até o momento em que ele é posicionado com a exatidão solicitada. Devido ao fato das tarefas de posicionamento e orientação permitirem manipulações iterativas, pode-se cronometrar apenas o tempo da manipulação do objeto, excluindo o tempo utilizado para fazer a seleção;
- exatidão: o quão próximo está o objeto da posição e orientação solicitadas no teste;
- senso de presença: a sensação de imersão e percepção espacial do usuário;

- facilidade de aprendizagem: a habilidade do usuário em melhorar seu desempenho com a experiência;
- facilidade de uso: a carga cognitiva do usuário enquanto usa a técnica;
- taxa de erro: o número de tentativas fracassadas até realizar a tarefa com êxito. Para uma tarefa de seleção este é o número de tentativas fracassadas para selecionar um objeto. Para as tarefas de posicionamento e orientação, este é o número de movimentos iterativos realizados para posicionar e orientar um objeto com a exatidão requerida.

### 3.2.2 A escolha do método experimental e a análise estatística dos dados

Nesta etapa, é decidido qual o método experimental que será utilizado. Dois métodos destacam-se: entre-grupos e dentro-do-grupo.

Um teste pode conter várias condições. Por exemplo, num teste para selecionar um objeto no AV, suponha que cada condição é associada a um objeto de tamanho diferente. Se um mesmo sujeito preenche uma série de condições, ocorre um aprendizado que pode afetar o resultado com relação ao seu desempenho. Este tipo de problema não acontece no método entre-grupos, pois cada sujeito realiza apenas uma condição no teste. No entanto, a desvantagem deste método é a grande quantidade de sujeitos necessários e o fato de que, no caso de haver variações significativas entre os grupos de sujeitos envolvidos, anula-se os resultados obtidos. Também as diferenças individuais entre os usuários podem provocar resultados tendenciosos. Por isto é necessário um criterioso processo de seleção dos sujeitos, para garantir que todos sejam representativos na população usuária.

O segundo método experimental é denominado dentro-do-grupo. Neste método, cada usuário executa várias condições diferentes no teste. O problema, neste caso, é a influência dos efeitos da aprendizagem no desempenho do sujeito, o que pode ser minimizado se a ordem na qual as condições são apresentadas for variada entre os usuários. O método dentro-do-grupo apresenta um custo inferior quando comparado ao método entre-grupos, pois exige menos usuários. Também existe uma menor chance de haver variações entre os sujeitos.

A escolha do método experimental dependerá dos recursos disponíveis, de que maneira a aprendizagem pode ser controlada (ou se está adequada) e o quanto é representativo o grupo de sujeitos selecionado. Nos casos onde existem mais de uma variável independente, pode ser planejada uma mistura dos métodos, colocando-se uma variável entre-grupos e uma outra dentro-do-grupo.

Uma vez que se tenha determinado as hipóteses, as variáveis, os sujeitos e o método experimental mais apropriado, resta decidir como os resultados serão analisados. Existem vários testes estatísticos e a escolha do teste é vital para o sucesso do experimento. Diferentes testes resultam diferentes suposições sobre os dados e, se um teste inapropriado é escolhido, os resultados podem ser inválidos.

A escolha da análise estatística depende do tipo de dados. Com relação a isto, as variáveis podem ser classificadas como discretas ou contínuas. As variáveis discretas podem assumir apenas um número finito de valores, como por exemplo, as cores de uma janela. Uma variável contínua pode assumir qualquer valor (dentro de um limite superior e inferior estipulados), como por exemplo, a altura de uma pessoa ou o tempo que o sujeito gasta para completar a tarefa.

Se a variável dependente é contínua e se a forma dos dados segue uma distribuição conhecida, então testes estatísticos especiais podem ser usados. Tais testes são chamados testes paramétricos e o que acontece frequentemente é que eles são usados quando a variação segue uma distribuição normal.



Para verificar se os dados realmente seguem uma distribuição normal, utiliza-se uma regra geral. Se os dados podem ser vistos como a soma ou a média de vários e pequenos efeitos independentes é provável que eles sejam normais. Por exemplo, o tempo gasto para completar uma tarefa complexa é a soma dos tempos de todas as tarefas menores que compõem esta tarefa complexa. Por outro lado, uma classificação subjetiva da usabilidade de uma interface não é normal. Quando os dados não seguem uma distribuição normal, utiliza-se testes não paramétricos.

A tabela 3.1 apresenta os testes aplicados em alguns experimentos com ambientes virtuais.

TABELA 3.1- Tipos de testes estatísticos aplicados em alguns experimentos estudados

Referência	Tipo de teste aplicado	Nome do artigo
POU 98	ANOVA	Utilização do Framework VRMAT para estudo experimental de manipulação imersiva
MIN 97b	MANOVA e ANOVA	Experimentos que exploram a propriocepção em ambientes virtuais
BOW 97	Dados qualitativos (subjetivos)	Avaliação de técnicas para selecionar e manipular objetos remotos
BOW 99b	ANOVA – Análise de variância com 1 fator	Ambiente de testes para avaliar técnicas de navegação, seleção e manipulação de objetos
BOW 98	ANOVA- Análise de Variância com 3 fatores	Avaliação de técnicas de navegação
DIN 98	ANOVA Análise de Variância com 4 fatores	Avaliação da importância de entradas multi-sensoriais na memória e no senso de presença em ambientes virtuais

### 3.2.3 Coleta de dados

Após a escolha do método experimental e antes da análise estatística dos dados, é realizada a coleta dos dados. Nesta etapa ocorrem os testes e provas com os usuários e os dados obtidos devem ser gravados ou armazenados. Existem diversas formas para se gravar os dados coletados. Através de técnicas de observação e/ou técnicas de consulta, descritos a seguir.

#### 3.2.3.1 Técnicas de observação

Pensando alto e avaliação cooperativa: Segundo Dix [DIX 97], uma maneira popular de coletar informação sobre o uso de um sistema é observar os usuários interagindo com ele. Geralmente, eles respondem a um conjunto pré-determinado de tarefas. A avaliação deve armazenar as ações dos usuários (usando uma variedade de técnicas). Os usuários são solicitados a dizer suas ações “pensando alto”: descrever o que eles acreditam que esteja acontecendo, porque eles fizeram uma ação, o que eles acreditam que estão fazendo. “Pensando alto” tem a vantagem da simplicidade, requer pouca habilidade para executar e fornece um poderoso *insight* dos problemas experimentados com a interface. Também pode ser usado para observar como o sistema é verdadeiramente usado. Entretanto, a informação fornecida é frequentemente subjetiva e pode ser seletiva, dependendo das tarefas solicitadas.

Uma variação deste método é a “avaliação cooperativa”, em que o usuário é encorajado a se sentir como um colaborador na avaliação e não simplesmente como um sujeito que está sendo avaliado. O avaliador pode perguntar questões para o usuário (normalmente são “por que?” ou “o que?”- “e se?”). As vantagens são:

- processo é menos tenso e é simples para o avaliador aplicar;
- usuário é encorajado a criticar o sistema;

- avaliador pode esclarecer pontos confusos no momento em que eles ocorrem e maximizar a eficácia para identificar áreas com problemas.

Análise do protocolo: A utilidade das técnicas apresentadas acima (avaliação cooperativa e pensando alto) depende do método de gravação e das análises subsequentes. O registro das ações realizadas numa sessão de avaliação é conhecido como um protocolo. A seguir, tem-se alguns métodos para gravar as ações do usuário:

- papel e caneta: embora seja um método primitivo, permite que o avaliador registre as interpretações e eventos estranhos, quando eles ocorrem. O problema é que é dependente da velocidade do avaliador para anotar no papel as ações;
- gravação em áudio: útil quando o sujeito utiliza a técnica “pensando alto”, embora possam surgir dificuldades posteriores para identificar o problema com a ação exata que foi realizada;
- gravação em vídeo: a vantagem é que é possível ver o que o sujeito está fazendo enquanto o sujeito permanece dentro do campo de visão da camera;
- *logging* computacional: todas as ações que o sujeito executa são gravadas num arquivo de *log*. As vantagens do *logging* são o seu baixo custo (exceto pelo custo de armazenagem em disco), não ser intrusivo e poder ser utilizado em estudos de longos períodos, que registra as ações de um ou mais usuários por semanas ou até meses.

Na prática, o protocolo é realizado através de uma mistura de métodos. Por exemplo, utiliza-se o papel para anotar eventos especiais, juntamente com métodos mais sofisticados para gravação visual e sonora (no caso, a voz do sujeito).

Ensaio pós-tarefa: Geralmente, os dados obtidos via observação direta carecem de uma interpretação correta ou adequada. As ações são observadas, mas nem sempre é possível saber o porquê do sujeito agir de tal forma. O ensaio pós-tarefa é uma maneira de obter a visão subjetiva do comportamento do usuário enquanto realizava uma determinada ação. O ensaio tenta identificar problemas através da reflexão da ação anterior do sujeito, depois do evento. A reprodução é exibida para o sujeito de forma escrita ou gravada e é solicitado ao sujeito para comentar tais ações, ou então, ele é diretamente questionado pelo avaliador.

### 3.2.3.2 Técnicas de consulta

As técnicas de consulta, segundo Dix [DIX 97], são menos formais do que os experimentos controlados, mas podem ser úteis para obter detalhes sob o ponto de vista do usuário. A vantagem de tais técnicas é que elas obtêm a visão do usuário diretamente e podem revelar aspectos que não foram considerados pelo projetista, embora a informação obtida seja subjetiva. Existem 2 tipos principais de técnica de consulta: questionários e entrevista.

Entrevista: Entrevistar os usuários sobre a sua experiência com um sistema interativo permite obter informações de maneira direta. A entrevista é efetiva, principalmente para esclarecer informações sobre as preferências, impressões e atitudes dos usuários. Ela pode também revelar problemas que não tinham sido previstos pelo projetista ou que não tinham ocorrido durante as observações. A entrevista não tem a intenção de ser uma técnica experimental controlada.

Questionários: O questionário é menos flexível do que a técnica de entrevista, pois as questões são preparadas antecipadamente e, provavelmente serão menos investigativas. A primeira coisa que o avaliador deve estabelecer é o propósito do questionário: qual informação é procurada? Deseja-se medir uma característica específica da interface? Ou

a impressão do usuário ao usar a interface? Existe um certo número de estilos de questões que podem ser incluídas no questionário. São elas:

- genéricas: questões que ajudam a estabelecer a prática do usuário e o seu lugar dentro da população de sujeitos. Inclui questões sobre idade, sexo, ocupação, residência, e assim por diante. Pode incluir também questões sobre conhecimento prévio de computadores que podem ser divulgados em questões abertas, escalares ou de escolhas múltiplas;
- questões abertas: podem ser úteis para obter informações subjetivas genéricas, mas são difíceis para analisar de maneira rigorosa ou para se comparar. Só podem ser vistas como um complemento;
- escalares: perguntas onde o usuário faz o julgamento de uma sentença dentro de uma escala numérica e, geralmente, corresponde a uma medida quantitativa. No experimento de Bowman, Johnson e Hodges [BOW 99b], a variável dependente “conforto” foi analisada através de um questionário pós-teste que continha respostas com medidas escalares. Os sujeitos atribuíam um grau para cada um dos fatores sobre conforto (peso da mão, peso do braço, náusea e tontura) numa escala de 1 a 10;
- múltipla escolha: é oferecido ao entrevistado a escolha de respostas explícitas. Pode ser estipulado que o entrevistado selecione somente uma das respostas ou então várias alternativas. Pode ser também apenas um “sim” ou “não” as alternativas oferecidas;
- classificação: este estilo de questão propõe ao usuário que ele ordene os itens numa lista, indicando a preferência do mesmo. Por exemplo:  
Favor classificar a utilidade do método para emitir um comando. A classificação deve ser: 1 = médio, 2 = muito útil, 0 = não foi usado.

Menu de Seleção .....	<input type="checkbox"/>
Linha de comando....	<input type="checkbox"/>
Tecla de atalho .....	<input type="checkbox"/>

### 3.3 Avaliações experimentais estudadas

Muitas técnicas de interação de ambientes virtuais imersivos tem sido projetadas e desenvolvidas de uma forma proposital, para atender uma nova aplicação que possui determinadas necessidades específicas. Com raras exceções, as técnicas de interação são projetadas com a devida atenção, ou seja, através de uma avaliação adequada que permita comparar o desempenho de uma em relação a outras técnicas existentes, para realizar as tarefas no ambiente virtual. É preciso conhecer para quais tarefas determinadas técnicas de interação são mais adequadas, a fim de proporcionar uma interação simples, eficiente e intuitiva para o usuário.

Esta seção apresenta alguns experimentos realizados com o objetivo de avaliar as técnicas de interação existentes.

#### 3.3.1 Técnicas de interação para seleção e manipulação de objetos

Diante da variedade e opções de técnicas de interação, é preciso avaliar àquelas que são mais apropriadas para realizar determinados tipos de tarefa, como por exemplo, selecionar um objeto entre vários outros.

A seguir, são apresentados os experimentos de Poupyrev e Bowman para manipulação e seleção de objetos em AVs imersivos.

### a) Experimento de avaliação de técnicas para manipulação e seleção de objetos

Tarefas de seleção e posicionamento de objetos foram avaliadas no estudo de Pouppev [POU 98a] através de um experimento utilizando as seguintes técnicas de interação: a clássica mão virtual, o raio de apontamento (*ray-casting*) e a técnica *go-go*.

As tarefas experimentais motivavam os sujeitos a selecionar e posicionar objetos virtuais (estímulo) usando uma das técnicas de interação. O estímulo na tarefa de seleção são testes com objetos solitários localizados no campo de visão do sujeito. Uma vez selecionado, o objeto do teste desaparece, informando ao sujeito que a tarefa foi completada. A próxima tarefa aparece então após uma espera fixada em 4 segundos.

O estímulo da tarefa de posicionamento pode ser executado usando movimentos iterativos, isto é, os sujeitos podem pegar, mover, e soltar os objetos do teste várias vezes até que a tarefa seja considerada completa. A tarefa é completada quando o objeto do teste é posicionado com a precisão especificada *a priori* pelo experimentador. A forma de ambos os objetos do teste são a de um cilindro com o mesmo raio, proporcionando um indicador visual para um posicionamento preciso. Depois de efetuar o posicionamento correto, ambos os objetos desaparecem, avisando o sujeito de que a tarefa foi finalizada. A próxima prova é então apresentada para o sujeito.

**Os sujeitos.** Foram recrutados 10 homens e 3 mulheres para os experimentos da tarefa de seleção; enquanto que 8 homens e 4 mulheres serviram como sujeitos para os experimentos com tarefas de posicionamento. Suas idades variavam entre 19 e 32 anos, sendo que todos eram destros.

**Variáveis independentes.** Nos experimentos de seleção usou-se: a distância do objeto, o tamanho do objeto, a técnica de interação e o *feedback* visual. Para as tarefas de manipulação usou-se: a distância inicial para o estímulo, a distância para a posição final, a exatidão requerida para o posicionamento e a técnica de interação. A exatidão requerida é definida em termos de porcentagem (porcentagem do objeto final sobreposto pelo objeto manipulado). Quanto maior a porcentagem de sobreposição, maior a exatidão alcançada na tarefa de posicionamento.

**Critério de desempenho (variáveis dependentes).** O tempo necessário para concluir com sucesso uma tarefa foi usado como um critério de desempenho primário. Para a tarefa de seleção este é o tempo decorrido do momento em que o estímulo aparece até o momento em que o objeto é selecionado com sucesso. Para tarefas de posicionamento, o tempo completo é medido do momento em que o usuário pega um objeto até o momento em que o objeto é posicionado com a precisão requerida.

**Métodos.** Os sujeitos foram imersos em um ambiente com um piso plano e com a representação virtual de sua mão. Foi preso um sensor de rastreamento de 6 graus de liberdade na sua mão dominante e um dispositivo de botão (usado para pegar os objetos alvo) na outra mão, além do *Head Mounted Display* (HMD) para visualização. O ambiente foi configurado de acordo com o comprimento da extensão do braço do sujeito (*virtual cubit*) [POU 97].

Após a sequência de 2 minutos de demonstração e explanação das técnicas de interação e das tarefas de teste, os sujeitos tiveram, aproximadamente, 3 minutos para praticar a tarefa. Durante os estudos das tarefas de seleção, cada sujeito completou 18 sessões: 6 para cada técnica de interação, 3 com e 3 sem *feedback* visual. Foram definidas 15 condições em cada sessão para 3 diferentes tamanhos de objetos (4, 6 e 9 graus) e 5 diferentes distâncias (0.7, 1, 2, 4 e 6 *virtual cubits*). A figura 3.2 ilustra a tarefa de seleção de objetos com a técnica de *ray-casting*.

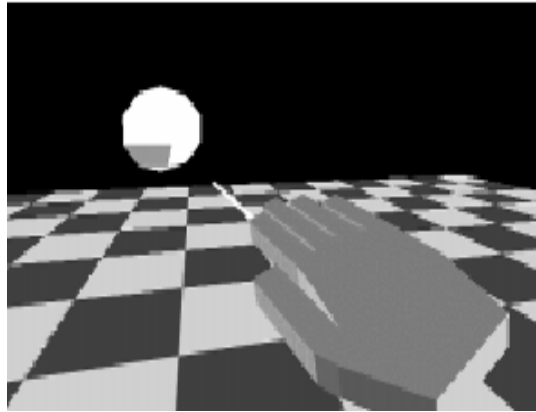


FIGURA 3.2- Tarefa de seleção com utilização da técnica *ray-casting*

Estudos de tarefas de posicionamento consistiram de 9 sessões: 3 para cada técnica de interação. Nove condições foram definidas para cada sessão: 4 para posicionamento com distâncias constantes (0.8, 2.2, 3.5 e 6 *virtual cubits*), 4 para posicionamento com mudança nas distâncias para o objeto (de 0.8 p/1, de 1 p/0.8, de 3.5 p/ 6 e de 6 p/ 3.5 *virtual cubits*) e uma condição para posicionamento com distância constante (0.8 *virtual cubits*) com alta exatidão requerida (90% de sobreposição). As demais condições foram definidas com 80% de exatidão. A ordem das condições apresentadas nas sessões experimentais foram sorteadas aleatoriamente para controle dos efeitos. Foram apresentadas uma após a outra, com 4 segundos de espera entre elas, até que todas as condições estivessem sido testadas. Um questionário informal foi aplicado após a conclusão das tarefas para estimar as preferências e opiniões dos sujeitos.

**Conclusões do experimento.** Para seleção de objetos dentro do campo de visão do usuário e para reposicionamento de objetos a uma distância constante do usuário, *ray-casting* foi considerada uma técnica muito eficiente, apresentando um desempenho pobre quando requer mudança na distância de objetos. De fato, dentro da área de alcance do usuário, *ray-casting* executa melhor tarefas de posicionamento com distância constante. A técnica *go-go*, por outro lado, resulta essencialmente no mesmo desempenho para todas as outras condições.

Acrescentar *feedback* visual não melhora, necessariamente, o desempenho do sujeito. Para seleção de objetos isolados localizados relativamente próximos ao sujeito, *ray casting* proporciona o mesmo desempenho, com ou sem *feedback* visual. A técnica *go-go* apresenta o mesmo desempenho para a maioria de condições das tarefas, com ou sem *feedback* visual. Isto se deve ao fato de que, com técnicas baseadas na metáfora da mão virtual, o sujeito pode ver quando a mão intercepta o objeto; além do que o *feedback* é parte inerente a técnica. *Feedback* visual, entretanto, melhora o desempenho do sujeito em condições extremas, por exemplo, na seleção de pequenos objetos distantes, usando a técnica *ray-casting*. Dentro de certas condições, tais como a seleção de objetos escondidos ou objetos dentro de um grupo, a técnica com *feedback* visual melhora o desempenho do sujeito.

Em ambas as técnicas de interação, percebe-se que, quanto menor o tamanho do objeto, mais difícil é acertar o objeto alvo. Similarmente a *go-go*, a tarefa de seleção através da técnica *ray-casting* indica uma queda no desempenho, atribuída à distância do objeto. Usando *ray-casting*, observa-se que a influência da distância no desempenho do usuário é inversamente proporcional ao tamanho do objeto; para um grande objeto o tempo de seleção é essencialmente o mesmo em todas as distâncias testadas.

Além disso, tanto *ray-casting* como *go-go* mostraram desempenho similar no processo de seleção à média distância; enquanto *ray-casting* mostrou-se mais efetiva tanto para distâncias próximas como na seleção de grandes objetos. *Go-go* é mais apropriada para seleção de pequenos objetos. Para tarefas de posicionamento, ambas as técnicas apresentaram o mesmo desempenho quando a tarefa não requer uma mudança na distância. Entretanto, a técnica *go-go* é superior para aquelas tarefas que requerem mudança na distância do objeto. Outros aspectos de tarefas de manipulação podem interagir com estes principais efeitos. Objetos escondidos e densos, por exemplo, podem diferentemente afetar o desempenho de interação com as 2 técnicas. O melhor desempenho é da técnica *go-go* para seleção de pequenos objetos, o que também pode ser considerado uma vantagem para seleção de objetos parcialmente escondidos, dado o tamanho visual diminutivo.

#### **b) Experimento de avaliação de técnicas para selecionar e manipular objetos remotos**

Bowman [BOW 97b] apresenta um estudo de usabilidade que foi realizado usando 6 técnicas diferentes de interação: *go-go* e mais outras duas variações da mesma (*fast go-go* e *stretch go-go*), raio de apontamento (*ray-casting*) e mais uma outra variação (*ray-casting with reeling*); além da técnica de esticamento indireto (*indirect stretching*).

Os sujeitos foram expostos a um ambiente contendo várias peças de mobília e um ser humano virtual que podia se mover dentro da sala. Foi usado um HMD modelo VR4<sup>1</sup> com rastreadores *Fastrak Polhemus*<sup>2</sup>() na cabeça e na mão, e um *mouse* 3D com 3 botões. O ambiente virtual foi construído usando a ferramenta *Simple Virtual Environment* (SVE)<sup>3</sup>

**Sujeitos.** Participaram do estudo 11 estudantes voluntários, 2 mulheres e 9 homens.

**Métodos.** Os sujeitos ocuparam a maior parte do tempo que dispunham da forma que mais lhes convinha em cada uma das 6 técnicas apresentadas, movendo e rotacionando objetos dentro do ambiente virtual. Foram encorajados a fazer comentários em voz alta e responder questões sobre as vantagens e dificuldades encontradas com cada técnica. Bowman não reuniu dados quantitativos, mas apenas os comentários dos sujeitos. As dificuldades foram anotadas a fim de caracterizar as propriedades das técnicas testadas.

**Resultados e discussão.** Não existe um favoritismo claro quanto às técnicas testadas. A mais popular foi a técnica *go-go* e a técnica de esticamento indireto (*indirect stretching*), mas os sujeitos relataram que também encontraram dificuldades com estes métodos.

Primeiro, a naturalidade não é sempre um componente necessário a uma técnica efetiva. Os sujeitos, quase que por unanimidade, acharam a *go-go* a técnica mais natural, apesar de algumas avaliações indicarem outras técnicas. A técnica do esticamento indireto foi a mais efetiva para vários sujeitos, posto que oferece um controle mais preciso da localização da mão e demanda menos esforço físico por parte do sujeito. Vários sujeitos também gostaram da *ray-casting with reeling*, devido a falta de esforço físico exigido; sendo que eles puderam apoiar seus braços e simplesmente apontar com seus pulsos, pressionando os botões do *mouse*.

<sup>1</sup> Fabricado pela Virtual Research (<http://www.virtualresearch.com/products.html>)

<sup>2</sup> Fabricado por Polhemus (<http://www.polhemus.com/>)

<sup>3</sup> Ferramenta de desenvolvimento para RV (<http://www.eecs.lehigh.edu/GIVE/software.html>)

Segundo, o aspecto físico do sujeito foi importante na sua avaliação das técnicas. Por exemplo, os usuários de braços mais curtos demonstraram menor preferência pela técnica *go-go* posto que seu alcance era mais limitado. Todas as técnicas de braço estendido (*stretch go-go* e *indirect stretching*) dependem da especificação de um ponto no centro do torso do sujeito. A mão virtual, nesta técnica, é mantida numa linha definida por este ponto do torso e a localização da mão física. Se o ponto do torso não é bem aproximado, a mão irá aparecer mais baixa ou mais alta do que realmente está, tornando as ações de “pegar” e “manipular” bem mais difíceis. Em resumo, as técnicas são dependentes de um modelo de usuário para serem mais efetivas.

Embora somente 2 dos 11 sujeitos tenham preferido a técnica *ray-casting* integralmente, quase todos os usuários comentaram que é mais fácil selecionar um objeto usando *ray-casting* do que com qualquer uma das técnicas de braço estendido, posto que não requer o braço estendido e não exige muita precisão por parte do usuário: a pessoa aponta o raio e solta o botão. Com a técnica de braço estendido, a pessoa tem que colocar a mão dentro do objeto, o que pode ser bastante difícil a uma grande distância.

Por outro lado, nenhum usuário preferiu a técnica *ray-casting* para manipular objetos. Rotações aleatórias de um objeto são praticamente impossíveis usando esta técnica. Com a técnica do braço estendido, objetos podem ser rotacionados no seu próprio sistema de referência e suas posições podem ser controladas facilmente. Nenhuma das técnicas correntes são universalmente aclamadas, porque nenhuma delas é de fácil uso e eficiente para todas as interações: selecionar, manipular e soltar o objeto. A tabela 3.2 apresenta um resumo das características das técnicas avaliadas, bem como a quantidade de sujeitos que foram selecionados para avaliá-las.

TABELA 3.2- Características das técnicas avaliadas

Técnica	Características	Sujeitos
<i>Go-go</i>	Faixa finita	7
<i>Go-go</i>	Impreciso ao “pegar”	8
<i>Ray-casting</i>	Difícil para rotacionar	11
<i>Ray-casting</i>	Não pode mover objetos para dentro ou para fora	11
<i>Ray-casting</i>	Fácil para pegar	10
Braço estendido	Fácil para manipular	9

### c) Ambiente de testes para avaliar técnicas de seleção e manipulação

Bowman, Johnson e Hodges [BOW 99b] apresentaram um experimento para selecionar e manipular objetos de acordo com a taxonomia citada na seção 2.2.1.2.

O usuário deveria realizar 2 tipos de tarefa: seleção e manipulação. Na etapa de seleção, o usuário selecionava o objeto corrente em um grupo de objetos. E na etapa de manipulação, colocava o objeto selecionado dentro de um alvo com uma determinada posição e orientação. A figura 3.3 ilustra o ambiente com os objetos em posição inicial.

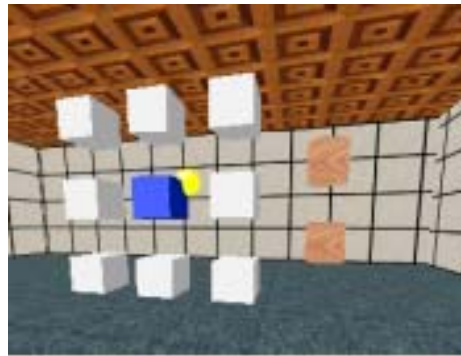


FIGURA 3.3- Ambiente para testar seleção e manipulação

O usuário deveria selecionar a caixa escura no centro do arranjo 3x3 de caixas e colocá-la entre as 2 caixas de madeira (a direita na figura 3.3) na etapa de manipulação. Em determinadas provas, esferas amarelas indicavam a orientação necessária do objeto.

**Métodos.** Para a tarefa de seleção foram estabelecidas 3 variáveis independentes (método dentro-do-grupo):

- distância do usuário ao objeto selecionado (3, 6 ou 10m do usuário);
- tamanho do objeto a ser selecionado (0,4 ou 1m cúbico) e;
- densidade do objeto (espaço entre os objetos vizinhos: 0,4 ou 1,0m cúbico).

As variáveis dependentes utilizadas foram:

- velocidade para seleção e colocação do objeto (manipulação);
- exatidão: número de erros durante a seleção;
- facilidade de uso e;
- conforto: medido em relação ao peso do braço, peso da mão, tontura ou náusea.

Através de *feedback* gráfico foi informado ao usuário quando o objeto estava na posição correta.

Na etapa de manipulação foram estabelecidas 3 variáveis independentes (método dentro-do-grupo):

- relação entre tamanho do objeto e tamanho do alvo, visando estabelecer a exatidão requerida na colocação das caixas (o alvo foi de 1,5 ou 3,75 vezes o tamanho do objeto);
- número de graus de liberdade (2 DOFs para posicionamento apenas no plano horizontal ou 6 DOFs quando exigia-se completo posicionamento e orientação do objeto na prova);
- distância do usuário ao objeto que deve ser manipulado (3, 6 ou 10m).

Depois das sessões práticas, os sujeitos atribuíam uma nota para cada um dos fatores sobre conforto (peso da mão, peso do braço, náusea e tontura) numa escala de 1 a 10. Cada sujeito submeteu-se ainda a um teste padronizado de habilidade espacial. E, finalmente, os sujeitos responderam a um questionário contendo informações, tais como: idade, sexo, se canhoto ou destro, habilidade técnica e experiência com AVs.

**Sujeitos.** Foram selecionados 31 homens e 17 mulheres. Dos 48 sujeitos, 3 não conseguiram completar as provas devido a sensação de tontura e náusea. Os sujeitos receberam um treinamento prévio de 5 minutos.



**Técnicas.** Foram analisadas 9 técnicas de interação. Cada grupo de 5 sujeitos interagiu com uma das técnicas, num total de 45 sujeitos. No final, foi realizada uma comparação entre os grupos. Uma das técnicas foi a *go-go*. As outras técnicas foram criadas pela combinação de 2 técnicas de seleção (variações de *ray-casting*); 2 técnicas de fixação (movendo a mão para o objeto e escalando o usuário assim que a mão “toca” o objeto); 2 técnicas de posicionamento (mapeamento linear do movimento da mão para o objeto e uso de botões para movimentar o objeto de forma mais próxima ou mais distante). Uma das combinações das técnicas citadas foi a HOMER [BOW 97b], anteriormente apresentada.

**Resultados e discussão.** A técnica *go-go* é significativamente mais lenta que a técnica *ray-casting* para tarefas de seleção. Isto porque a *ray-casting* é essencialmente uma operação 2D, enquanto que a *go-go* requer que o usuário coloque sua mão virtual dentro do objeto no ambiente tridimensional. O tempo para selecionar um objeto utilizando a *go-go* incrementa com a distância, sendo que deve ser dada prioridade para utilizar esta técnica (*go-go*) somente quando se tem grandes objetos no ambiente.

A técnica indireta que utiliza um controle de profundidade indireto (pressionar-se um botão para aproximar ou para afastar o objeto pré-selecionado) foi significativamente mais rápida para selecionar e arrastar objetos do que as demais técnicas. Esta técnica com controle de profundidade indireto não é a mais popular entre os sujeitos, mas deve ser levada em consideração quando a velocidade de manipulação é importante.

Os homens conseguiram um desempenho melhor do que as mulheres nas tarefas de seleção e manipulação. Técnicas de manipulação que realizam operações de escala no ambiente, apresentaram um aumento na sensação de vertigem, conforme relato dos usuários.

Para a seleção e manipulação de objetos, confirmou-se as hipóteses sobre a técnica *go-go*. Ela não é apropriada para seleção de objetos que estão a uma pequena e/ou grande distância. Além disso, as pessoas se frustraram quando tinham que selecionar objetos distantes. Os resultados mostraram que a técnica HOMER obteve um desempenho bem melhor para seleção e manipulação de objetos que as demais, posto que ela permite selecionar objetos a longas distâncias. A técnica *ray casting* é muito fácil para usar, além de ser rápida. Para manipulação, a técnica HOMER é fácil de usar e moderadamente rápida.

### 3.3.2 Técnicas de navegação

Como já foi colocado na seção 2.2.2, Bowman [BOW 98] divide a tarefa de navegação em 2 partes: *wayfinding* e *walkthrough*. As técnicas de navegação citadas nos experimentos a seguir, correspondem a parte conhecida por *walkthrough*, isto é, a mudança do ponto de vista do usuário (o que normalmente também corresponde a uma mudança de posição).

#### a) Experimento para avaliar técnicas de *walkthrough*

Este experimento de Bowman [BOW 98] avalia técnicas de *walkthrough* segundo sua própria metodologia, descrita na seção 3.3. O fator de qualidade considerado nesta avaliação é o de “memorizar informações”. Por exemplo, se o usuário não é capaz, por qualquer razão, de recordar informações importantes, então a utilidade do ambiente virtual é questionável. Este fator de qualidade é um aspecto importante para aplicações como a arquitetura, visualização de informações, simulação, treinamento e educação, que possuem um forte componente de informação.

As técnicas de *walkthrough* utilizadas neste experimento foram: navegação direcionada pelo olhar, apontamento e navegação direcionada pelo torso (busto) do usuário. Esta terceira e última técnica mencionada foi realizada através de um rastreador preso ao torso do usuário, que permitia ao usuário se movimentar pelo ambiente virtual na direção indicada pelo o seu corpo.

As características consideradas no experimento foram as seguintes:

- característica do ambiente: a complexidade do caminho pode influenciar no desempenho da tarefa e produzir uma sobrecarga cognitiva no usuário. Isto foi avaliado em relação ao número de dimensões do ambiente. O usuário percorreu um corredor unidimensional (direto e horizontal), um corredor bidimensional (horizontal mas com curvas) e um corredor de 3 dimensões (além das curvas também possuía componentes verticais);
- característica do sistema: verificou-se se a presença ou ausência de detecção de colisão pode afetar o fator de qualidade ao reunir informação. Se um usuário se concentra em colher informações do ambiente e não no caminho percorrido, ele pode vir a atravessar paredes ou objetos. O esforço para retomar o caminho corretamente, pode ocasionar numa sobrecarga cognitiva para o usuário.

**Métodos.** Os sujeitos se deslocaram através de corredores usando uma das 3 técnicas de navegação. Os corredores eram usados de tal forma que o usuário tinha somente um caminho simples e direto a percorrer, sem chance de tomar o caminho errado. O experimento usou corredores de 1, 2 e 3 dimensões, de 3x3 metros de tamanho, feitos de segmentos retos, tendo empregado somente curvas de 90 graus (ver figura 3.4).

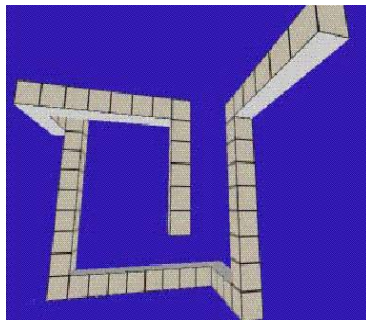


FIGURA 3.4- Visão externa do corredor tridimensional

No corredor haviam sinais, sendo que cada sinal continha uma simples palavra localizada na parede, teto ou chão, como pode ser visto na figura 3.5. Essas palavras comuns, pequenas e que não poderiam ser nomes próprios, foram aleatoriamente espalhadas pelos corredores, sendo que cada corredor continha 12 sinais. Os sujeitos foram instruídos a minimizar a quantidade de tempo gasto no corredor (o tempo máximo foi definido em 60 segundos, mas a prova também terminava se o sujeito alcançava o final do corredor) e maximizar o número de palavras e localizações das mesmas que ele deveria lembrar.

Os sujeitos tinha uma grande quantidade de informações a memorizar. O experimento apresentou 12 palavras que deveriam estar associadas ao local onde foram encontradas. Era esperado que conforme a técnica de *walkthrough* utilizada, a dimensão do corredor, e a presença ou ausência da detecção de colisão, produzisse uma maior ou menor sobrecarga cognitiva no usuário durante o processo de interação. O experimento previa que quanto maior fosse a sobrecarga cognitiva exigida do usuário, menor seria a quantidade de informações memorizadas por ele.

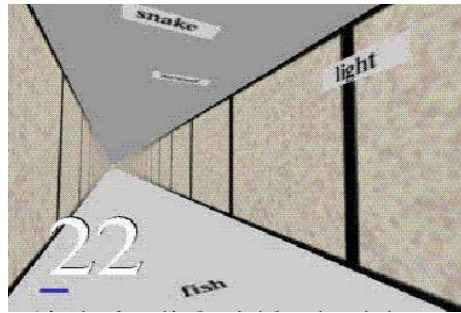


FIGURA 3.5- Visão interna do corredor do experimento

Para demonstrar se havia memorizado as informações, o usuário deveria, após a realização de cada prova, indicar num mapa de papel as palavras e as suas respectivas localizações no corredor. Os sujeitos indicavam a posição do sinal ao longo do corredor, a superfície na qual o sinal foi visto e qual a palavra. Se as palavras eram lembradas sem a sua respectiva localização, ou vice-versa, estas também deviam ser escritas no mapa.

Para cada técnica de navegação, a velocidade era mantida em 3 metros por segundo, sendo que os sujeitos começavam a se deslocar ao pressionar e segurar um botão e paravam ao soltá-lo.

Cada sujeito completou 16 provas: 6 com cada técnica de navegação (direcionada pelo olhar e apontamento) e 4 com a técnica direcionada pelo torso. Dentro de cada técnica existiram duas provas para cada dimensão (a técnica direcionada pelo torso pôde ser usada somente nos ambientes de 1 e 2-dimensões), onde uma das provas usou detecção de colisão e a outra não. Assim, cada combinação das 3 variáveis (técnica de navegação, dimensão e detecção de colisão) foi encontrada uma única vez para cada participante. Cada sujeito se deslocou através de cada corredor uma única vez, sendo que a disposição dos corredores foi diferente para cada sujeito. Para eliminar os efeitos de aprendizagem das técnicas, os sujeitos gastaram um certo tempo antes da prova, em uma sala, praticando uma das técnicas de *walkthrough*.

**Sujeitos.** Participaram do estudo 26 estudantes voluntários (23 homens e 3 mulheres). Dois sujeitos terminaram o experimento antes de completar a tarefa devido a enjôo ou náusea produzidos pelo sistema de RV. Cada sujeito preencheu um questionário antes da sessão, com dados demográficos tais como: idade, origem, visão, conhecimento técnico, conhecimento computacional e experiência com realidade virtual imersiva. Os sujeitos utilizaram um HMD VR4 e um rastreador *Polhemus Fastrak* (ou um rastreador eletromagnético *Isotrak II*). As entradas foram introduzidas no sistema através de um *joystick* de 3 botões. O sistema mantinha uma taxa de exibição de imagens constante (30 quadros por segundo).

**Resultados.** O experimento mediu várias respostas na tarefa de reunir informações. Foi medido o tempo gasto em cada corredor, o número de pares de palavras e localizações que os sujeitos forneceram exatamente corretas e as várias combinações de palavras e localizações parcialmente corretas.

Usando esta métrica, foi realizada também uma análise de variância com 3 fatores (ANOVA). Os resultados foram razoavelmente claros: a dimensão (1, 2 ou 3D) do corredor foi extremamente significativa, mas a técnica de *walkthrough* e detecção de colisão não tiveram um efeito significativo.

Conforme a dimensão do corredor aumentava, o tempo gasto com o deslocamento pelo corredor também aumentava. A maioria dos sujeitos terminaram o

corredor 1D rapidamente, enquanto que em corredores 2D e 3D o percurso foi feito frequentemente nos 60 segundos completos.

Outra constatação foi a de que existiu uma divisão clara no desempenho entre aqueles que já tinham alguma experiência com RV imersiva (10 sujeitos) daqueles inexperientes (16 sujeitos). Esta constatação foi detectada a partir dos dados demográficos colhidos nos questionários. Entre aqueles que completaram o experimento, os participantes mais experientes tinham uma pontuação média mais alta por prova (13,2 versus 11,5). Isto não é um resultado estatístico significativo, mas mostra que usuários com uma simples experiência com aplicações em ambientes virtuais se concentraram mais nas tarefas e não se distraíram com a novidade tecnológica.

**Discussão.** No experimento citado, a expectativa era descobrir que diferentes técnicas de *walkthrough* iriam produzir níveis de carga cognitiva distintas, afetando a pontuação média entre elas. No entanto, os resultados mostraram que o número de dimensões do corredor foi o fator determinante na avaliação.

Com relação as técnicas de *walkthrough*, foi constatado o seguinte:

- usuários mais familiarizados com as técnicas de *walkthrough* são capazes de usá-las com maior flexibilidade e desta forma, obterem um melhor rendimento em seus desempenhos;
- com relação a detecção de colisão, vários sujeitos relataram sentir que era mais fácil se mover através do espaço e realizar a tarefa solicitada quando este aspecto estava presente;
- foi observado que os sujeitos tinham várias e diferentes estratégias para realização das tarefas experimentais. Alguns recordavam as primeiras 3 ou 4 palavras e localizações (efeito precedente), enquanto outros se concentravam nas últimas coisas que tinham visto no corredor (efeito recente). O experimento permitiu que cada usuário usasse a estratégia que lhe fosse mais conveniente, pois no mundo real as pessoas também possuem diferentes métodos para realizar as suas tarefas cotidianas.

#### b) Ambiente de testes para avaliar técnicas de navegação

Bowman, Johnson e Hodges [BOW 99b] relatam um experimento para avaliar técnicas de *walkthrough*, sendo que implementaram 2 tipos de tarefas de busca: *naive search* e *primed search*. *Naive search* implica em se deslocar para um destino cuja localização dentro do ambiente não é conhecida antecipadamente. *Primed search* implica em se deslocar para um destino que tenha sido visitado antes. Se o usuário tem um bom senso cognitivo espacial, ele será capaz de retornar ao destino.

Foi implementado um ambiente de tamanho médio (no qual existem áreas escondidas para qualquer ponto de visão, e onde o deslocamento de um lado para o outro requer uma quantia significativa de tempo). O ambiente possui vários obstáculos (árvores, grades, barracões, etc, conforme ilustrado na figura 3.6).



FIGURA 3.6- Exemplo de ambiente com obstáculos projetados para avaliar técnicas de *walkthrough*.

Os destinos foram numerados de 1 a 4, cada um com uma cor correspondente. Cada destino tinha um círculo pintado ao redor de si, indicando a distância dentro da qual o usuário tinha que se aproximar para completar a tarefa de busca (conforme ilustrado na figura 3.7). O raio do círculo era de um dos seguintes tamanhos: 10 ou 5 m. O círculo de 10 m requeria baixa exatidão de aproximação por parte do usuário, enquanto o de 5 m exigia alto grau de exatidão.

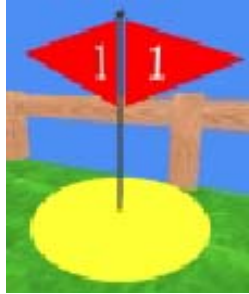


FIGURA 3.7-Objeto no primeiro destino (experimento para avaliar técnica de *walkthrough*).

**Métodos.** Cada sujeito completou 24 provas: 8 em cada 3 instâncias do ambiente. Cada instância do ambiente tinha o mesmo *layout* espacial, mas diferentes números e posições de obstáculos e diferentes posições dos destinos. Em cada instância do ambiente, o usuário primeiro completava 4 provas de *naive search* e em seguida 4 provas de *primed search*. Antes de cada prova, o número e a cor foram apresentados ao usuário.

Na *naive search*, desejava-se que os 4 destinos fossem encontrados em ordem numérica crescente. A exatidão exigida era sempre baixa e os destinos nunca eram visíveis da posição inicial do usuário. A primeira prova começava com uma localização pré-definida e as provas subsequentes começavam da localização do destino anterior.

Na prova *primed search*, os sujeitos retornavam para cada um dos 4 destinos, não em ordem numérica. Durante estas provas, todos os destinos estavam presentes no ambiente todo o tempo, já que os sujeitos já tinham visitado cada destino. Dois fatores variaram (método dentro-do-grupo) durante estas provas: primeiro, era variado se o destino podia ou não ser visto da posição inicial na prova (visível/invisível); segundo, era variada a exatidão (raio ao redor de cada destino 5m ou 10m). Cada uma destas variáveis tinha 2 níveis, portanto, existiam 4 possíveis combinações.

Para cada sujeito, foi medido o tempo total para completar cada prova (separado em 2 partes: o tempo entre o começo do estímulo e o começo do movimento, e o tempo despendido para movimentar-se). O primeiro tempo citado corresponde ao tempo gasto num processamento mental (percepção do estímulo e ambiente, e esforço cognitivo para lembrar onde um destino estava da última vez que foi visto, numa tarefa *primed search*). Este primeiro tempo foi rotulado como *think time*.

**Sujeitos.** 44 sujeitos participaram do experimento, sendo que 4 não completaram as provas devido a tontura ou náusea. Dois sujeitos também não completaram devido a problemas com computadores. Restaram 38 sujeitos (32 homens e 6 mulheres com idade média de 19,7 anos). Isto significa que ao menos 5 sujeitos fizeram a prova com cada uma das técnicas.

**Técnicas.** 7 técnicas foram implementadas e usadas. A técnica de *walkthrough* foi uma variável dentro-do-grupo. Três eram técnicas de pilotagem: apontamento, direcionada pelo olhar, e direcionada pelo torso. Para estas técnicas foram utilizados rastreadores presos ao corpo (mão, cabeça e torso respectivamente) para especificar a direção do

movimento. Duas técnicas de *walkthrough* basearam-se em manipulação, uma foi a técnica HOMER e a outra a técnica *go-go*. Estas 2 técnicas (HOMER e *go-go*) usam metáfora de manipulação, mas foram utilizadas para os usuários se movimentarem. Foi utilizada também a técnica *map-dragging* e a técnica *ray-casting* com modificações. Esta última (*ray-casting*) foi implementada da seguinte forma: o usuário aponta um raio de luz para um objeto para selecioná-lo e em seguida o usuário era movido pelo sistema para o local daquele objeto.

**Resultado e análise.** O tempo *think time* mostrou-se significativamente lento para a técnica *map-dragging* se comparado com as demais técnicas. A técnica *map* é baseada na metáfora de especificação do alvo/destino, sendo que o movimento deve ser planejado antes do transporte. O usuário especifica a rota completa primeiramente, para em seguida iniciar o seu movimento. Nas demais técnicas, o movimento inicial é imediato.

Com relação ao tempo de *walkthrough*, as técnicas de pilotagem conhecidas como apontamento direcionado pelo olhar e *go-go* foram significativamente mais rápidas do que as técnicas HOMER, *ray-casting* e *map-dragging*. Em geral, as técnicas de pilotagem executam bem as tarefas porque elas são diretas e simples. A exceção foi a técnica direcionada pelo torso, que obteve um desempenho bem inferior, mas acredita-se que o problema foi na implementação de uma função.

A técnica *map-dragging* obteve um desempenho fraco inclusive nas tarefas de *primed search*. Outra técnica que esperava-se obter um bom desempenho nas tarefas de *primed search* era a *ray-casting*, porque o usuário movia-se diretamente para o destino. Mas isto confirmou-se apenas quando o destino estava visível inicialmente.

Ao comparar o tempo gasto para o usuário realizar o seu deslocamento, notou-se que foi significativamente maior quando o destino estava escondido, ao compará-lo quando o destino estava visível para o usuário. A análise realizada considerou as técnicas como variável entre-sujeitos e a tarefa como um fator relacionado aos sujeitos.

A avaliação mostra que, se o desempenho mais importante medido é a velocidade das tarefas, as técnicas de pilotagem são a melhor opção. Os usuários também preferem estas técnicas às outras. A técnica de apontamento é a mais versátil e flexível porque oferece conforto e eficiência na mudança da direção. A técnica *go-go* também apresentou bons resultados com relação a velocidade, mas alguns usuários apresentaram enjô, cansaço do peso nos braços e tontura para realizar o transporte pelo ambiente. A técnica direcionada pelo olhar também produziu algum desconforto (principalmente tontura) porque ela requer rapidez e repetidos movimentos da cabeça. Das 7 técnicas, somente apontamento e *ray-casting* não produziram alto nível de desconforto.

O ambiente implementado não oferecia detecção de colisão, ou seja, os sujeitos podiam atravessar os obstáculos, se desejassem. Observou-se que, durante as provas, aqueles sujeitos que utilizaram as técnicas de pilotagem, tinham o cuidado de se moverem ao redor dos obstáculos. As técnicas menos naturais foram *map-dragging*, *go-go*, HOMER e *ray-casting*, uma vez que sugerem ao usuário para que estes interajam de maneira diferente ao realizado no mundo físico (para cortar o caminho, eles atravessavam os obstáculos).

### 3.3.3 Enfase na propriocepção

Baseada nas técnicas que enfatizam a sensação de propriocepção, Mine [MIN 97a] realiza sua avaliação de técnicas de interação. Dentro deste espírito, foram realizados 2 experimentos descritos a seguir.

### a) Experimento com objeto virtual

O objetivo deste experimento foi verificar as diferenças entre manipular objetos virtuais localizados na mão do usuário e manipular objetos à distância. O experimento foi repetido com 3 condições primárias: manipulação de objetos numa das mãos; objetos localizados a uma distância fixa; e objetos colocados a uma distância variável em relação à extensão do braço do sujeito.

**Os sujeitos.** 18 sujeitos (7 mulheres e 11 homens) foram recrutados numa universidade.

**A tarefa.** O ambiente virtual consistiu em um objeto alvo e um objeto preso a mão do sujeito. O objeto alvo era um cubo semi-transparente vermelho flutuando no espaço em frente ao sujeito, enquanto o objeto na mão, um cubo opaco azul. O objeto da mão foi colocado em algum ponto inicial aleatório variando de 0,1 a 0,6 metros ou na mão dominante do sujeito. A tarefa dada aos sujeitos foi a de alinhar o cubo da mão com o cubo flutuando no espaço, o mais rapidamente possível. Toda vez que o sujeito conseguia alinhar os cubos (destino e das mãos), ambos desapareciam da posição corrente e reapareciam num novo local.

**Os resultados.** A comparação dos tempos mostrou que manipular objetos presos à mão foi significativamente mais rápido que manipular objetos localizados a uma distância fixa e a uma distância variável. Não foi encontrada diferença significativa entre a manipulação de objetos localizados a uma distância fixa e a uma distância variável. Análise feita com um questionário pós-teste também revelou a preferência dos usuários pela manipulação de objetos localizados nas mãos. Os sujeitos relataram que esta forma é significativamente melhor do que a manipulação de objetos localizados a uma distância fixa ou variável.

### b) Interação com *widget* virtual

Esta experiência explora as diferenças entre interação com um *widget* colocado em uma das mãos e interação com um *widget* flutuando no espaço. O objetivo foi verificar se os sujeitos tomavam como vantagem a propriocepção quando interagindo com *widgets* colocados em suas mãos. A hipótese de Mine era a de que é mais fácil para os sujeitos a interação com *widget* na mão, do que seria para eles interagir com *widget* flutuando no espaço.

**Os sujeitos.** Os mesmos 18 sujeitos foram recrutados para o teste.

**A tarefa.** O ambiente virtual consistiu de um cursor tridimensional, um *widget* virtual, um indicador da cor corrente e alguns objetos alvo. O cursor tridimensional foi representado por uma pequena esfera presa à mão dominante do sujeito. O *widget* virtual consistiu de 3 eixos ortogonais com esferas coloridas em cada ponta (num total de 6 esferas). O *widget* foi preso a mão não dominante do sujeito ou ficou flutuando no espaço. O indicador de cor corrente foi representado por uma esfera adicional colorida, fixada em cima da extremidade da mão direita de exibição do sujeito. Finalmente, os objetos alvo foram representados por cubos vermelhos semi-transparentes em posições e orientações aleatórias em relação ao sujeito. Cada processo foi dividido em 3 fases. Primeiro, o sujeito deveria mover o cursor 3D para o ponto indicado num *widget* virtual (uma das 6 esferas coloridas). Em seguida, ele executava uma tarefa abstrata não relacionada (mover sua mão do *widget* para o cubo-alvo e clicar com um botão de entrada). Isto fazia o cubo-alvo e o *widget* desaparecer. Finalmente, ele retornava sua mão o mais perto possível do ponto original de interação no *widget* virtual, sem *feedback* visual. A variável a ser mensurada foi a exatidão do posicionamento com o qual o usuário podia retornar sua mão para um ponto no espaço.

**Os resultados.** A análise dos resultados revelou uma significativa diferença entre a exatidão do posicionamento quando utilizando *widget* em uma das mãos e o *widget* fixo no espaço. Destaca-se neste resultado que a capacidade do sujeito em retornar a sua própria mão para a posição relativa, é bem mais exata do que a uma fixa no espaço virtual. A análise com um questionário pós-teste também revelou uma preferência por interação com *widget* em uma das mãos. Os sujeitos relataram ser mais fácil e preciso.

**Conclusão dos experimentos.** Através da propriocepção, melhora-se a interação em ambientes virtuais, sendo este um recurso bastante útil para compensar a falta de *feedback* tátil em mundos virtuais. A manipulação precisa é ainda muito difícil em espaços virtuais, muito mais do que em espaços reais. Vários são os fatores que complicam esta manipulação.

Primeiro, a falta de superfície de trabalho físico e *feedback* tátil faz com que o controle da manipulação de objetos virtuais seja muito mais difícil. No mundo real, uma pessoa geralmente utiliza seu braço e antebraço, ou o cotovelo ou o calcanhar para fixar os movimentos e reduzir a fadiga enquanto executa uma manipulação que exige alta precisão. Segundo, os seres humanos dependem naturalmente de restrições físicas para ajudá-los a determinar o movimento dos objetos que eles estão manipulando. É muito difícil para o usuário tomar conhecimento das restrições físicas sem *feedback* tátil. Terceiro, os sujeitos imersos em mundos virtuais fazem manipulação sem o controle da ponta dos dedos, apesar de contarem com este fino controle de manipulação de objetos no mundo real. Existem equipamentos (luvas) próprios para esta finalidade, mas ainda estão longe de alcançar o controle obtido com as pontas dos dedos no mundo real.

### 3.3.4 Senso de presença

Nesta seção, um dos experimentos descritos utiliza um jogo de xadrez num ambiente virtual. Trata-se de um experimento para avaliar o senso de presença e a capacidade de memorização dos sujeitos voluntários. O objetivo deste trabalho é avaliar técnicas de interação e não o senso de presença ou memória, mas como uma das aplicações implementada neste trabalho é um xadrez virtual (capítulo 4), considerou-se pertinente a descrição do experimento com o xadrez virtual.

#### a) Experimento utilizando xadrez tridimensional

Neste experimento realizado por Slater, Linakis, Usoh e Kooper [SLA 96], utiliza-se um xadrez tridimensional. A tarefa solicitada aos sujeitos é reproduzir num xadrez real o estado do tabuleiro, através da sequência de movimentos testemunhados no ambiente virtual.

Como pode ser observado na figura 3.8, o tabuleiro de xadrez implementado neste experimento é diferente de um tabuleiro de xadrez convencional. Existem vários planos (3 tabuleiros principais e 4 de ataque) suspensos em diferentes alturas. As peças usadas neste jogo foram as mesmas de um jogo convencional de xadrez, capazes de realizar os mesmos movimentos. No entanto, também foi permitido mudar as peças entre um plano e outro. A intenção era que os sujeitos que já sabiam jogar xadrez, não fossem favorecidos em relação aqueles outros que desconheciam os movimentos das peças.



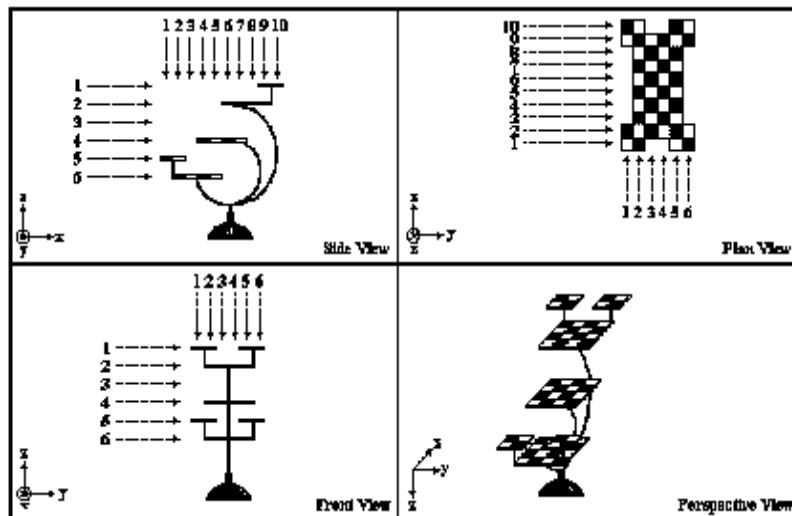


FIGURA 3.8- Xadrez tridimensional [SLA 96]

**Sujeitos.** 24 sujeitos foram recrutados para o projeto. O grupo era heterogêneo, composto por estudantes de Ciência da Computação, pessoas com conhecimento de jogo de xadrez, pessoas sem conhecimento de xadrez, alguns com quase nenhuma experiência com computadores, etc. Foram selecionados 16 homens e 8 mulheres.

**Tarefa.** Realizados de 7 a 9 movimentos de peças entre ou dentro dos planos do tabuleiro, a tarefa do sujeito era lembrar quais peças eram movimentadas e para onde elas eram movidas (a nova posição). A sequência das peças movimentadas também era considerada na avaliação.

Para familiarizar as pessoas com o ambiente virtual e os equipamentos de RV, os sujeitos tiveram um treinamento em um ambiente virtual de demonstração, que continha objetos que podiam ser selecionados e/ou movidos. Os sujeitos eram avisados sobre a falta de gravidade do ambiente e também que os objetos podiam ser penetrados pela mão virtual do sujeito.

**Questionários.** Foi aplicado um pré-questionário, para conhecer os sujeitos, com questões sobre a experiência deles com jogo de xadrez, computadores e realidade virtual. Para cada sujeito também foi aplicado um teste de percepção espacial. O propósito deste teste foi testar a habilidade da pessoa para criar, reter e manipular imagens mentais depois de visualizar objetos 3D. Após a realização dos testes, o sujeito respondia um questionário com perguntas sobre a sensação de náusea durante o experimento, a sensação de presença e a imersão no ambiente.

**Variáveis mensuradas.** As variáveis dependentes no experimento foram o número de movimentos corretos (máximo 7 ou 9) e um valor obtido das respostas sobre a sensação de presença do sujeito no pós-questionário. As variáveis independentes foram o nível de imersão e a apresentação do ambiente. Os 2 níveis de imersão foram: exocêntrica (baseada em janelas, tela plana do monitor do computador) e egocêntrica (com a utilização de HMD). O ambiente virtual foi apresentado de 2 formas: plano (os tabuleiros ficavam suspensos no vazio, no vácuo) ou num jardim (com mesa, cadeira, plantas e árvores).

**Resultados.** Os resultados sugerem que os sujeitos que utilizaram HMD (com imersão egocêntrica) apresentaram um desempenho melhor do que aqueles submetidos ao ambiente exocêntrico (tela plana). Os sujeitos submetidos a um ambiente mais realístico

(tabuleiro no jardim) tiveram um desempenho melhor do que aqueles submetidos a um ambiente menos realístico. O conhecimento anterior de xadrez e a prática em ambientes virtuais também influenciaram significativamente no desempenho dos sujeitos. Com relação ao sexo, observou-se que os homens se lembram melhor dos movimentos realizados do que as mulheres, embora as mulheres tivessem maior habilidade espacial (verificado nos testes de percepção espacial).

### 3.4 Exemplos de variáveis dependentes e independentes utilizadas em alguns experimentos estudados

A seguir, são apresentadas tabelas contendo um resumo das variáveis dependentes e independentes utilizadas em alguns experimentos relacionados a ambientes virtuais. As principais operações realizadas nestes experimentos são: seleção e manipulação de objetos, navegação do usuário pelo ambiente, sensação de presença e imersão do usuário. A tabela de manipulação de objetos apresenta também as variáveis dos experimentos que enfatizam o uso da propriocepção.

A tabela 3.3 apresenta um resumo das variáveis dependentes e independentes dos experimentos realizados por Bowman e Hodges [BOW 97b], Poupyrev, Weghorst, Billinghamurst e Ichikawa [POU 98a] e Bowman, Johnson e Hodges [BOW 99b] para as tarefas de seleção de objetos. As variáveis dependentes: satisfação, preferência do sujeito, facilidade de uso e conforto com relação as técnicas de interação utilizadas, foram analisadas através de questionários pós-testes. Estes dados são qualitativos, ou seja, são critérios subjetivos.

TABELA 3.3- Variáveis dependentes e independentes para operações de seleção

Variáveis independentes	Variáveis dependentes			
	Tempo ou velocidade para seleção	Satisfação/ preferência do sujeito / facilidade de uso	Exatidão	Conforto
distância do objeto	POU 98 e BOW 99b	POU 98 BOW 99b	BOW 99b	BOW 99b
tamanho do objeto	POU 98 e BOW 99b	POU 98 BOW 99b	BOW 99b	BOW 99b
densidade do objeto	BOW 99b	BOW 99b	BOW 99b	BOW 99b
técnica de interação	POU 98 e BOW 99b	POU 98 BOW 97 e 99b	BOW 99b	BOW 99b
feedback visual	POU 98	POU 98		

Bowman e Hodges [BOW 97b] utilizaram em seu experimento o método “pensando alto” descrito na seção 3.2.3.1, onde os usuários externavam em voz alta as vantagens e desvantagens ao utilizar uma determinada técnica de interação. As técnicas de interação analisadas foram *go-go* e mais duas variações da mesma (*fast go-go* e *stretch go-go*), raio de apontamento (*ray-casting*) e mais uma outra variação desta técnica (*ray-casting with reeling*), além da técnica de esticamento indireto (*indirect stretching*). Maiores detalhes deste experimento encontram-se na seção 3.3.1 item *b*.

Poupyrev, Weghorst, Billinghamurst e Ichikawa [POU 98a] analisaram as técnicas: a clássica mão virtual, a *go-go* e raio de apontamento (*ray-casting*). O tempo foi medido do momento em que o estímulo aparece até o momento em que o objeto é selecionado com sucesso (seção 3.3.1 item *a*).

No experimento realizado por Bowman, Johnson e Hodges [BOW 99b], a variável independente “densidade do objeto”, refere-se ao espaço ou vão entre os objetos

vizinhos. A variável dependente “exatidão” está relacionada com a quantidade de erros cometidos pelo usuário ao fazer a seleção do objeto desejado. O conforto é medido em relação ao peso do braço, peso da mão, tontura ou náusea. As variáveis independentes: distância do usuário para o objeto, tamanho do objeto e densidade do objeto foram analisadas através do método experimental dentro-do-grupo. A variável independente “técnica de interação” foi analisada através do método experimental entre-grupos, ou seja, cada grupo de 5 sujeitos interagiu com uma das técnicas. Foram analisadas 9 técnicas de interação, totalizando 45 sujeitos para a realização dos testes (seção 3.3.1 item c).

A tabela 3.4 apresenta as variáveis dependentes e independentes utilizadas em experimentos para avaliar tarefas de manipulação de objetos. Os autores são Bowman e Hodges [BOW 97b], Poupyrev, Weghorst, Billinghamurst e Ichikawa [POU 98a], Mine e Brooks Jr [MIN 97] e Bowman, Johnson e Hodges [BOW 99b].

TABELA 3.4- Variáveis dependentes e independentes para operações de manipulação

Variáveis independentes	Variáveis dependentes			
	Tempo ou velocidade p/ posicionar o objeto	Satisfação-preferência do sujeito	Conforto	Exatidão do posicionamento ao retornar a mão para um ponto no espaço
Distância do usuário p/o objeto a ser manipulado	POU 98a BOW 99b	POU 98a	BOW 99b	
Distância para a posição final	POU 98a	POU 98a		
Exatidão requerida de posicionamento	POU 98a BOW 99b	POU 98a	BOW 99b	
Técnica de interação	POU 98a BOW 99b	POU 98a BOW97	BOW 99b	
Número de graus de liberdade	BOW 99b		BOW 99b	
Distância do objeto preso à mão	MIN 97b	MIN 97b		
<i>Widget</i> preso à mão ou solto no espaço				MIN 97b

O tempo cronometrado por Poupyrev, Weghorst, Billinghamurst e Ichikawa nas tarefas de manipulação foi medido do momento em que o usuário pega um objeto, até o momento em que o objeto é posicionado com a precisão requerida (seção 3.3.1 itens a e b).

Mine e Brooks Jr [MIN 97] analisaram as tarefas de manipulação enfatizando a vantagem ou não da propriocepção. Uma das variáveis independentes utilizada nos experimentos de Mine e Brooks Jr foi a distância do objeto preso à mão (variável independente). Esta distância foi manipulada de 3 formas: objeto preso à mão, objeto localizado a uma distância fixa e objeto colocado a uma distância variável de acordo com a extensão do braço do sujeito. Mine e Brooks Jr comprovaram que manipular um objeto preso diretamente à mão é mais rápido para o usuário. Também confirmaram que os usuários tinham maior preferência por esta forma. Num segundo experimento, Mine e Brooks Jr exploram as diferenças entre a interação com um *widget* colocado em uma das mãos e a interação com um *widget* flutuando no espaço (variável independente). Num certo momento do experimento, os objetos virtuais desapareciam e o usuário deveria retornar a sua mão para o ponto inicial do experimento. A variável dependente,

neste caso, foi a exatidão do posicionamento em que o usuário conseguia retornar sua mão no espaço (seção 3.3.3 itens *a* e *b*).

No experimento realizado por Bowman, Johnson e Hodges [BOW 99b], a variável independente “exatidão requerida” está relacionada ao tamanho do objeto manipulado e ao tamanho do alvo. O alvo considerado foi 1,5 ou 3,75 vezes o tamanho do objeto manipulado, ou seja, com o alvo maior, exigia-se menor exatidão por parte do usuário para posicionar o objeto. A variável independente “número de graus de liberdade” podia ser manipulada entre 2 e 6 DOFs. 2 DOFs para posicionamento apenas num plano horizontal e 6 DOFs quando exigia-se um completo posicionamento e orientação do objeto na prova. Neste experimento, as variáveis “exatidão requerida”, “número de graus de liberdade” e “distância do usuário para o objeto” foram analisadas através do método experimental dentro-do-grupo. A variável técnica de interação foi analisada através do método experimental entre-grupos (seção 3.3.1 item *c*).

A tabela 3.5 apresenta as variáveis dependentes e independentes utilizadas na realização de tarefas de navegação pelo ambiente virtual, realizadas por Bowman, Koller e Hodges [BOW 98] e Bowman, Johnson e Hodges [BOW 99b].

TABELA 3.5- Variáveis dependentes e independentes para operações de navegação

Variáveis independentes	Variáveis dependentes		
	Capacidade do sujeito em guardar informações do AV (lembrança)	Tempo (entre o começo do estímulo e o começo do movimento)	Rapidez (medido através do tempo gasto para movimentar-se)
Técnica de <i>walkthrough</i>	BOW 98	BOW 99b	BOW 98 BOW 99b
Dimensão do ambiente	BOW 98		BOW 98
Detecção de colisão	BOW 98		BOW 98
Tipos de tarefas		BOW 99b	BOW 99b
Grau de exatidão requerida		BOW 99b	BOW 99b
Visibilidade do destino estando na posição inicial da prova		BOW 99b	BOW 99b

No experimento realizado por Bowman, Johnson e Hodges [BOW 99b] foram realizados 2 tipos de tarefas: *naive search* e *primed search*. *Naive search* significa que a busca era por um local desconhecido enquanto, no *primed search*, busca-se um local que já foi visitado anteriormente. No destino existia um objeto numerado e, ao seu redor, um círculo cujo raio era de 5 ou de 10 metros. O círculo de 10 metros exigia baixa exatidão de aproximação por parte do usuário enquanto o de 5 m requeria um alto grau de exatidão. Com relação a visibilidade do destino, o usuário conseguia ver ou não o destino estando na posição inicial da prova (destino visível ou invisível). O tempo cronometrado nas provas foi separado em 2 partes (variável dependente). Foi medido o tempo entre o começo do estímulo e o começo do movimento, ou seja, o tempo de processamento mental e o tempo gasto para movimentar-se pelo ambiente. Foram analisadas 7 técnicas de interação: 3 técnicas de pilotagem (apontamento, direcionada pelo olhar e pelo torso), técnica HOMER, técnica *go-go*, *map-dragging* e *ray-casting*. A variável independente “técnica de interação” foi analisada através do método experimental entre-grupos. As variáveis independentes “visibilidade do destino”,

“exatidão requerida na aproximação” e “tipo da tarefa” (*naive* ou *primed search*) foram analisadas pelo método experimental dentro-do-grupo (seção 3.3.2 item *b*).

Ainda na tabela 3.6, no experimento realizado por Bowman, Koller e Hodges [BOW 98], a dimensão do ambiente diz respeito ao corredor por onde o usuário deveria se deslocar. O corredor podia ser de uma, duas ou três dimensões (variável independente). A detecção de colisão podia ou não estar presente na prova. As técnicas de navegação analisadas foram: navegação direcionada pelo olhar, apontamento e navegação direcionada pelo torso do usuário (seção 3.3.2 item *a*).

A tabela 3.6 apresenta as variáveis dependentes e independentes utilizadas num experimento para verificar a sensação de presença e imersão do usuário num ambiente com um jogo de xadrez virtual [SLA 95].

TABELA 3.6- Variáveis dependentes e independentes num experimento para verificar a sensação de imersão e presença

Variáveis independentes	Variáveis dependentes	
	Sensação de Presença e Imersão	Número de movimentos corretos ou capacidade p/ reproduzir os movimentos das peças
Imersão (Exocêntrico: tela do monitor e, Egocêntrico: HMD)	SLA 95	SLA 95
Ambiente (simples: no vácuo e, realístico: no jardim)	SLA 95	SLA 95
Número de movimentos (7 a 9)	SLA 95	SLA 95

O sujeito foi convidado a reproduzir num xadrez real a sequência de movimentos das peças testemunhada no xadrez virtual (num total de 7 a 9 movimentos). Uma das variáveis dependentes utilizadas foi a capacidade do sujeito para reproduzir os movimentos das peças. Através de questionário pós-teste (com medidas escalares), o sujeito respondia sobre a sensação de presença e imersão e também, se havia sentido náuseas durante os testes. As variáveis independentes foram o nível de imersão e a apresentação do ambiente. O nível de imersão variou de 2 maneiras: exocêntrica (baseada em janelas, tela plana do computador) e egocêntrica (com a utilização de HMD). O ambiente virtual foi apresentado de 2 formas: plano (tabuleiros suspensos no vácuo) ou num jardim (contendo mesa, cadeira, plantas e árvores). Maiores detalhes sobre este experimento podem ser encontrados na seção 3.3.4 item *a*.

O experimento realizado por Dinh *et al.* [DIN 98] teve por objetivo verificar a sensação de presença e realismo. Foi criado um escritório virtual contendo uma área de recepção, um corredor, um banheiro, uma pequena e uma grande sala para escritórios, uma sala de cópias e uma sacada. Participaram do experimento um total de 322 sujeitos, sendo que foi realizado no intuito de investigar a sensação de presença e realismo num ambiente que podia ou não apresentar sons ambientais, aromas, alta fidelidade visual e “sinais” táteis.

Neste experimento, um dos “sinais” táteis era, por exemplo, quando o sujeito passava pela recepção, o ventilador era ligado no ambiente virtual e, simultaneamente, no ambiente real, também um ventilador era ligado para verificar a sensação de realismo (figura 3.9). O som do ventilador também podia ser acrescentado ou não. Outro “sinal” tátil era quando o sujeito se dirigia para a sacada do lado de fora. Era possível ouvir ou

não os ruídos da cidade e ver um dia ensolarado. Simultaneamente, era ligada uma luz que aquecia o ambiente real. Outra sensação que podia estar presente era o aroma de café na recepção. Isto era realizado através de uma pequena máscara de oxigênio presa ao rosto do sujeito. Outro som que podia estar presente ou não era a descarga do assento sanitário quando o sujeito passava pelo banheiro virtual. O escritório podia ser visto ainda com alta ou baixa fidelidade visual (com acréscimos de texturas, por exemplo).



FIGURA 3.9- experimento com multi entradas sensoriais

Neste experimento, as variáveis independentes foram: fidelidade visual (alto ou baixo), som ambiente, olfato e os “sinais” táteis. As variáveis dependentes foram: sensação de presença e realismo e, quantidade de informações memorizadas pelo usuário (*layout* espacial e localização de objetos).

### 3.5 Considerações finais

Neste capítulo foi realizado um levantamento de metodologias para se realizar uma avaliação experimental de um sistema. Num primeiro momento, buscou-se as metodologias já consolidadas em IHC (interface humano-computador), cuja predominância nas avaliações experimentais são para interfaces 2D. No entanto, como este trabalho tem por objetivo avaliar técnicas de interação em interfaces 3D, buscou-se complementar as metodologias de IHC com as metodologias propostas por Bowman, Mine e Poupyrev para avaliação experimental em ambientes virtuais imersivos.

Também foram apresentados alguns experimentos realizados para avaliar técnicas de interação em ambientes tridimensionais e, a partir destes estudos, foi possível construir hipóteses para os experimentos propostos neste trabalho. Somando-se a este estudo das metodologias e de alguns experimentos, tem-se algumas tabelas com exemplos de variáveis dependentes e independentes utilizadas em experimentos destinados a avaliar técnicas de interação para a realização de tarefas de seleção e manipulação de objetos e também, navegação do usuário pelo ambiente.

Diante da diversidade de técnicas e através do estudo de alguns experimentos de avaliação das mesmas, foi possível observar características de algumas técnicas. Por exemplo, para seleção e manipulação de objetos, *ray-casting* é basicamente uma técnica bidimensional, pois o usuário enfrenta dificuldade caso deseje mudar a posição do objeto para mais perto ou mais distante dele; embora seja muito eficiente na seleção de objetos remotos. Esta observação e mais alguns outros resultados dos experimentos estudados, ajudaram a compor as hipóteses deste trabalho.

Bowman, Johnson e Hodges [BOW 99b] apresentam algumas diretrizes que podem ser aplicadas ao serem utilizadas técnicas de seleção e manipulação de objetos. São elas:

- usar a técnica *ray-casting* (com 2 DOFs) se a velocidade para seleção de objetos remotos for importante;
- garantir que a técnica de seleção escolhida integra-se bem com a técnica de manipulação a ser utilizada;
- se possível, projetar o ambiente para maximizar a percepção do tamanho dos objetos;
- se a aplicação permitir, usar tarefas de manipulação que exijam do usuário um controle com menos graus de liberdade;
- proporcionar restrições genéricas ou específicas na aplicação ou ajuda para realizar a tarefa de manipulação.

Na navegação também foram observadas algumas características das técnicas estudadas. Observou-se, por exemplo, que, se a tarefa do usuário ao se deslocar pelo ambiente for de exploração, a técnica de navegação deve priorizar a facilidade de uso, a presença e o conforto, e não a velocidade e a exatidão do movimento. Se a tarefa for buscar informação, a velocidade e a exatidão são muito importantes. Mas, se o objetivo do usuário é o destino e não o caminho, a habilidade espacial e a habilidade para memorizar informações durante a navegação pode não ser o mais importante. Concluiu-se que não existe uma técnica melhor, porque a técnica que é melhor numa determinada aplicação, não é necessariamente boa para uma outra aplicação que apresente diferentes condições.

Bowman, Johnson e Hodges [BOW 99b] também sugerem algumas diretrizes que podem ser aplicadas ao utilizar técnicas de navegação. São elas:

- usar técnicas de pilotagem (por ex. apontamento, direcionada pelos olhos com rastreadores na mão e na cabeça) em tarefas de busca para obter eficiência e como regra geral;
- se técnicas baseadas em destino/alvo são usadas (por ex. *map-dragging*), projetar o ambiente ou a aplicação para que os destinos sejam grandes e com menor exatidão de movimento possível;
- evitar técnicas de *walkthrough* baseadas em manipulação (por exemplo HOMER e *go-go*) em aplicações que exijam que o usuário se desloque frequentemente;
- técnicas conhecidas como “mágicas” (por exemplo *map-dragging*, *go-go*, HOMER e *ray-casting*), baseadas em metáforas com movimentos não naturais podem permitir maior eficiência e facilidade de movimento em linha reta, mas estas não devem ser usadas em aplicações na qual o realismo do movimento é uma necessidade.

Espera-se que este capítulo auxilie a realização de avaliações experimentais com interfaces 3D. Foram descritas as etapas principais de um experimento, as características que afetam o desempenho do usuário e, foi acrescentado exemplos de variáveis dependentes versus independentes de alguns experimentos já realizados.





## 4 Avaliação experimental de técnicas de seleção e manipulação

Este capítulo relata uma experiência de avaliação de técnicas de seleção e manipulação em um ambiente imersivo similar a um jogo de xadrez. As técnicas avaliadas são: a mão virtual associada a um mouse comum e a uma luva; e a técnica de *ray-casting* associada à luva.

### 4.1 A aplicação

A fim de permitir a experimentação e posterior avaliação de determinadas técnicas de seleção e manipulação de objetos 3D em ambientes virtuais, foi desenvolvida uma aplicação bastante simples. Optou-se pela representação de um jogo de xadrez (xadrez virtual), onde a tarefa dos jogadores envolve apenas a seleção e movimentação de peças sobre o tabuleiro, sem preocupação com a habilidade cognitiva do jogador, ou com as regras do jogo.

O xadrez virtual é composto por um tabuleiro com 64 posições (casas) e contém, inicialmente, 32 peças. Na aplicação dos testes algumas peças são retiradas para evitar duplicidade de opções ao movimentar determinadas peças (nos testes são utilizadas 29 peças). As peças para cada jogador são: um rei, uma rainha, dois bispos, dois cavalos, duas torres e oito peões. As peças para cada jogador são identificadas pelas cores bege e preto. A figura 4.1a e 4.1b ilustra as peças em posição inicial para um breve treinamento do usuário, antes da aplicação dos testes.

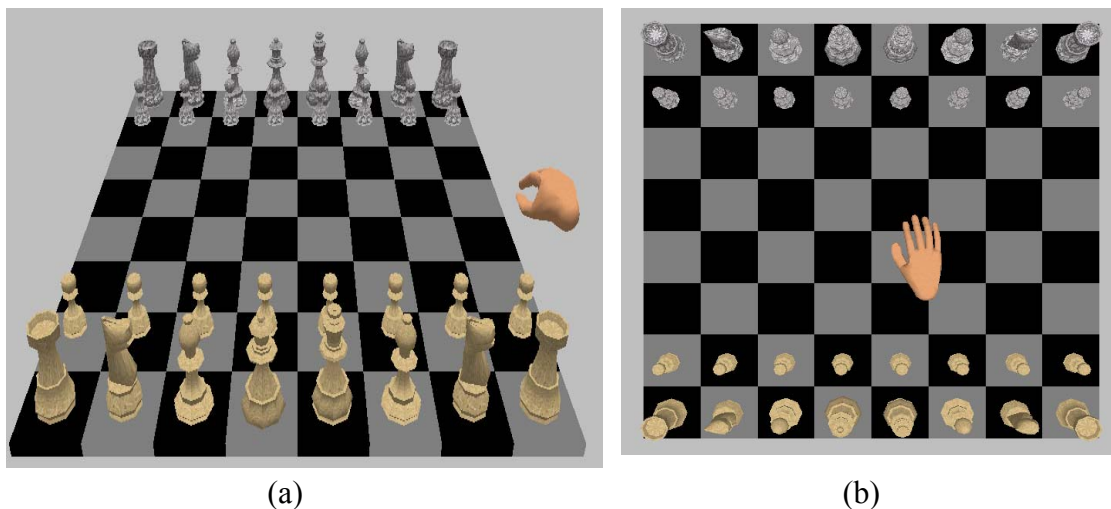


FIGURA 4.1- Xadrez virtual em situação inicial para treinamento. (a) tabuleiro com inclinação de 60 graus e (b) com inclinação de 0 graus (vista superior).

O tabuleiro pode ser visualizado com duas inclinações distintas: 0 (vista superior) e 60 graus. Com a inclinação de 60 graus (figuras 4.1a e 4.2a) buscou-se uma inclinação próxima àquela obtida no mundo real. Já com a visão superior do jogo, pretende-se simular uma interface bidimensional (2D) (figuras 4.1b e 4.2b). Em alguns testes preliminares, observou-se a dificuldade do usuário na identificação de determinadas peças, quando trabalhando com a vista superior do tabuleiro. Para que este fato não interferisse na posterior avaliação dos resultados, as tarefas de movimento foram realizadas apenas com torre, cavalo e bispo por serem peças mais facilmente identificáveis.

Não é permitido ao usuário movimentar as peças para fora do tabuleiro, nem selecionar duas peças simultaneamente. Durante o movimento de uma peça, após a sua seleção, a mesma é suspensa sobre o tabuleiro, simulando o movimento real de “pegar” uma peça, trocando-a de posição. Como um jogador só pode movimentar uma peça de cada vez, para selecionar uma nova peça, é necessário que todas estejam sobre o tabuleiro.

## 4.2. Técnicas de interação e visualização utilizadas

Na aplicação do xadrez virtual, optou-se pela utilização de duas técnicas egocêntricas: mão virtual e *ray-casting*.

Em um jogo de xadrez real, a movimentação das peças no tabuleiro é normalmente realizada com a mão, o que sugere a mão virtual como forma mais intuitiva de manipulação das peças no xadrez virtual. Por isto, uma das técnicas implementadas foi justamente a mão virtual (Figura 4.1). No entanto, nos experimentos realizados por Poupyrev [POU 97], esta técnica não apresentou um bom desempenho ao ser comparada com outras. Assim, a técnica *ray-casting* foi também implementada, a fim de permitir uma comparação entre ambas na manipulação de objetos localizados próximos ao usuário (Figura 4.2). O principal diferencial entre este trabalho e os demais estudados, é que, na aplicação do xadrez virtual, o ambiente possui uma grande quantidade de objetos (29 peças). Bowman, Johnson e Hodges [BOW 99b] utilizaram 11 objetos em seu experimento para selecionar e manipular objetos.

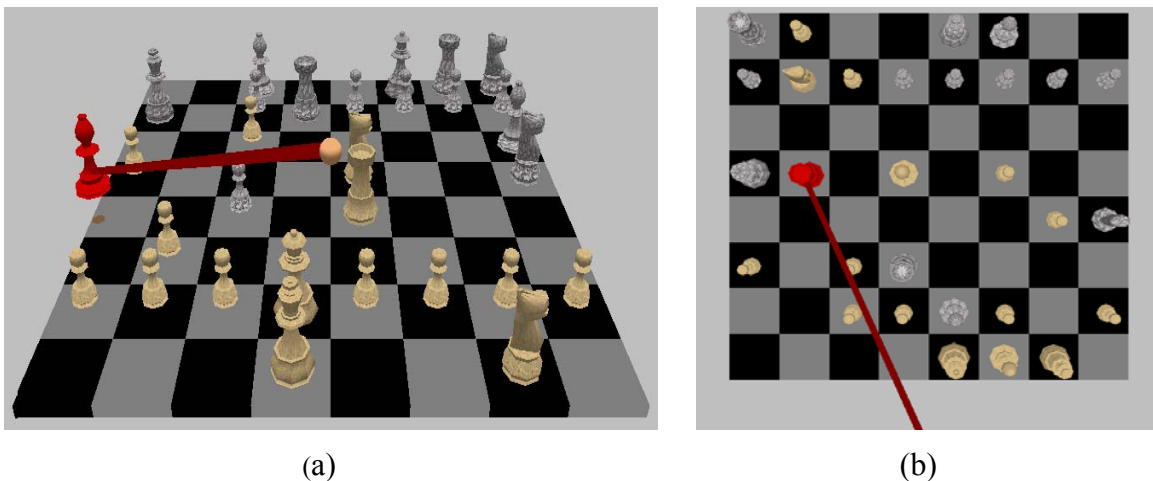


FIGURA 4.2- Utilização da técnica de *ray-casting* com *feedback* visual. (a) Tabuleiro com inclinação de 60 graus e (b) com inclinação de 0 graus.

Ainda no que diz respeito à seleção e manipulação de peças, foram consideradas duas situações distintas envolvendo *feedback* visual. Durante a aplicação dos testes, as situações com e sem *feedback* se alternam. Nas tarefas com *feedback* visual, quando uma peça é selecionada, ela muda de cor (fica vermelha) e é automaticamente suspensa, ficando acima do nível do tabuleiro, sendo assim facilmente identificada entre as demais. A figura 4.2 ilustra situações com *feedback* visual.

Quanto à visualização, conforme já mencionado, optou-se pela inclinação do tabuleiro a 60°, simulando a visão real de um tabuleiro de xadrez e a 0°, simulando interface 2D. Na primeira inclinação, o uso de perspectiva dá uma noção bastante clara ao usuário da distância que o separa de cada uma das peças. Por se tratar da simulação de um ambiente 3D, optou-se pela utilização de visão estereoscópica neste caso, oferecendo um grau de imersão maior ao usuário. Já a visão superior do tabuleiro, dá a impressão clara de tratar-se de uma interface 2D, comum aos jogos de xadrez

disponíveis em computador. Neste caso, a noção de distância do jogador até cada uma das peças não é importante e o uso de visão estereoscópica, desnecessário.

### 4.3 Dispositivos e plataforma computacional utilizados

As características dos dispositivos utilizados em uma aplicação, afetam o desempenho do usuário durante a realização das tarefas [POU 97, MAC 95]. Atributos como graus de liberdade, resolução, campo de visão, profundidade máxima suportada, entre outros, devem ser considerados ao se comparar resultados sobre desempenho dos usuários.

Na implementação do xadrez virtual foram utilizados 4 dispositivos diferentes, que serão descritos abaixo. São eles: *mouse*, *data-glove*, captores de movimento e óculos de cristal líquido.

O *mouse* pode ser visto hoje como um dispositivo corriqueiro entre os usuários de computadores, tendo se tornado adequado para interações com aplicações baseadas em interfaces gráficas 2D. Muitos consideram que a interação realizada com o *mouse* é bastante “intuitiva” e “natural” para usuários de computadores com sistemas operacionais baseados em janelas. Um *mouse* comum foi utilizado nas tarefas de seleção e manipulação das peças do jogo de xadrez, guiando uma mão virtual.

Foi utilizada também uma *data-glove* (luva) modelo 5DT Data Glove 5 (Figura 4.3a). Esta luva possui um sensor de rotação e de inclinação, além de sensores de flexão para os dedos (um sensor de fibra ótica para cada dedo). A resolução da flexão dos dedos é de 8 bits (representando 256 posições diferentes) para cada dedo e a resolução de rotação e inclinação da mão é de  $-60^\circ$  a  $+60^\circ$ , variando de  $0,5^\circ$  (8 bits para cada sensor). Sobre a luva, situa-se o seu *hardware* essencial, juntamente com o sensor de rotação e inclinação (preso por velcro) e uma memória EEPROM com as suas configurações. O equipamento permite o reconhecimento de diversos gestos definidos pelo usuário, a partir da combinação das flexões dos dedos. A luva deve ser conectada à porta serial da máquina. No xadrez virtual, a luva foi utilizada nas tarefas de seleção e manipulação de objetos, tanto com a técnica da mão virtual como do *ray-casting*. A tarefa de seleção de objetos foi implementada através do reconhecimento do gesto da mão sendo fechada, enquanto que a tarefa de largar a peça em uma determinada posição se dá através do gesto de abrir a mão. O movimento da mão fechada com uma peça selecionada permite a movimentação da peça.



FIGURA 4.3- (a) 5DT Data Glove. (b) Flocks of Birds (Ascension Technology)

Dada a especificação técnica da luva utilizada não prever a captura de movimentos de translação, o uso da mesma na aplicação só foi possível se combinado com o de um captor (rastreador) de movimento. Um rastreador de movimento é um equipamento capaz de capturar uma posição e uma orientação no espaço 3D. O equipamento utilizado foi um captor de posição do tipo Flocks of Birds, comercializado pela Ascension Technology (Figura 4.3b), e baseia-se no uso de sensores capazes de

medir o campo magnético criado por uma fonte. Este sistema é capaz de gerar entre 15 e 120 conjuntos de dados 6D (posição e orientação no espaço 3D) por segundo. O equipamento utilizado possui apenas um sensor (preso ao pulso do usuário, sobre a luva) e uma fonte emissora de campo magnético.



FIGURA 4.4- H3D Glasses

Na visualização do tabuleiro de xadrez com inclinação de 60°, foram utilizados óculos de cristal líquido H3D Glasses (Figura 4.4). Estes óculos possuem *display* que alterna imagens para o olho esquerdo e direito a uma taxa de 80 a 160 imagens/segundo.

Para a realização dos experimentos foi utilizado um computador com processador Pentium 4, 256 MB de memória RAM, placa aceleradora gráfica GeForce2 (nVidia) e sistema operacional Windows 2000. A aplicação foi desenvolvida na linguagem C++, utilizando-se OpenGL para as funções gráficas.

#### 4.4 Avaliação das técnicas de interação

Com base nos métodos de avaliação de interfaces homem-computador empregados na área de IHC [DIX 97] e em experiências para avaliação de técnicas de interação em ambientes virtuais relatadas na literatura [BOW 99a, POU 98a], foi definida a metodologia a ser seguida para avaliação das técnicas implementadas. Foram estabelecidas 5 hipóteses, determinadas as variáveis independentes (que deveriam ser alteradas para testar as diferentes hipóteses) e as dependentes (que indicam medidas de desempenho dos usuários) e escolhido o perfil do conjunto de usuários.

##### 4.4.1 As hipóteses e as variáveis independentes e dependentes

As cinco hipóteses especificadas envolvem tanto questões de preferência por parte do usuário como medidas objetivas do seu desempenho. São elas:

**1. O usuário prefere o tabuleiro orientado a 0° (zero graus) e terá dificuldades com o tabuleiro orientado a 60°.**

Esta hipótese testa, na realidade, se o fato dos usuários estarem acostumados com interfaces representadas no plano 2D faz com que eles ainda prefiram tais interfaces em detrimento de interfaces 3D. A hipótese é ainda que, com o tabuleiro inclinado a 60°, o sujeito enfrentará maior dificuldade para selecionar e manipular as peças.

**2. O feedback visual afeta o desempenho dos usuários na seleção e manipulação das peças.**

Poupyrev [POU 98a] afirma que o *feedback* visual não influencia no desempenho do usuário. A hipótese a ser testada é que, havendo muitos objetos, como é o caso do xadrez, o *feedback* irá facilitar a distinção e, conseqüentemente, a movimentação das peças.

**3. A técnica de interação preferida ao utilizar a luva será a mão virtual.**

A técnica *ray-casting*, apesar de ser uma técnica eficaz para “pegar” objetos, apresenta um pobre desempenho para distanciar ou aproximar as peças, ou seja, para operações

que exijam mudança na distância entre objeto e usuário [BOW 97b, POU 98a]. A hipótese a ser testada é que, no caso do xadrez, a mão virtual guiada por luva apresenta um desempenho melhor ao ser comparada com a técnica *ray-casting*, e será também a preferida, por apresentar maior semelhança com a interação no mundo real.

#### **4. O dispositivo com maior preferência para utilização é o mouse.**

Esta hipótese relaciona a experiência com o uso do *mouse* em seleção e manipulação de objetos em mundos virtuais, com a preferência por esse tipo de dispositivo expressa pelos usuários através de questionários. A idéia é que os usuários terão preferência pelo *mouse* para selecionar e manipular as peças no tabuleiro, uma vez que possuem grande experiência na utilização deste dispositivo.

#### **5. O usuário obterá um desempenho melhor ao utilizar a técnica *ray-casting* quando a inclinação do tabuleiro estiver em 0°.**

A técnica *ray-casting* é considerada uma técnica bidimensional e a hipótese é de que o usuário terá um desempenho superior quando utiliza tal técnica com o tabuleiro inclinado em 0°, mesmo indicando a mão virtual como preferida.

As *variáveis independentes* são aquelas características do experimento que são manipuladas para produzir diferentes condições de comparação. Exemplos de variáveis independentes em interfaces em geral são estilo de interface e nível de ajuda [DIX 97]. Para ambientes virtuais, um exemplo é o tamanho do objeto a ser selecionado e/ou manipulado. No xadrez virtual, as variáveis independentes utilizadas para testar as hipóteses são:

- ***inclinação do tabuleiro***. Esta variável permite testar diretamente a 1ª hipótese e entra na composição da situação para a verificação da 5ª hipótese. As duas orientações possíveis: 0°, com o tabuleiro alinhado ao plano da tela, numa visão 2D superior, e 60°, como se o usuário estivesse sentado à frente do tabuleiro;
- ***feedback visual***. Utilizada para configurar a 2ª hipótese, esta variável indica o emprego de *feedback* visual na seleção da peça (a peça automaticamente se sobressai entre as demais pela cor vermelha e sombra no tabuleiro, ficando um pouco acima das outras em relação ao tabuleiro). Sem *feedback* visual, a peça selecionada não apresenta nenhuma característica que a diferencie das demais;
- ***dispositivo utilizado***. As hipóteses 3, 4 e 5 dependem diretamente do dispositivo empregado. Os dispositivos possíveis de serem utilizados na aplicação são: luva e *mouse*. Com o *mouse*, o cursor é substituído pela mão virtual, configurando-se a situação de teste da hipótese 4; com a luva, a realimentação do cursor é decorrente da técnica e pode ser feita com mão virtual ou com *ray-casting*;
- ***técnica de interação com luva***. Duas técnicas foram implementadas com a luva: a mão virtual e o *ray-casting*. A 3ª hipótese baseia-se em configuração estabelecida com esta variável. Já a 5ª hipótese combina a variável de orientação do tabuleiro com *ray-casting*.

As *variáveis dependentes* são as medidas tomadas como indicativo do desempenho ou aceitação da técnica pelos usuários. Essas medidas podem ser objetivas como o tempo gasto para selecionar e manipular uma determinada peça no tabuleiro, o qual é computado automaticamente pela aplicação, ou subjetivas, coletadas através de questionários pós-testes com os usuários voluntários. No experimento realizado as variáveis dependentes foram:

- ***eficiência da técnica de interação***. Rapidez para realizar a tarefa proposta;

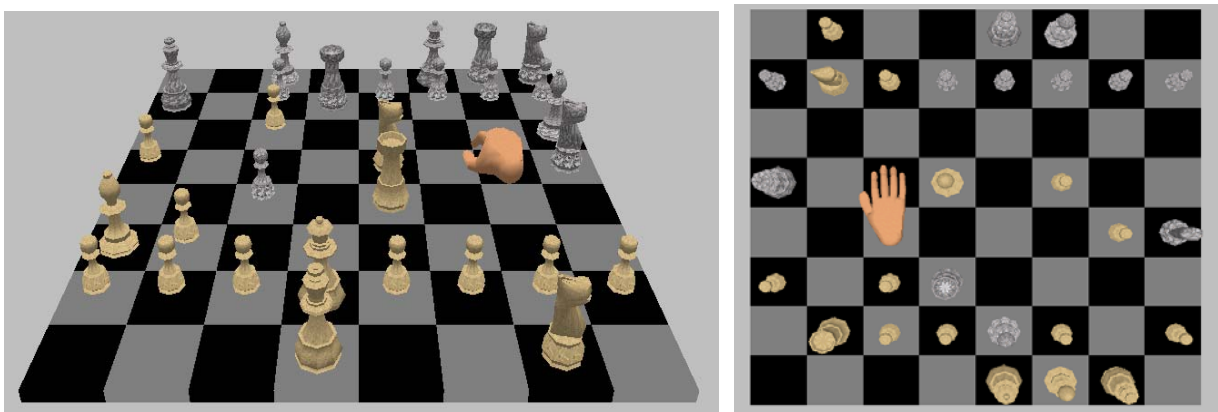
- **facilidade de uso da técnica de interação.** Relacionado à simplicidade para se usar determinada técnica;
- **conforto/desconforto do dispositivo utilizado (mouse ou luva).** Medido em relação ao peso do braço, peso da mão, tontura ou náusea;
- **apreciação pessoal do usuário.** Quanto à técnica e dispositivo utilizados.

#### 4.4.2 Experimento realizado

O experimento realizado constituiu-se da execução de movimentos pré-determinados com peças específicas sobre o tabuleiro. Ao longo do experimento, foram contabilizados: tempo de realização dos movimentos e número de erros até a finalização correta de cada um. Questionários pós-teste foram também aplicados, para a coleta de medidas subjetivas. A seguir, descreve-se com mais detalhes o conjunto de usuários e os métodos empregados.

**Sujeitos.** Foram selecionados 29 sujeitos: 15 homens e 14 mulheres, sendo um descartado devido à interferência externa durante o experimento. Quatro eram professores e os demais estudantes, todos de Computação. A faixa etária variou de 20 a 37 anos. Apenas 1 é canhoto, os demais são destros. Vinte e sete sujeitos afirmaram não possuir familiaridade com equipamentos de RV como óculos, luvas e rastreadores de posição. O conhecimento prévio de jogo de xadrez não era necessário. Caso o sujeito relatasse não conhecer o jogo de xadrez, lhe era ensinado identificar torre, cavalo e bispo durante o treinamento, antes dos testes.

**Tarefas do experimento.** Foram implementadas 3 situações diferentes de jogo, para evitar aprendizagem por parte do usuário quanto a localização das peças durante a aplicação dos testes. A figura 4.5a apresenta a situação 1, utilizada apenas para os testes com luva e com inclinação do tabuleiro em 60 graus. A figura 4.5b mostra a 2ª. situação, utilizada nos testes com luva e sem inclinação (0 graus), e a figura 4.6 apresenta a 3ª. situação, utilizada apenas nos testes com o mouse (0 e 60 graus).



(a)

(b)

FIGURA 4.5- Situações diferentes na disposição das peças pelo tabuleiro. (a) Primeira situação: utilizada com luva e inclinação em 60 graus e (b) Segunda situação: utilizada com luva e sem inclinação.

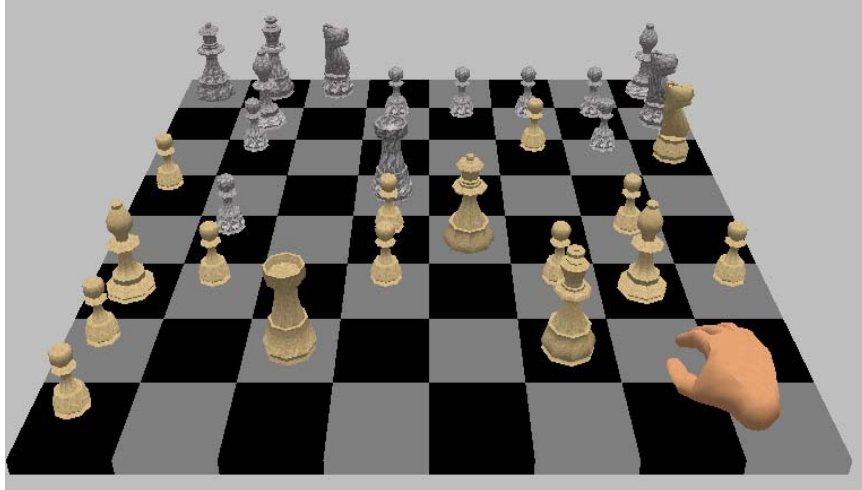


FIGURA 4.6- Terceira situação de jogo, utilizada nos testes com o mouse (0 e 60 graus)

As tarefas de movimentação das peças foram divididas em dois grupos distintos: peças que deveriam ser movimentadas para a esquerda ou para a direita (eixo X) e, peças que deveriam ser movimentadas para o fundo do tabuleiro (eixo Z). Cada tarefa, portanto, envolvia a seleção de uma peça específica e seu deslocamento para uma determinada posição.

Cada sujeito completava um total de 24 tarefas: 12 tarefas envolvendo movimentos de peças em profundidade e 12 tarefas envolvendo movimentos laterais. Das 24 tarefas, 8 deveriam ser realizadas com o *mouse* e 16 com a luva. Somente nas tarefas com a luva eram alternadas as duas técnicas de interação: mão virtual e *ray-casting*. Em 12 tarefas as peças sofreram alterações visuais ao serem selecionadas (*feedback* visual), sendo que nas outras 12 não havia *feedback*. Doze tarefas utilizavam o tabuleiro inclinado em 60° e outras 12 inclinado a 0°. A figura 4.7 mostra uma foto com um sujeito realizando os testes.



FIGURA 4.7- Uma das voluntárias realizando os testes

**Métodos.** Os sujeitos tiveram entre 5 e 10 minutos de treinamento para selecionar e manipular, aleatoriamente, as peças no tabuleiro, o qual era apresentado com os dois tipos de inclinação (0° e 60°), sendo que usaram as duas técnicas de interação (mão virtual e *ray-casting*). Durante o treinamento, era feita uma explanação sobre a avaliação e sobre que itens o sujeito deveria observar durante as provas: seleção e manipulação com ou sem *feedback* visual, as técnicas de *ray-casting* e mão virtual, as duas possíveis inclinações do tabuleiro e, também, o dispositivo solicitado (*mouse* ou

luva). O sujeito só iniciava as tarefas após conseguir identificar claramente bispo, cavalo e torre.

A ordem para a realização de cada tarefa surgia através de uma mensagem no monitor com instruções para a próxima tarefa (figura 4.8), as quais indicavam se o sujeito deveria utilizar luva ou *mouse*, que peça deveria ser selecionada e que movimento deveria ser realizado. A mensagem desaparecia com um clique do *mouse* ou com o movimento de fechar a mão, no caso da luva. A partir do desaparecimento da mensagem, a aplicação iniciava a contabilização do tempo para a sub-tarefa de seleção. O tempo final de seleção era registrado quando o sujeito conseguia selecionar com sucesso a peça indicada na mensagem de instrução. O término da seleção também sinalizava o início da manipulação, reiniciando a contabilização do tempo. Após o sujeito movimentar a peça para o local indicado na instrução e soltá-la na posição correta, era finalizada a contagem de tempo de manipulação.



FIGURA 4.8- Instruções para a próxima tarefa a ser realizada pelo sujeito

Um arquivo de *log* foi gravado para o registro destes tempos. Este arquivo foi organizado por sujeito que realizou o experimento, contendo: nome do sujeito e, para cada tarefa, tempo de seleção da peça, tempo de manipulação, número de cliques no vazio (no caso do *mouse*), quantidade de peças selecionadas erradas (em ambos os dispositivos) e a quantidade de manipulações erradas (soltar a peça na posição errada).

As condições foram numeradas no arquivo de *log*, para facilitar o processo de codificação (ver tabela 4.1).

TABELA 4.1- Condições dos testes aplicados no xadrez virtual

Condição 1= Luva, 60 graus, com feedback, mão virtual
Condição 2= Luva, 60 graus, sem feedback, mão virtual
Condição 3= Luva, 60 graus, com feedback, ray-casting
Condição 4= Luva, 60 graus, sem feedback, ray-casting
Condição 5= Luva, 0 graus, com feedback, mão virtual
Condição 6= Luva, 0 graus, sem feedback, mão virtual
Condição 7= Luva, 0 graus, com feedback, ray-casting
Condição 8= Luva, 0 graus, sem feedback, ray-casting
Condição 9=Mouse, 60 graus, com feedback
Condição 10=Mouse,60 graus, sem feedback
Condição 11=Mouse, 0 graus, com feedback
Condição 12=Mouse, 0 graus, sem feedback



## 4.5 Resultados obtidos

Para cada uma das 5 hipóteses levantadas, foi aplicada análise de variância (teste ANOVA a 1 fator com 5% de significância) para testar a correlação entre duas variáveis a partir da comparação entre o F calculado e um F crítico.

De uma forma simples: deseja-se saber, com determinada confiança, se existe ou não correlação. Para tanto, a partir de uma amostra de tamanho  $n$ , calcula-se o F, para o caso de regressão linear simples, conforme descrito na fórmula 1:

$$F = \frac{r^2(n-2)}{1-r^2} \quad (1)$$

Nota-se que F depende tanto do coeficiente de correlação ( $r$ ) como do tamanho da amostra ( $n$ ). O valor de F deve ser então comparado com o F crítico obtido através da distribuição F de *Snedecor* para determinado nível de significância (no caso deste experimento, a 5% de significância).

Se o F observado for maior que o F crítico rejeita-se a hipótese de que não há correlação ( $H_1$ -hipótese alternativa). Se não, não se pode afirmar que há correlação entre as variáveis ( $H_0$ -hipótese da nulidade). A hipótese  $H_0$  é a hipótese da nulidade, ou seja, quando as médias dos tempos obtidos em cada condição são iguais, conclui-se que não existe diferença entre essas condições. Já a hipótese alternativa  $H_1$  rejeita a igualdade entre os as condições acusando diferença significativa entre elas. Para aceitar ou rejeitar a hipótese de nulidade ( $H_0$ ) deve-se observar o F observado (ou calculado) e o F crítico. Se o F observado for menor do que o F crítico, aceita-se a hipótese de nulidade ( $H_0$ ), ou seja, conclui-se que não existe diferença entre os dois tratamentos. Caso o F observado seja maior que o F crítico, rejeita-se a hipótese de nulidade e aceita-se a hipótese alternativa ( $H_1$ ). Ao aceitar a hipótese alternativa ( $H_1$ ), deve-se observar as médias obtidas nos dois tratamentos: o melhor tratamento será aquele que obteve o menor tempo médio para realizar a tarefa solicitada no teste. O F observado é o valor calculado através das variâncias estimadas pelas observações coletadas no experimento. O F crítico é um valor tabelado para o teste F–*Snedecor* [CHR 87].

A discussão a seguir apresenta os resultados obtidos de acordo com as hipóteses levantadas. São elas:

### ***1. O usuário prefere o tabuleiro orientado a 0° (zero graus) e terá dificuldades com o tabuleiro orientado a 60°.***

Nos questionários pós-testes, foi observado que 6 pessoas (21%) afirmaram preferir interagir com o tabuleiro sem inclinação (0 graus). Apenas 1 pessoa (3%) se mostrou indiferente quanto a inclinação, mas a maioria (22 pessoas, ou seja, 76%) afirmou preferir a inclinação de 60 graus.

Analisando o tempo gasto pelos sujeitos, observou-se que, apesar da maioria dos usuários declararem preferir a orientação de 60°, não há diferença estatisticamente significativa quando a seleção envolve movimentação lateral (6,022989 para movimentos laterais sem inclinação e 7,005747 para movimentos laterais com inclinação de 60 graus) conforme apresentado na tabela 4.2. No entanto, para a seleção envolvendo movimentos em profundidade, os tempos médios foram significativamente menores quando o tabuleiro não está inclinado (0 graus). A tabela 4.2 apresenta as médias observadas.

TABELA 4.2- Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de seleção conforme a inclinação do tabuleiro.

<b>Seleção</b>		
	<b>Média Movimentos laterais</b>	<b>Média Movimentos em profundidade</b>
Sem inclinação (0 graus)	6,022989	6,298851
Inclinado em 60 graus	7,005747	12,22414

Aplicando-se o teste ANOVA com 5% de significância, conclui-se que não há diferença quanto a seleção envolve movimentação lateral (esquerda/direita).

Quando a seleção envolve movimentos em profundidade, observou-se que o F obtido (39,79603) é maior que o F crítico (3,868479) e, portanto, existe diferença significativa entre 0 e 60 graus. Conclui-se que os sujeitos tiveram um melhor desempenho sem inclinação (0 graus) na seleção de movimentos em profundidade, pois a média sem inclinação (6,298851) é menor do que a média com inclinação de 60 graus (12,22414).

Além do tempo gasto para realizar as tarefas, também foi armazenada a quantidade de movimentos realizados pela mão do sujeito com a luva para conseguir selecionar a peça (ou cliques no vazio quando o dispositivo era o *mouse*). Nota-se que nos testes com inclinação do tabuleiro em 60 graus, os sujeitos tiveram maior dificuldade na seleção das peças, pois a quantidade de movimentos realizados pela mão dos sujeitos com a luva e, também os cliques no vazio feitos com o *mouse* para conseguir selecionar as peças, foram superiores com a inclinação em 0 graus (tabela 4.3). A partir destes dados, conclui-se que os sujeitos tiveram maior dificuldade em posicionar a mão ou o *mouse* corretamente em cima da peça para selecioná-la, na inclinação do tabuleiro em 60 graus. Conclui-se que, mesmo com a visão tridimensional das peças, nas tarefas de seleção, a noção de profundidade com o tabuleiro inclinado a 60 graus, ficou comprometida.

TABELA 4.3- Somatório dos movimentos realizados com a mão do sujeito para selecionar a peça, conforme a inclinação do tabuleiro.

	<b>LUVA</b>		<b>MOUSE</b>	
	<b>60 graus</b>	<b>0 graus</b>	<b>60 graus</b>	<b>0 graus</b>
Seleção fundo	90	27	28	0
Seleção lateral	47	11	6	2

Em se tratando dos tempos de manipulação, a preferência dos sujeitos pela inclinação em 60 graus foi observada nos resultados. Os usuários tiveram um desempenho melhor com o tabuleiro orientado a 60° no caso de movimentação horizontal/vertical e não foram influenciados pela inclinação do tabuleiro na movimentação em profundidade. A tabela 4.4 apresenta as médias observadas para este caso.

TABELA 4.4- Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de manipulação conforme a inclinação do tabuleiro.

<b>Manipulação</b>		
	<b>Média Movimentos laterais</b>	<b>Média Movimentos em profundidade</b>
Sem inclinação (0 graus)	4,666667	5,712644
Inclinado em 60 graus	3,471264	5,37931

Aplicando-se o teste ANOVA, com 5% de significância, conclui-se que não há diferença quando a manipulação envolve movimentação em profundidade. Quando a manipulação envolve movimentos horizontais e verticais, observou-se que o F obtido (8,494305) é maior que o F crítico (3,868479) e, portanto, existe diferença significativa entre as inclinações em 0 e em 60 graus. Conclui-se que os sujeitos tiveram um melhor desempenho com inclinação de 60 graus na manipulação de movimentos na horizontal e/ou vertical, pois a média com inclinação de 60 graus (3,471264) é menor do que a média sem inclinação (4,666667).

Também foi armazenada a quantidade de peças manipuladas erradas, tanto para os movimentos em profundidade, como para os movimentos laterais (tabela 4.5), conforme a inclinação do tabuleiro (60 graus e 0 graus). Nesta tabela, observa-se que a manipulação lateral das peças, tanto com o mouse como com a luva, apresentou menor quantidade de manipulações incorretas (movimentos no vazio com a luva e cliques no vazio com o mouse) ao comparar com a manipulação em profundidade. Ou seja, o usuário apresentou maior dificuldade com manipulações em profundidade, inclusive com o tabuleiro sem inclinação (0 graus).

TABELA 4.5- Somatório da quantidade de manipulações erradas, conforme a inclinação do tabuleiro

	LUVA		MOUSE	
	60 graus	0 graus	60 graus	0 graus
Manipulação fundo	15	12	13	7
Manipulação lateral	4	8	2	2

## 2. O feedback visual afeta o desempenho dos usuários na seleção e manipulação das peças.

Nos questionários pós-testes, observou-se que os sujeitos responderam que o *feedback* ajuda  muito  quando a técnica utilizada é a *ray-casting* (26 pessoas, ou 90%, com inclinação em 0 graus e, 27 pessoas, ou 96%, com a inclinação em 60 graus). Eles também afirmaram que o *feedback* também ajuda  muito , embora com menos intensidade, quando a técnica utilizada é a mão virtual (17 pessoas, ou 59%, com inclinação em 0 graus e, 25 pessoas, ou 87%, com inclinação em 60 graus). Quando o dispositivo é o *mouse*, também houve uma parcela significativa de sujeitos que afirmaram que o *feedback* ajuda muito (15 pessoas, ou 52%, com inclinação de 60 graus e 11 pessoas, ou 38%, com inclinação em 0 graus).

Aplicando-se o teste ANOVA para as tarefas de seleção, não foi observada diferença no desempenho dos sujeitos com e sem *feedback* visual.

TABELA 4.6- Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de seleção com e sem *feedback* visual.

	Seleção	
	Média Movimentos laterais	Média Movimentos em profundidade
Sem <i>feedback</i>	6,66092	9,551724
Com <i>feedback</i>	6,367816	8,971264

Na manipulação com movimentos em profundidade, aplicando-se ANOVA com 5% de significância, observou-se que existe diferença no desempenho dos sujeitos ao realizarem tarefas com e sem *feedback* (F obtido 4,136891 é maior que o F crítico de 3,868479). Os sujeitos tiveram melhor desempenho na ausência de *feedback*, pois a média sem *feedback* (5,114943) é menor do que com *feedback* (5,977011). Este

resultado mostra que, mesmo existindo *feedback* visual, este fato não melhora o desempenho do sujeito. O que existe é um aumento na percepção do sujeito ao realizar as tarefas com *feedback* visual.

Na manipulação com movimentos laterais (esquerda/direita), não existe diferença significativa.

TABELA 4.7- Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de manipulação com e sem *feedback* visual

	<b>Manipulação</b>	
	<b>Média Movimentos laterais</b>	<b>Média Movimentos em profundidade</b>
<i>Sem feedback</i>	3,982759	5,114943
<i>Com feedback</i>	4,155172	5,977011

Conclui-se que, embora a maioria dos sujeitos tenha afirmado que o *feedback* visual auxiliou na realização das tarefas, isto não é comprovado pelos resultados obtidos.

### 3. A técnica de interação preferida ao utilizar a luva será a mão virtual.

Para responder às questões referentes a eficiência da técnica, bem como ao conforto e a facilidade de uso, os sujeitos atribuíam um valor dentro de uma escala de 1 a 5. Quando o valor 5 é atribuído, significa que a técnica é muito eficiente, muito confortável ou muito fácil de usar; diferentemente do valor 1, que significa justamente o oposto.

Nos questionários pós-testes, os sujeitos afirmaram que a mão virtual é eficiente ou muito eficiente (90%, ou 27 pessoas, com inclinação 0 graus e 23 pessoas, ou 80%, com inclinação em 60 graus). Já a técnica *ray-casting*, para as tarefas de seleção, teve uma classificação entre “média” e “baixa” na questão sobre eficiência da técnica (62%, ou 18 pessoas, a classificaram como média ou baixa com inclinação em 0 graus e 66%, ou 19 pessoas, também a classificaram como média ou baixa com inclinação em 60 graus).

Os resultados obtidos com os tempos gastos pelos usuários nas tarefas de seleção (tabela 4.8), mostraram que a técnica mão virtual é melhor do que *ray-casting*. Na tarefa de seleção com movimentos em profundidade, o F obtido (17,77497) é maior do que o F crítico (3,882207), ou seja, existe diferença significativa com 5% de significância. A mão virtual é melhor neste caso (seleção com movimentos em profundidade) pois a média da técnica da mão (9,068966) é menor do que a média da técnica *ray-casting* (14,49138). O mesmo pode ser observado nas tarefas de seleção com movimentos laterais, cujo F obtido (7,19511) é maior do que o F crítico (3,882207). Ou seja, a mão virtual também é melhor neste caso, pois a média sua média (6,568966) é menor do que a média da técnica *ray-casting* (8,810345).

TABELA 4.8- Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de seleção com as técnicas mão virtual e *ray-casting*.

	<b>Seleção</b>	
	<b>Média Movimentos laterais</b>	<b>Média Movimentos em profundidade</b>
Mão virtual	6,568966	9,068966
<i>Ray-casting</i>	8,810345	14,49138

Nos questionários pós-testes, nota-se também que para as tarefas de manipulação de peças à esquerda ou à direita, existe maior preferência pela mão virtual. Os sujeitos afirmaram que esta técnica é eficiente ou muito eficiente (26 pessoas, ou 90%, com inclinação em 0 graus e, 24 pessoas, ou 83%, com inclinação em 60 graus). Mas a técnica *ray-casting* também foi apreciada, embora com menos intensidade: foi classificada entre “eficiente” ou “média” (18 pessoas, ou 62%, com inclinação em 0 graus e, 29 pessoas, ou 69%, com inclinação em 60 graus). Apesar da preferência dos sujeitos pela mão virtual, os resultados obtidos sobre o desempenho ao realizarem tarefas de manipulação com movimentos laterais mostram que não existe diferença entre as técnicas mão virtual e *ray-casting*.

Para as tarefas de manipulação de peças para o fundo do tabuleiro, também houve preferência pela mão virtual (86%, ou 25 pessoas, a classificaram como eficiente tanto nas inclinações de 0 graus como na de 60 graus). A técnica *ray-casting* obteve uma classificação mediana, embora com inclinação em 0 graus ela tenha obtido uma preferência levemente maior (69%, ou 20 pessoas, a classificaram com eficiência média com inclinação em 60 graus e, com inclinação em 0 graus, 19 pessoas, ou 66%, a classificaram como média ou eficiente). Os resultados obtidos com o tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de manipulação com movimentos em profundidade (tabela 4.9), mostram que existe diferença entre as técnicas e que a técnica mão virtual é melhor do que a técnica *ray-casting* para estes casos. Existe diferença pois o F obtido (7,207728) é maior do que o F crítico (3,882207). Conclui-se que a mão virtual é melhor, pois obteve uma média inferior (5,775862) do que a técnica *ray-casting* (7,25).

TABELA 4.9- Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de manipulação com as técnicas mão virtual e *ray-casting*.

	<b>Manipulação</b>	
	<b>Média Movimentos laterais</b>	<b>Média Movimentos em profundidade</b>
Mão virtual	4,853448	5,775862
<i>Ray-casting</i>	4,681034	7,25

A verificação da terceira hipótese confirmou-se para os casos de seleção e manipulação com movimentação em profundidade. Segundo Poupyrev [POU 98a], a técnica *ray-casting* apresenta um desempenho pobre para operações que exigem alteração na distância entre objeto e usuário. Na movimentação horizontal, os usuários tem desempenho semelhante tanto com mão virtual como com *ray-casting*. Portanto, o melhor desempenho da mão virtual para os movimentos em profundidade confirma a observação de Poupyrev.

Quanto a facilidade de uso, nos questionários pós-testes, nota-se também a preferência pela mão virtual. 26 pessoas (90%) afirmaram que é fácil ou muito fácil utilizar a mão com inclinação em 0 graus e, 27 pessoas (93%) afirmaram também que é fácil ou muito fácil utilizá-la com inclinação em 60 graus. A técnica *ray-casting* obteve uma classificação mediana quanto a facilidade de uso (19 pessoas, ou 66%, a classificaram como média ou baixa com inclinação em 0 graus e, 18 pessoas, ou 62%, também classificaram a facilidade de uso da técnica como média ou baixa com inclinação em 60 graus).

Na literatura, é citado que a utilização de determinadas técnicas causam enjôo ou náuseas, principalmente em tarefas de navegação. Esta questão foi apresentada no questionário pós-teste, mas observou-se que nenhum sujeito apresentou qualquer desconforto durante os testes. Também com relação a esta pergunta, observou-se que

todos os sujeitos afirmaram que tanto a técnica mão virtual, quanto a técnica *ray-casting*, foram confortáveis ou muito confortáveis (93%, ou 27 pessoas, com inclinações de 60 e 0 graus para a mão virtual e, para a técnica *ray-casting*, 23 pessoas, ou 79% com inclinação em 0 graus e 26 pessoas, ou 90%, com inclinação em 60 graus).

#### 4. O dispositivo com maior preferência para utilização é o mouse.

Nos questionários pós-testes, 18 pessoas, ou seja, 62% afirmaram preferir o *mouse*. Três pessoas, ou seja, 10% dos sujeitos preferiram a luva e oito pessoas (28%) disseram que gostaram de ambos.

Como se esperava, a quarta hipótese se confirmou tanto na avaliação subjetiva como nos tempos médios de seleção e manipulação. O uso do *mouse* permitiu aos usuários tempos significativamente menores que aqueles obtidos com luva.

Na seleção com movimentos em profundidade, o F obtido (106,6225) é maior do que o F crítico (3,882207). Conclui-se que o *mouse* obteve um melhor desempenho, pois a média do *mouse* (4,224138) é menor do que a média da luva (16,0431), como ilustrado na tabela 4.10. Na seleção com movimentos laterais, o F obtido (29,0509) é maior do que o F crítico (3,882207) e tem-se a mesma conclusão pois a média do *mouse* (4,163793) é menor do que a média da luva (8,594828).

TABELA 4.10- Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de seleção conforme o dispositivo utilizado (luva ou *mouse*).

<b>Seleção</b>		
	<b>Média Movimentos laterais</b>	<b>Média Movimentos em profundidade</b>
<i>Mouse</i>	4,163793	4,224138
Luva	8,594828	16,0431

Na manipulação com movimentos em profundidade, o F obtido (49,60185) é maior do que o F crítico (3,87395). Conclui-se que o *mouse* obteve um melhor desempenho, pois a média do *mouse* (3,612069) é menor do que a média da luva (6,195402). Na manipulação com movimentos laterais, o F obtido (16,37806) é maior do que o F crítico (3,882207) e tem-se a mesma conclusão pois a média do *mouse* (2,672414) é menor do que a média da luva (4). A tabela 4.11 mostra estas médias.

TABELA 4.11- Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de manipulação conforme o dispositivo utilizado (luva ou *mouse*).

<b>Manipulação</b>		
	<b>Média Movimentos laterais</b>	<b>Média Movimentos em profundidade</b>
<i>Mouse</i>	2,672414	3,612069
Luva	4	6,195402

Para responder às questões referentes ao conforto e a facilidade de uso, os sujeitos atribuíam um valor dentro de uma escala de 1 a 5. Quando o valor 5 é atribuído a um dispositivo, significa que este é muito confortável ou muito fácil de usar, diferentemente do valor 1, que significa justamente o oposto.

Os sujeitos responderam que o *mouse* é mais confortável para usar do que a luva (23 pessoas, ou 80%, afirmaram que o *mouse* é muito confortável e 16 pessoas, ou 55%, afirmaram que a luva tem um conforto considerado “médio”). O *mouse* também é considerado mais fácil para usar do que a luva (o *mouse* é considerado muito fácil de

usar por 24 pessoas, ou seja 83% e, a luva é classificada entre “média” e “fácil” por 20 pessoas, ou seja, 69%).

**5. O usuário obterá um desempenho melhor ao utilizar a técnica ray-casting quando a inclinação do tabuleiro estiver em 0°.**

Nos questionários pós-testes, observou-se que, pelas respostas dos sujeitos, não existe preferência entre utilizar a técnica *ray-casting* com inclinação em 0 graus e em 60 graus. Existe preferência quanto a técnica utilizada (*ray-casting* e mão virtual), mas não quanto a inclinação ao utilizar a técnica *ray-casting*.

Segundo a resposta dos sujeitos nos questionários pós-testes, referente a questão sobre eficiência da técnica *ray-casting* para as tarefas de seleção, observou-se o seguinte: 18 pessoas (62% ) a classificaram como média ou baixa com inclinação em 0 graus e, 19 pessoas (66%) também a classificaram como média ou baixa com inclinação de 60 graus.

As respostas dos sujeitos mostraram que esta técnica (*ray-casting*) foi apreciada nas tarefas de manipulação à esquerda ou à direita: eles a classificaram entre “eficiente” ou “média” (18 pessoas, ou 62%, com inclinação em 0 graus e, 29 pessoas, ou 69%, com inclinação em 60 graus). Já nas tarefas de manipulação de peças no fundo do tabuleiro, com inclinação em 0 graus, a técnica *ray-casting* foi classificada como mediana (69%, ou 20 pessoas, a classificaram com eficiência média com inclinação em 60 graus e, com inclinação em 0 graus, 19 pessoas, ou 66%, a classificaram como mediana).

Com relação aos resultados obtidos com o teste ANOVA, observou-se que nas tarefas de seleção com movimentos em profundidade, existe diferença entre as inclinações utilizando-se a técnica *ray-casting* (F obtido 31,35243 é maior do que o F crítico 3,924328). Os sujeitos tiveram melhor desempenho quando a inclinação do tabuleiro está em 0 graus ao utilizarem a técnica *ray-casting*, pois a média com inclinação de 0 graus (9,051724) é menor do que a média com inclinação em 60 graus (19,93103), ilustrado na tabela 4.12. Mesmo resultado pode ser observado com a seleção com movimentos laterais: o F obtido (7,718484) é maior do que o F crítico (3,924328); ou seja, a inclinação com 0 graus é melhor pois teve um menor tempo médio (7,327586) ao ser comparado com o tempo médio com inclinação em 60 graus (10,2931).

TABELA 4.12- Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de seleção utilizando luva e *ray-casting*.

	Seleção	
	Média Movimentos laterais	Média Movimentos em profundidade
<i>Ray-casting</i> com incl. 0 graus	7,327586	9,051724
<i>Ray-casting</i> com incl. 60 graus	10,2931	19,93103

Com relação a quantidade de movimentos que os sujeitos tiveram que realizar para conseguir posicionar corretamente o raio na seleção da peça desejada com a mão, ao utilizar a luva, observou-se que com a inclinação em 60 graus os sujeitos tiveram maior dificuldade do que com a inclinação em 0 graus (ver tabela 4.13).

TABELA 4.13- Somatório da quantidade de movimentos realizados pela mão dos sujeitos para conseguir selecionar a peça, utilizando luva e *ray-casting*.

	LUVA	
	60 graus	0 graus
Seleção fundo	39	21
Seleção lateral	35	7

Com os resultados obtidos nas tarefas de manipulação, também com o teste ANOVA, nota-se uma situação oposta. Na manipulação com movimentos laterais, observou-se que a inclinação de 60 graus apresentou melhor resultado ao ser comparada com a inclinação em 0 graus. O F obtido (4,754579) é maior do que o F crítico (3,924328) e, portanto, existe diferença entre as inclinações. O tempo médio com inclinação em 60 graus (4,155172) é melhor pois é menor do que o tempo médio com inclinação em 0 graus (5,206897) (ver tabela 4.14).

Os resultados da manipulação com movimentos em profundidade mostram que não existe diferença entre as inclinações 0 e 60 graus ao utilizar a técnica *ray-casting*. F obtido (0,222194) é menor do que o F crítico (3,924328).

TABELA 4.14- Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem as tarefas de manipulação utilizando luva e *ray-casting*.

Manipulação		
	Média Movimentos laterais	Média Movimentos em profundidade
<i>Ray-casting</i> com incl. 0 graus	5,206897	7,465517
<i>Ray-casting</i> com incl. 60 graus	4,155172	7,034483

Para as tarefas de manipulação, foram armazenados no arquivo de *log*, o tempo gasto pelo sujeito para realizar com sucesso a tarefa e, também, a quantidade de manipulações incorretas (deslocamento da peça para um lugar errado). Ver tabela 4.15.

TABELA 4.15- Somatório da quantidade de manipulações erradas utilizando luva e *ray-casting*.

	LUVA	
	60 graus	0 graus
Manipulação fundo	10	8
Manipulação lateral	1	3

Portanto, a última hipótese se confirmou em todas as tarefas de seleção, sendo os tempos médios significativamente menores que aqueles tomados com o tabuleiro a 60°. Quando observados os resultados relativos aos tempos de manipulação, entretanto, apenas na movimentação horizontal as diferenças são significativas em favor da ausência de inclinação. Ou seja, não há diferenças na movimentação em profundidade. Deve-se ressaltar, contudo, que esse resultado não contradiz aquele relativo à terceira hipótese, porque na configuração de tabuleiro sem inclinação, movimentos em profundidade são obtidos com movimentos verticais da mão virtual.

## 4.6 Conclusão do experimento

A aplicação xadrez virtual exige que o usuário realize movimentos com precisão, uma vez que existem várias peças no tabuleiro. Dos experimentos apresentados em trabalhos anteriores, percebe-se a preocupação na seleção e manipulação de objetos



remotos [BOW 97b] e manipulações envolvendo, no máximo, 9 objetos [BOW 99a] no ambiente virtual. O xadrez virtual é composto por 32 peças, embora algumas delas tenham sido retiradas para evitar confusão para o usuário quando da solicitação de seleção e movimentação de determinadas peças. As peças retiradas foram dois cavalos (um bege e outro preto), dois bispos (um preto e um bege) e duas torres (uma bege e outra preta). Outra característica deste experimento é que os objetos estão bem próximos ao sujeito.

O experimento de avaliação aqui relatado foi realizado com estudantes e professores de Computação, sem nenhuma familiaridade na utilização de dispositivos de RV. Os resultados analisados são relativos ao tempo gasto na realização das tarefas, a quantidade de peças selecionadas erradas, a quantidade de movimentos com a mão que o sujeito realizou para conseguir selecionar a peça desejada e, também a quantidade de manipulações erradas. Além da análise destes resultados, foram também analisados os questionários pós-testes que os sujeitos responderam a fim de confrontar com os resultados obtidos.

Os resultados mostraram que a mão virtual é a técnica preferida e a mais fácil de usar, pois com ela os sujeitos obtiveram melhor desempenho. Deve ser considerado que a mão virtual é a melhor técnica quando os objetos estão bem próximos ao sujeito, inclusive para situações com grande quantidade de objetos como foi o caso deste experimento.

Com relação a inclinação, observou-se que a inclinação de 0 graus é a melhor para as tarefas de seleção, mas não para a manipulação. Apenas nas tarefas de manipulação com movimentação lateral (esquerda e/ou direita) a inclinação de 60 graus obteve um melhor resultado. A técnica *ray-casting*, ao ser analisada independentemente da mão virtual, também obteve melhor desempenho nas tarefas de seleção com inclinação de 0 graus. Nas tarefas de manipulação com movimentação lateral, a técnica *ray-casting* obteve melhor desempenho com inclinação de 60 graus.

O *feedback* visual melhora a percepção do sujeito no momento da seleção dos objetos, mas não melhora o seu desempenho. Os resultados mostraram que o desempenho do sujeito independe do fato de existir ou não *feedback* visual, apesar dos sujeitos afirmarem o contrário.

Quanto ao dispositivo utilizado, o *mouse* comprovou ser o dispositivo preferido além de obter um desempenho muito superior ao ser comparado com a utilização da luva. Os sujeitos que participaram do experimento utilizam o *mouse* rotineiramente em seu dia-a-dia e, portanto, este resultado era esperado.



## 5 Avaliação experimental de dispositivos de RV em tarefas de navegação

Este capítulo apresenta uma avaliação experimental realizada com alguns equipamentos distintos: *data glove* e capacete para navegação em um ambiente imersivo e, *mouse* e óculos de cristal líquido (*shutter glasses*) para percorrer o trajeto proposto em um ambiente semi-imersivo, portanto. Neste trabalho, esta aplicação foi intitulada da seguinte forma: “elevador panorâmico virtual”.

### 5.1 A aplicação

O ambiente é composto por um edifício contendo um elevador panorâmico, um corredor de entrada e vários corredores de saída (figura 5.1).

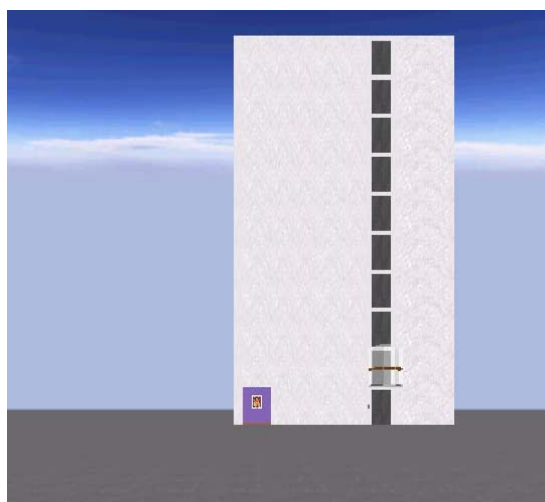


FIGURA 5.1- O ambiente

O ambiente contendo o elevador panorâmico virtual foi idealizado num projeto anterior a este, que foi construído com a linguagem VRML (Virtual Reality Modeling Language). O objetivo do projeto foi o emprego da Realidade Virtual no tratamento de fobia de altura [JAC 2000, JAC 2001]. Para realizar a avaliação no presente trabalho, foi idealizado o mesmo ambiente, mas implementado na linguagem C++ utilizando-se OpenGL para as funções gráficas.

O elevador panorâmico é composto por um piso plano (piso do elevador), paredes transparentes (vidros), portas que se abrem e fecham automaticamente e o painel do elevador (figura 5.2a). O usuário, primeiramente, deve percorrer o corredor até conseguir encontrar o elevador. O corredor foi implementado em duas versões: numa delas, o corredor não possui nenhum objeto, apenas as paredes. Numa segunda versão, o corredor possui diversos objetos (quadros) dispostos nas paredes ao longo do caminho (figura 5.2b).

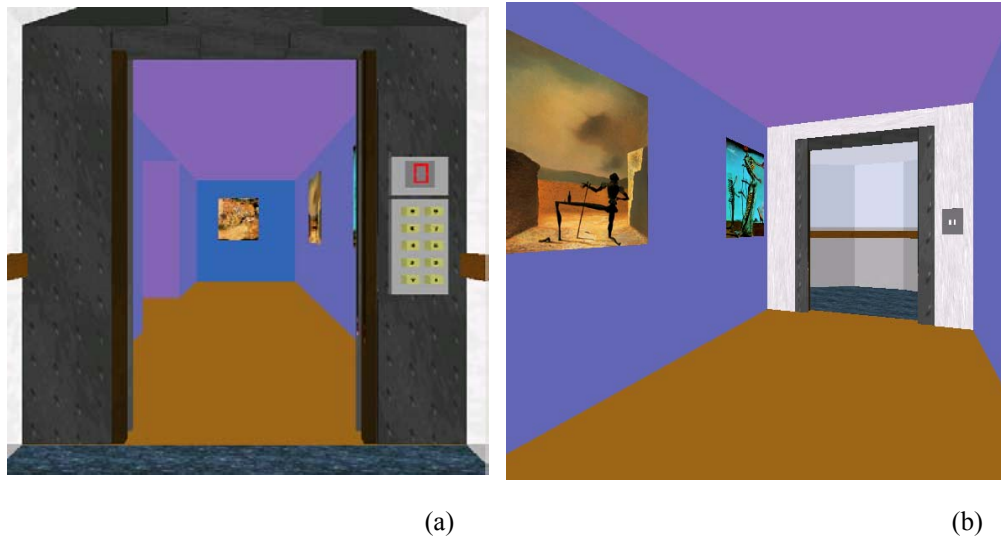


FIGURA 5.2- (a) Visão do corredor de dentro do elevador e (b) visão do elevador a partir do corredor de entrada.

No corredor de entrada existe uma bifurcação em que o sujeito deve escolher se vira para a direita ou para a esquerda. A escolha errada levará o sujeito para um beco sem saída, em que ele será obrigado a virar-se para retornar. Do outro lado tem-se o elevador (figura 5.2b).

Após a entrada do sujeito no elevador, as portas se fecham, e o sujeito e o elevador sofrem um deslocamento (subida do elevador). O tempo gasto para o elevador subir é proporcional ao andar escolhido (quanto mais alto o andar, maior o tempo). Ao chegar no nono andar, o elevador pára, e as portas se abrem automaticamente.



FIGURA 5.3- Corredor de saída do 9º andar visto de dentro do elevador.

Ao sair do elevador, tem-se o corredor de saída (idêntico do primeiro ao nono andar). Neste corredor também pode existir ou não, quadros nas paredes. No final do corredor, existe uma porta de saída. O sujeito deve se “chocar” com esta porta para finalizar o teste.

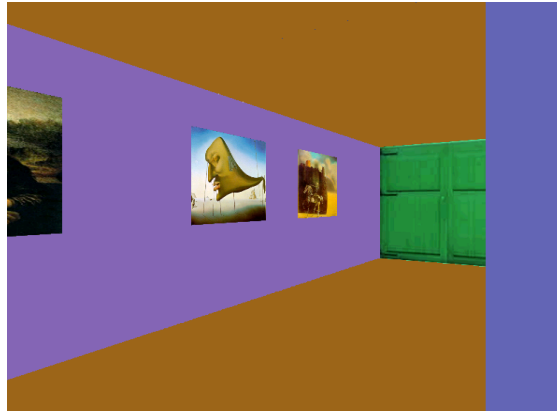


FIGURA 5.4- Porta de saída no final do corredor

O ambiente foi implementado com detecção de colisão, ou seja, o sujeito não consegue atravessar paredes e obstáculos. A detecção de colisão é primordial em ambientes virtuais que permitem o deslocamento do usuário pelo ambiente (navegação), pois neste caso, pode ocorrer que o usuário se concentre muito mais em não atravessar paredes ou objetos do que nas tarefas propriamente ditas. O esforço para retomar o caminho corretamente, pode provocar uma sobrecarga cognitiva para o usuário [BOW 98].

A figura 5.5a ilustra o esquema da planta baixa do edifício com o corredor de entrada (no térreo) e, a figura 5.5b, o corredor de saída. O corredor de saída apresenta o mesmo trajeto do primeiro ao nono andar do edifício.

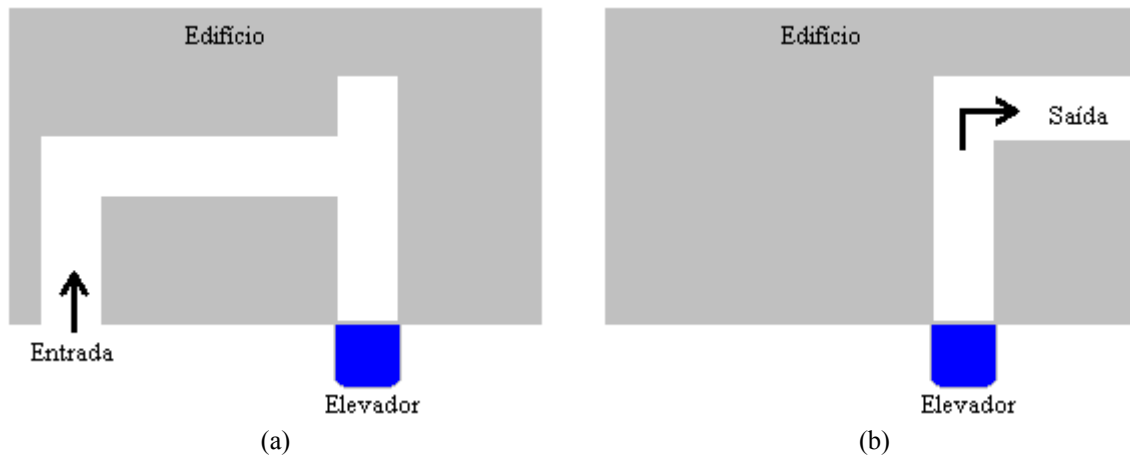


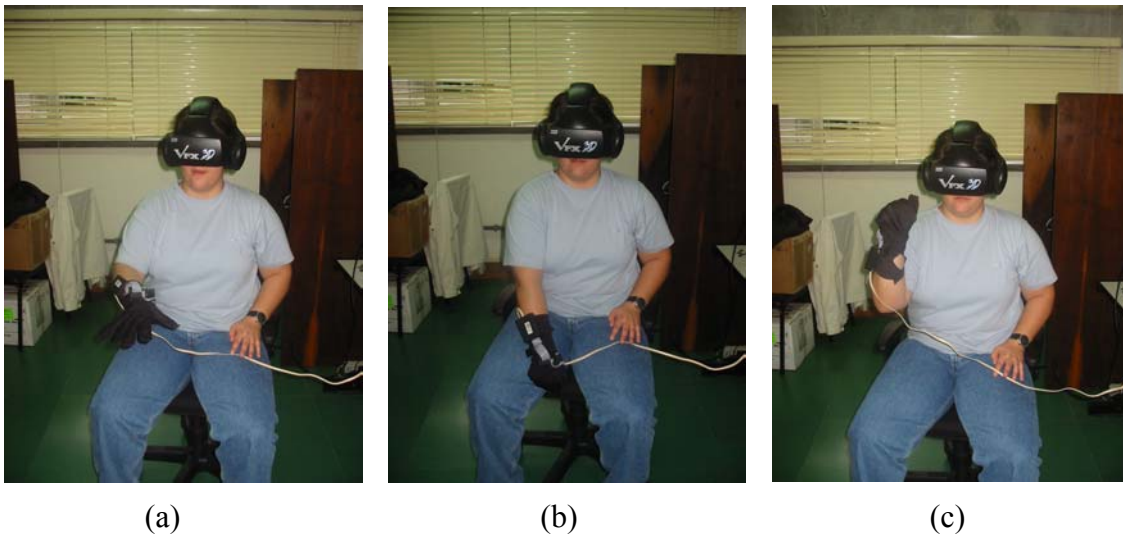
FIGURA 5.5- Esquema da planta baixa do edifício (a) corredor de entrada e (b) corredor de saída.

## 5.2 Dispositivos e plataforma computacional utilizados

Conforme mencionado anteriormente, o desempenho do usuário é dependente dos dispositivos de entrada e saída utilizados em uma aplicação [MAC 95, POU 97]. Ao se comparar resultados de desempenho dos usuários em uma aplicação, devem ser considerados atributos como: graus de liberdade, resolução, campo de visão, profundidade máxima suportada, entre outros.

Na implementação deste experimento, foram utilizados 4 dispositivos diferentes. São eles: *mouse*, luva (*data-glove*), capacete (HMD) e óculos de cristal líquido. A utilização do capacete (HMD) associado à luva, permitiu a sensação de imersão do sujeito no ambiente. Também foram realizados testes com a utilização dos óculos associado ao *mouse*, garantindo-se o que se costuma chamar de imersão parcial, ou ainda, semi imersão.

A exemplo do experimento relatado no capítulo 4, foi utilizada uma *data-glove* (luva) modelo 5DT *Data Glove 5* (Figura 4.3a). A luva foi utilizada na tarefa de deslocamento pelo ambiente. A tarefa de navegação (caminhar para frente e para trás) foi implementada através do reconhecimento do gesto de mão fechada (figura 5.6b e 5.6c), enquanto que o gesto de abrir a mão fazia com que o sujeito parasse imediatamente (figura 5.6a). Com relação a mão fechada, o usuário podia realizar dois movimentos distintos: mão fechada para cima (com o braço curvado próximo ao ombro), o usuário andava para trás e, mão fechada para baixo (braço esticado) o usuário andava para frente. Aliás, para realizar estes movimentos (andar para frente e para trás), não há necessidade de movimentos bruscos, ou seja, bastam pequenas inclinações (*pitch*) com o braço para conseguir o movimento desejado.



FIGURAS 5.6- Movimentos com a *data-glove* para deslocamento do usuário no ambiente. (a) mão aberta: parada. (b) Mão fechada para baixo: o usuário se desloca para frente. (c) Mão fechada para cima: deslocamento para trás.

Para a visualização do ambiente virtual imersivo (com imagens estereoscópicas), foi utilizado um capacete HMD VFX3D da *Interactive Imaging System* (figura 5.7). Apesar do capacete possuir sistema de orientação virtual para *yaw* (giro da cabeça à esquerda e direita), *pitch* (giro para cima e para baixo) e *roll* (inclinação à esquerda e à direita), foram implementadas apenas as orientações *yaw* e *pitch*. A orientação *yaw* foi fundamental para o sujeito navegar, pois ele precisava ver o que existia à esquerda ou à direita, para decidir através de que lado do corredor pretendia prosseguir. A orientação *pitch* também se fez necessária, pois o sujeito poderia desejar olhar através do vidro transparente do elevador panorâmico, ao subir para o nono andar. A orientação *roll* não foi considerada necessária para este experimento.

É importante destacar que na aplicação realizada com a luva e o capacete, os movimentos para deslocar o sujeito para frente ou para trás (realizados com o auxílio da luva) podiam ser realizados, simultaneamente, com os movimentos de rotação (giros à esquerda ou à direita). Por exemplo, ao mesmo tempo em que o sujeito se deslocava para frente (movimento guiado pela luva), ele também podia girar à esquerda ou à direita (movimento guiado pelo capacete).

A seguir tem-se as características do capacete VFX3D (<http://www.iisvr.com>):

## Vídeo

LCD: resolução = 360k pixels por olho (263x480x3)  
 No modo estéreo diminui a resolução pela metade (263x480x3)  
 Não suporta modo estéreo para sinais de entrada acima de 640x480  
 Cores: 16 bits  
 Campo de Visão: 35°

## VOS ( Virtual Orientation System ) Tracking

yaw (giro esq/dir): 360°, sensibilidade +/- 0,1° (12 bit)  
 pitch (giro cima/baixo): +/- 70°, sensibilidade +/- ~0,1° (12 bit)  
 roll (inclinação esq/dir): +/- 70°, sensibilidade +/- ~0,1° (12 bit)

## Áudio:

Headphones de alta qualidade



FIGURA 5.7- HMD VFX3D (IIS, inc.)

Nos testes com imersão parcial, foi utilizado o *mouse* e óculos de cristal líquido. A utilização dos óculos de cristal líquido - H3D Glasses (figura 4.4) com imagens estereoscópicas, permitiu a visualização do ambiente em três dimensões.

O *mouse* foi utilizado para deslocar o sujeito pelo ambiente. O botão esquerdo permite o deslocamento para frente e para trás, enquanto que o botão direito permite a rotação do sujeito (giro à esquerda ou à direita). Os movimentos para frente ou para trás não podiam ser realizados, simultaneamente, com os movimentos de rotação (giros à esquerda ou à direita). Para realizar movimentos de translação utiliza-se o botão esquerdo, e para rotação o botão direito; sendo permitido apenas um movimento de cada vez.

Para a realização dos experimentos foi utilizado um computador com processador Pentium 4, 256 MB de memória RAM, placa aceleradora gráfica GeForce2 (nVidia) e sistema operacional Windows 2000. A aplicação foi desenvolvida na linguagem C++, utilizando-se a API OpenGL para as funções gráficas.

### 5.3 Técnicas de interação utilizadas

A técnica de interação utilizada para realizar a tarefa de navegação através do ambiente ao utilizar o capacete, foi a técnica de pilotagem direcionada pelo olhar. Esta técnica permite que o sujeito mude a direção do seu deslocamento bastando apenas girar sua cabeça (e consequentemente os seus olhos) na direção desejada. A técnica de interação utilizada com o mouse também foi a de pilotagem, mas por apontamento.

### 5.4 Avaliação das técnicas de interação

Com base nos métodos de avaliação de interfaces empregados na área de IHC [DIX 97] e em experiências para avaliação de técnicas de interação em ambientes

virtuais [BOW 99a, POU 98a], foi definida a metodologia a ser seguida para a avaliação em questão.

#### **5.4.1 As hipóteses e as variáveis independentes e dependentes**

Foram estabelecidas duas hipóteses e determinadas as variáveis independentes e dependentes. As hipóteses são as seguintes:

##### ***1. Os equipamentos preferenciais para se deslocar pelo ambiente, serão a luva e o capacete.***

O *mouse* é utilizado pela grande maioria dos usuários de computadores. Trata-se de um equipamento convencional, que os usuários já estão acostumados a utilizar rotineiramente. Situação oposta tem-se com a luva, ou seja, poucas pessoas tiveram a oportunidade de experimentá-la. No entanto, neste experimento, a utilização do *mouse* e dos óculos apresenta uma desvantagem em relação a luva e o capacete. Por exemplo, para o usuário se deslocar para frente ou para trás, ele deve clicar o botão esquerdo do *mouse*. Se ele deseja realizar movimentos de rotação (giros) ele utiliza o botão direito. O grande problema é que ele não pode usar os dois botões do *mouse* simultaneamente. A mesma situação não ocorre quando os equipamentos são a luva e o capacete. Ao mesmo tempo que o sujeito se desloca para frente (gesto de mão fechada com a luva), ele olha na direção desejada (movimento de rotação através do capacete). Desta forma, espera-se que o sujeito dê preferência pela luva e o capacete, em detrimento do uso do *mouse* e óculos.

##### ***2. O fato de existir objetos familiares no corredor, tais como quadros e portas, ajudará o usuário a se orientar nas eventuais colisões com as paredes dos corredores.***

A principal dificuldade em tarefas de navegação é a desorientação do usuário. Segundo Smith e Marsch [SMI 2001a, 2001b], a desorientação ocorre quando o usuário fica muito próximo de objetos, e estes preenchem o seu campo de visão. Um exemplo ocorre quando o sujeito colide com uma parede: ele fica sem saber sua próxima ação, pois não tem uma dica visual para ajudá-lo. Para contornar este problema, Smith e Marsch [SMI 2001a, 2001b] propõem a construção de ambientes propícios para reduzir a desorientação do usuário. Uma das propostas é a exibição parcial de objetos no campo de visão do usuário. Assim, se o usuário colidir com uma parede que contenha quadros, mesmo que parcialmente exibidos, estes o ajudarão a não ficar desorientado. A parcialidade dos objetos mostrados fará com que o usuário perceba que lá existem, mesmo que parcialmente exibidos, outros objetos que estão fora do seu campo de visão. Desta forma, o usuário pode imaginar o espaço virtual que está fora do seu campo de visão, diminuindo assim a sua desorientação.

As *variáveis independentes* são aquelas características do experimento que são manipuladas para produzir diferentes condições para comparação. Na aplicação com o elevador panorâmico virtual, as variáveis independentes utilizadas para testar as hipóteses são:

- *existência ou não de objetos familiares no corredor.* Serão realizados dois tipos de testes. Num deles, os corredores do prédio não terão qualquer objeto, apenas e unicamente as cores irão distinguir teto, chão e paredes. Em outro teste, os corredores terão diversos quadros espalhados pelas paredes, principalmente nas curvas, onde existe maior probabilidade de colisão do usuário. Espera-se que a condição com os quadros, indique menor desorientação do usuário;



- *uso de equipamentos distintos para navegação.* O usuário realizará dois testes distintos. Um deles será com a utilização de capacete e luva e o outro, com o *mouse* e óculos de cristal líquido.

As *variáveis dependentes* são aquelas variáveis que são medidas. Elas podem ser objetivas como o tempo gasto para percorrer o corredor e o número de colisões do sujeito com as paredes; ou subjetivas, coletadas através de questionários pós-testes com os sujeitos voluntários. São as seguintes as variáveis medidas neste experimento:

- *tempo total.* Será cronometrado o tempo gasto pelo usuário para percorrer o corredor até chegar ao elevador;
- *quantidade de paradas.* Será realizada uma contagem do número de vezes que o sujeito parou no corredor;
- *tempo das paradas.* Será cronometrado o tempo gasto com as paradas no percurso;
- *tempo de navegação.* Trata-se do tempo total menos o tempo das paradas;
- *número de colisões.* Será feita uma contagem do número de vezes que o usuário se choca com as paredes do corredor. Assume-se que toda vez que o usuário se choca com a parede, ele está desorientado. Conforme a quantidade de colisões, verifica-se o grau de desorientação do mesmo;
- *sensação de desconforto.* Para verificar se o usuário sentiu náusea ou enjôo durante a navegação;
- *facilidade de uso.* Será questionado com quais equipamentos o usuário encontrou maior facilidade para realizar a tarefa de navegação;
- *preferência na utilização dos equipamentos.* Será questionado também quais equipamentos o usuário preferiu: se luva e capacete ou *mouse* e óculos;
- *visualização de imagens.* Embora um dos testes seja imersivo e o outro apenas semi-imersivo, deseja-se saber qual a opinião do sujeito quanto a forma de visualização: se ele preferiu com os óculos ou com o capacete.

#### 5.4.2 Experimento realizado

O experimento realizado constituiu-se na navegação do sujeito através de um corredor com caminhos alternativos, e que também conduzia até um elevador panorâmico virtual. Ao longo do experimento, foram contabilizados o tempo total gasto para realizar o movimento até o elevador, o tempo das paradas e de navegação, quantidade de colisões e quantidade de paradas durante o trajeto. Questionários de pós-teste foram também aplicados, para a coleta de medidas subjetivas. A seguir, descreve-se com mais detalhes o conjunto de usuários e os métodos empregados.

**Sujeitos.** Foram selecionados 26 sujeitos: 9 mulheres e 17 homens. Todos professores e/ou alunos de Computação, com idade variando de 19 a 33 anos (a média foi 25 anos). Dos 26 sujeitos, apenas um era canhoto (nas provas com o *mouse*, este sujeito utilizou a mão esquerda). Dezesete sujeitos (66%) afirmaram possuir um fraco conhecimento ou nenhum conhecimento de aplicativos 3D, 6 sujeitos (23%) afirmaram possuir um bom conhecimento e 3 sujeitos (12%) um ótimo conhecimento. Embora a maioria não conheça aplicativos 3D, observou-se que grande parte já tivera contato com visualização de imagens 3D, pois 9 sujeitos (35%) afirmaram ter ótimo conhecimento de jogos 3D e 9 sujeitos (35%) afirmaram ter bom conhecimento também de jogos 3D. Como era esperado, todos tinham ótimo conhecimento de equipamentos convencionais (*mouse* e teclado). Apenas 4 sujeitos (15%) afirmaram ter ótimos e bons conhecimentos de equipamentos de RV (luva, óculos, capacete e rastreador de posição).

**Tarefas do experimento.** Cada sujeito realizou um total de 4 provas, ou seja, percorreu o trajeto 4 vezes: do início do corredor até a porta de saída no nono andar. Duas provas foram realizadas com o *mouse* e os óculos (ambiente semi-imersivo) e, as outras duas, com a luva e o capacete (ambiente imersivo). No entanto, as duas provas realizadas com um mesmo equipamento tinham diferença, pois uma era realizada com os corredores contendo diversos quadros espalhados pelas paredes (figuras 5.8a e 5.8b) e, a outra, era realizada sem nenhum objeto de referência.

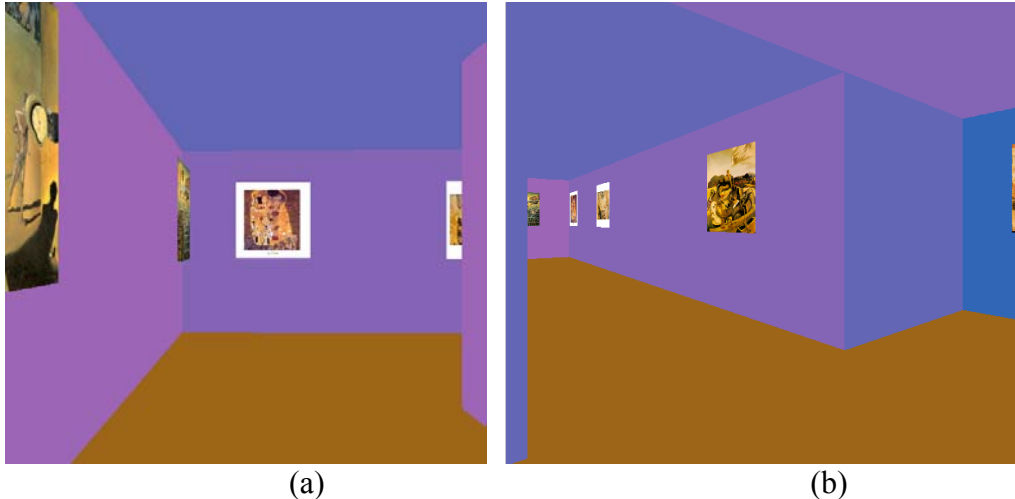


FIGURA 5.8- (a) Visão na entrada do corredor e (b) visão do corredor intermediário

**Métodos.** Os sujeitos tinham aproximadamente de 5 a 10 minutos de treinamento para aprender a navegar com os equipamentos (luva e capacete ou *mouse* e óculos). Era feito primeiramente uma pequena explanação sobre as possíveis formas de interação para realizar o seu deslocamento pelo ambiente. O sujeito deveria treinar sempre do lado de fora do edifício. Também lhe era dito o que era para ele fazer: percorrer o corredor, encontrar e entrar num elevador panorâmico. Aguardar a subida do elevador ao nono andar e, quando as portas abrissem, ele deveria sair pelo corredor e procurar uma porta verde (saída). Era explicado que ele deveria realizar os testes duas vezes com o mesmo equipamento: uma com quadros nas paredes e, a outra, sem. Não existia uma ordem fixa na realização dos testes (com relação aos dispositivos utilizados e quanto ao fato de existir ou não quadros nas paredes).

No momento em que o sujeito se dizia preparado para realizar a tarefa solicitada, o avaliador digitava uma opção no teclado que posicionava o sujeito em frente a entrada do corredor. O início da prova se dava no momento em que o sujeito iniciava o seu deslocamento, e o final se dava no instante em que ele cruzava a porta de entrada no elevador. Entre o início e o final, era cronometrado o tempo total gasto. Mas para sair do ambiente e encerrar a prova, o sujeito deveria se chocar com a porta verde de saída no nono andar (embora este tempo não tenha sido contabilizado no tempo da prova).

Toda vez que o sujeito colidia com as paredes era incrementada a contagem do número de colisões. Toda vez que ele parava em seu trajeto (gesto de fechar a mão com a luva ou soltar o botão do *mouse*) era incrementado o contador de paradas. Ao utilizar o *mouse*, o sujeito tinha que fazer uma parada toda vez que desejasse mudar o movimento de translação para rotação (ou vice-versa). Além de computar a quantidade de paradas, era cronometrado o tempo gasto em paradas. O tempo de navegação era calculado com o tempo total gasto menos o tempo de paradas.

Todos os tempos cronometrados e as quantidades de paradas e colisões eram gravados em arquivos de *log*. Além dos tempos e das quantidades, eram gravados

também o nome do sujeito, os equipamentos utilizados (luva e capacete ou óculos e *mouse*), bem como se a prova era com ou sem quadros nas paredes.

As figuras 5.9a e 5.9b ilustram dois sujeitos realizando os testes com os equipamentos descritos.



FIGURAS 5.9- Realização dos testes (a) com sujeito utilizando capacete e luva e (b) utilizando *mouse* e óculos.

## 5.5 Resultados obtidos

A discussão a seguir apresenta os resultados obtidos de acordo com as hipóteses levantadas.

### 1. Os equipamentos preferenciais para se deslocar pelo ambiente, serão a luva e o capacete.

Os sujeitos responderam sobre a sua preferência quanto aos equipamentos utilizados, no questionário pós-teste. Vinte sujeitos (77%) preferiram o capacete e a luva, 5 (19%) preferiram os óculos e o *mouse* e, apenas um sujeito (4%) gostou de ambos os equipamentos. A preferência pelo capacete e luva, segundo suas respostas, foi devido a maior facilidade de navegação (mais intuitivo e natural) e também porque obtiveram maior sensação de imersão e realismo no ambiente. Aqueles que preferiram o óculos e o *mouse*, responderam que a preferência foi devido a maior familiaridade com o equipamento convencional (*mouse*), maior precisão para deslocamento, além de ser menos cansativo.

Com relação a facilidade de uso, observou-se que 15 sujeitos (58%) afirmaram ser muito fácil a navegação com capacete e luva, 9 sujeitos (35%) acharam fácil e apenas dois (7%) opinaram que é médio o grau de facilidade/dificuldade. A navegação com o *mouse* e o óculos também foi considerada fácil pelos sujeitos, embora com aceitação menor do que a do capacete e a luva: 7 sujeitos (27%) acharam muito fácil, 6 sujeitos (23%) acharam fácil e 8 sujeitos (31%) classificaram como médio o grau de facilidade/dificuldade.

Quanto a visualização das imagens, 17 (65%) sujeitos afirmaram preferir o capacete, sendo que 11 deles justificaram esta preferência devido ao desconforto apresentado com o óculos em razão da frequência inadequada (efeito *flicker*) e 6 afirmaram preferir o capacete devido a sensação de imersão e realismo proporcionado pelas imagens. Sete sujeitos (27%) afirmaram preferir a visualização de imagens com o óculos, pois acharam que era mais nítido, com melhor resolução ou por que proporcionava maior sensação 3D (profundidade). Apenas 2 sujeitos (8%) afirmaram ter gostado igualmente de ambos os equipamentos para visualizar imagens: óculos e capacete.

Analisando os resultados obtidos com o tempo total gasto pelos sujeitos para percorrer todo o corredor até chegar ao elevador, observou-se que existe diferença significativa entre a utilização dos equipamentos com 5% de significância. O  $F$  obtido (106,5336) é maior que o  $F$  crítico (3,934247) e, portanto, rejeita-se  $H_0$  (hipótese da nulidade). Por apresentar uma menor média, o desempenho dos sujeitos ao utilizarem capacete e luva foi superior a utilização do *mouse* e óculos. A tabela 5.1 apresenta as médias observadas.

TABELA 5.1- Média do tempo gasto pelos sujeitos para realizarem a tarefa de navegação com os diferentes equipamentos disponíveis.

Navegação	
Equipamentos	Média Tempo Total Gasto
Luva e Capacete	32,23077
<i>Mouse</i> e Óculos	55,36538

Ao analisar o tempo de navegação dos sujeitos, obtêm-se também o mesmo resultado: o desempenho dos sujeitos com capacete e luva é superior ao desempenho obtido com o *mouse* e os óculos. O  $F$  obtido (91,42571) é maior que o  $F$  crítico (3,934247) e, portanto, existe diferença significativa entre os equipamentos analisados. A tabela 5.2 apresenta as médias obtidas com o tempo de navegação dos sujeitos.

TABELA 5.2- Média do tempo de navegação obtidos durante a navegação

Navegação	
Equipamentos	Média Tempo de Navegação
Luva e Capacete	22,71154
<i>Mouse</i> e Óculos	33,86538

Conclui-se que a hipótese levantada anteriormente estava correta: os sujeitos tiveram maior preferência pelo capacete e pela luva, seja pela facilidade de uso bem como pela maior sensação de imersão e realismo obtidos no ambiente. O desempenho dos sujeitos confirmou as suas afirmações.

## **2. O fato de existir objetos familiares no corredor, tais como quadros e portas, ajudará o usuário a se orientar nas eventuais colisões com as paredes dos corredores.**

No questionário pós-teste, 7 sujeitos (27%) responderam que os quadros ajudaram muito e 8 sujeitos (31%) responderam que os quadros ajudaram a “não se sentir perdido” e apenas 3 (11,5%) classificaram o grau de ajuda como mediano. Apenas 5 sujeitos (19%) responderam que não ajuda e 3 (11,5%) que ajuda pouco.

Os testes foram aplicados com e sem quadros alternadamente. Por exemplo, se o trajeto inicial a ser percorrido era iniciado com quadros, em seguida, o teste alternava para um trajeto sem quadros. O trajeto também era iniciado sem quadros.

Foi estipulado que toda vez que o usuário se chocava com uma parede, ele estava desorientado. Em relação a quantidade de colisões feitas pelos sujeitos, foram analisados dois tipos de testes, com e sem quadros. Observou-se que o  $F$  obtido (1,979984) é menor que o  $F$  crítico (3,934247), e portanto aceita-se  $H_0$ . Ao analisar a quantidade de colisões dos sujeitos, conclui-se que não há diferença entre os testes em que os corredores possuíam ou não quadros nas paredes. A tabela 5.3 apresenta as médias obtidas.

TABELA 5.3- Média da quantidade de colisões feitas pelos sujeitos durante a realização da tarefa de navegação.

<b>Navegação</b>	
<b>Testes</b>	<b>Média - Quantidade de Colisões</b>
Com Quadros	0,980769
Sem Quadros	1,557692

Esta hipótese não se confirmou neste experimento. No entanto, os dados aqui apresentados não permitem uma conclusão definitiva sobre esta questão. Existem alguns fatos relevantes que devem ser considerados. São eles:

- Como já foi colocado anteriormente, apenas 4 sujeitos (15%) afirmaram ter ótimos e bons conhecimentos de equipamentos de RV; ou seja, a maioria (85%) não tinha experiência com tais dispositivos. A dificuldade de navegação dos sujeitos foi perceptível para o avaliador. Desta forma, tem-se uma nova questão: a dificuldade maior enfrentada pelos usuários estava relacionada a desorientação ou a inexperiência dos sujeitos para realizar a tarefa de navegação com os equipamentos de RV?
- Conforme ilustrado nas figuras 5.5a e 5.5b, os corredores eram relativamente simples e curtos para serem percorridos. O sujeito percorria o mesmo trajeto quatro vezes (alternava-se os dispositivos e a existência ou não de quadros nas paredes). Apenas a primeira vez o caminho era uma novidade a ser descoberta. Este fato pode ter contribuído para que o sujeito não se sentisse desorientado e, portanto, não tenha sentido necessidade de localizadores (quadros nas paredes).

Estes fatos descritos acima não permitem uma conclusão definitiva apenas com os dados obtidos neste trabalho.

## 5.6 Conclusão do experimento

A construção deste ambiente trouxe uma preocupação: receio que os voluntários se sentissem desconfortáveis (com enjôo ou náuseas) durante o trajeto percorrido. Através do estudo dos relatos de experimentos para avaliar técnicas de interação, observou-se que este era um fato que sempre ocorria ao realizar testes com tarefas de navegação. Três sujeitos afirmaram sentir enjôo com visualização de imagens rápidas, mas nos questionários pós-testes, observou-se que apenas um deles realmente sentiu enjôo durante os testes. Cinco sujeitos relataram ter fobia de altura e/ou lugar fechado, mas apenas dois sujeitos afirmaram que sentiram medo com o ambiente fechado ao utilizar o capacete, embora tenham realizado os testes até o final. Talvez estes fatos ocorram com outras técnicas de interação, com ambientes mais realistas, com acréscimos de sons e também com experimentos mais longos.

O experimento de avaliação foi realizado com estudantes/professores de Computação. Dos 26 voluntários, apenas 4 possuíam familiaridade com equipamentos não-convencionais, diferentemente da maioria. Os resultados analisados são relativos ao tempo gasto na realização da tarefa de navegação, o tempo de navegação, tempo das paradas, quantidade de paradas e quantidade de colisões com as paredes do corredor. Além da análise destes resultados, foram também analisados os questionários pós-testes que os sujeitos responderam a fim de confrontar com os resultados obtidos.

Os resultados mostraram que a preferência dos sujeitos quanto ao dispositivo utilizado foi pelo capacete e pela luva. O desempenho dos sujeitos ao utilizarem estes equipamentos (capacete e luva) foi superior quando confrontados com o desempenho dos sujeitos ao utilizarem o *mouse* e os óculos. A maioria dos sujeitos relatou que o capacete e a luva foram os equipamentos mais fáceis de usar além de os preferirem para a visualização das imagens do ambiente.

Com relação a desorientação do usuário ao navegar pelo ambiente, este experimento estipulou que toda vez que o sujeito se chocava com uma parede, ele estava desorientado. Mas durante os testes, observou-se que as colisões talvez não fossem fruto da desorientação, mas sim da inexperiência dos usuários em utilizar dispositivos de RV para realizar as tarefas de navegação. Inexperiência na utilização dos equipamentos e conseqüentemente pouca habilidade com as técnicas interativas utilizadas. Desta forma, a segunda hipótese não pode ser confirmada.

## 6 CONCLUSÕES

### 6.1 Considerações finais

Neste trabalho foram apresentadas técnicas de interação para realização de tarefas de seleção e manipulação de objetos, e navegação do usuário em ambientes virtuais imersivos ou não. Buscou-se apresentar as diversas técnicas existentes na literatura, tendo-se concluído que não existe uma padronização definitiva quanto às metáforas e classificação das técnicas existentes. Bowman apresenta em seu trabalho [BOW 98, 99a] taxonomias que são produtos de uma análise das tarefas envolvidas nas tarefas de seleção e manipulação de objetos e navegação. Estas taxonomias ilustram a grande quantidade de opções para construção de novas técnicas de interação. Muitas técnicas podem e são criadas sem um padrão pré-estabelecido de classificação.

Na área de Interação Humano-Computador, inúmeros trabalhos relatam a avaliação de interfaces 2D. Existe um conjunto bem definido de métricas ou características através das quais é possível medir a qualidade da interação do usuário com interfaces bidimensionais, mas isto não acontece com ambientes tridimensionais. Vários experimentos citados neste trabalho, relatam o processo de avaliação de interfaces 3D em Realidade Virtual, mas não existe um consenso que estabeleça uma padronização entre estes processos. Desta forma, buscou-se integrar critérios de avaliação de interfaces 2D, com critérios utilizados por Bowman, Mine e Poupyrev em seus experimentos com interfaces 3D; e assim compor uma metodologia para avaliar técnicas de interação em ambientes virtuais. Esta metodologia une importantes aspectos de IHC para avaliar a usabilidade de interfaces, com características próprias de ambientes 3D. Nos experimentos realizados neste trabalho foi adotada esta metodologia.

Baseada na metodologia de avaliação de técnicas de interação adotada, foram desenvolvidas duas aplicações para realizar os experimentos propostos. São elas: o xadrez virtual e o elevador panorâmico virtual.

A primeira aplicação, o xadrez virtual, teve como finalidade avaliar técnicas de interação para selecionar e manipular objetos e também o desempenho do usuário ao utilizar diferentes dispositivos de RV. Neste experimento foram avaliadas as seguintes técnicas de interação: mão virtual associada a um mouse comum e a uma luva, e a *ray-casting* associada a uma luva. A principal característica desta aplicação é a pouca distância do observador em relação aos objetos a serem selecionados e manipulados e, a necessidade da realização de movimentos com alto grau de precisão devido a considerável quantidade de objetos gráficos envolvidos no ambiente. Esta aplicação, realizada apenas em ambiente parcialmente imersivo, permitiu a avaliação da interação do usuário com dispositivos convencionais (*mouse*), mas também com dispositivos de RV típicos: luva (*data gloves*) e óculos com lente de cristal líquido (*shutter glasses*). As seguintes considerações podem ser feitas:

- na avaliação com os diferentes equipamentos, observou-se que o desempenho do usuário ao utilizar o *mouse* foi superior ao desempenho com a luva. Deve ser destacada a experiência do usuário em utilizar os equipamentos envolvidos: os usuários tinham grande experiência com a utilização do *mouse* e, com a luva, observou-se justamente o oposto (a grande maioria dos usuários nunca a tinha utilizado);
- com relação as técnicas de interação avaliadas (mão virtual e *ray-casting*), observou-se que o desempenho dos sujeitos ao utilizarem a mão virtual foi superior ao ser comparado com a técnica *ray-casting*;

- o *feedback* visual ajuda a maximizar a percepção do usuário, apesar de não ter contribuído para melhorar o desempenho na realização da tarefa de seleção e manipulação das peças (houve situações que ocorreu justamente o contrário: o usuário obteve melhor desempenho sem *feedback* visual);
- foram criadas duas inclinações diferentes para a visualização do tabuleiro: zero (vista superior) e 60 graus. Com a inclinação de 60 graus buscou-se uma inclinação próxima àquela obtida no mundo real. Já com a visão superior do jogo, a intenção foi simular uma interface bidimensional (2D). Observou-se que a inclinação de 0 graus é mais adequada para as tarefas de seleção, ao contrário das de manipulação. Apenas nas tarefas de manipulação com movimentação lateral (esquerda e/ou direita) o desempenho do sujeito foi melhor com inclinação de 60 graus. Na inclinação do tabuleiro em 60 graus, os sujeitos tiveram maior dificuldade na seleção das peças, pois a quantidade de cliques com o *mouse* no vazio, ou de movimentos/gestos errados com a luva, foi superior se comparado com o obtido na seleção de peças com a inclinação em 0 graus.

A segunda aplicação, do elevador panorâmico virtual, serviu para avaliar a utilização de diferentes dispositivos, exclusivamente na realização de tarefas de navegação. Este experimento foi testado de duas formas: em ambiente imersivo com o uso de dispositivos de RV típicos, como capacete (HMD) e luva (*data gloves*) e, em ambiente semi-imersivo com o uso de óculos com lentes de cristal líquido e *mouse*. No ambiente imersivo, a técnica utilizada foi a direcionada pelo olhar. Houve certo incômodo durante a aplicação dos testes (ambiente imersivo) devido a grande quantidade de cabos de conexão dos dispositivos com o computador. O usuário precisava girar seu corpo durante os testes, principalmente após sua entrada no elevador. No experimento do elevador, as conclusões foram as seguintes:

- a preferência dos sujeitos quanto ao dispositivo utilizado foi pelo capacete e a luva. Segundo o relato dos sujeitos voluntários, estes equipamentos eram mais fáceis de usar, sendo que o capacete proporcionou uma melhor visualização do ambiente. O desempenho dos sujeitos ao utilizarem estes equipamentos (capacete e luva) foi superior quando confrontados com o desempenho dos sujeitos ao utilizarem *mouse* e óculos;
- foram realizados dois tipos de testes: num deles, o corredor continha quadros espalhados pelas paredes (principalmente nas curvas) e, no outro, o corredor não possuía qualquer objeto de decoração. A existência ou não de objetos pelos corredores, serviu para verificar se estes ajudavam ou não o usuário quando ele se sentisse desorientado. Quinze sujeitos (58%) afirmaram que os quadros ajudaram, portanto, esta opinião não foi unânime. Observou-se que a existência ou não de quadros nas paredes, não afeta a quantidade de colisões do sujeito com as mesmas. Mas este resultado não encerra esta questão e permite novas indagações, tais como: observou-se que 86% (22 sujeitos) eram inexperientes na utilização de equipamentos de RV. Este fato pode ter influenciado na quantidade de colisões ocorridas, pois os sujeitos apresentaram dificuldade para realizar a tarefa de navegação solicitada no teste. Cabe salientar ainda que, o trajeto (corredor de entrada), era relativamente simples e curto.



## 6.2 Trabalhos futuros

A seguir são apresentadas algumas sugestões para futuros trabalhos relacionados à avaliação de técnicas de interação:

- existem várias outras técnicas de interação que podem e devem ser testadas, tais como: *go-go*, HOMER, *ray-casting with reeling*, técnicas com o braço estendido, etc. Nas tarefas de seleção e manipulação de objetos, é importante avaliar técnicas que permitam ao usuário interagir com objetos a grandes distâncias;
- no mundo real, as pessoas se deslocam pelo ambiente e, ao mesmo tempo interagem com objetos que estão ao seu redor (selecionando, manipulando ou liberando objetos). O ambiente virtual também deve proporcionar a mesma situação: integração das tarefas de seleção e manipulação de objetos com tarefas de navegação. É evidente que, primeiramente, realizam-se testes com as tarefas isoladamente, mas é necessário que estas avaliações evoluam para situações mais próximas ao mundo real.
- Novos testes são necessários para avaliar se a existência de objetos familiares num ambiente virtual, ajuda ou não o usuário a não sentir-se desorientado. Para isto é necessário construir um labirinto mais complexo, mais longo. Evidentemente, é necessário também que os sujeitos estejam mais bem treinados para interagir com as técnicas de navegação e com os equipamentos de RV.



**Anexo 1 Questionário pré-teste para levantamento das características dos sujeitos na aplicação do xadrez virtual**

**FICHA PARA LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DOS VOLUNTÁRIOS**  
**Pré-teste para avaliação de técnicas de interação**

Responda as questões abaixo para que possamos conhecê-lo melhor. Obrigada.

Nome: ..... Idade : .....

1) Atividade atual

- Professor                       Estudante  
 Funcionário                       Outros

2) Se você for professor, estudante ou funcionário ligado a algum curso, assinale a área relacionada

- Exatas                                       Saúde  
 nenhum                                       Humanas

3) Você é:                       Destro                       Canhoto

4) Assinale caso você sofra de algum dos distúrbios abaixo relacionados

- Miopia /astigmatismo  
 Problema cardíaco  
 Enjôo com a visualização rápida de imagens, por ex., filmes  
 Outros. Qual? .....

5) Assinale com um X como você classificaria o seu conhecimento sobre jogo de xadrez.

- Ótimo  
 Médio  
 Fraco  
 Nenhum

6) Assinale com um X o grau de familiaridade com relação aos equipamentos e programas abaixo relacionados:

	Ótimo	Bom	Fraco	Nenhum
Aplicativos para visualização de objetos 3D, por ex, CAD ou 3D Studio				
Jogos 2D				
Jogos 3D				
Mouse comum				
Mouse 3D				
Teclado				
Capacete (HMD)				
Óculos (shutter glasses)				
Luva (data gloves)				
Rastreadores de posição				

**Anexo 2 Questionário pós-teste - Aplicação xadrez virtual**

## FICHA DE AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE INTERAÇÃO XADREZ VIRTUAL

*Pós-Teste - Critérios Subjetivos*

Nome:.....Data:.....

- 1) No teste do xadrez virtual, as peças podiam ser visualizadas com um determinado angulo de visão. Quando o tabuleiro estava inclinado 60 graus, você sentiu algum desconforto relacionado principalmente a visualização das imagens? Caso sua resposta seja positiva, cite o problema apresentado.

( ) Não

( ) Sim. Qual? .....

- 2) Vamos fazer uma análise comparativa entre os diferentes equipamentos utilizados para interagir: o mouse e a luva. Com relação ao dispositivo utilizado, assinale com um X a sua opinião sobre cada um dos itens abaixo relacionados.

- a) Com relação a sua preferência pelo equipamento utilizado:

Mouse     Luva     Ambos     Nenhum

- b) Conforto: medido em relação ao peso do braço, peso da mão, tontura ou náusea durante os testes;

	+ conforto		- conforto
Mouse			

	+ conforto		- conforto
Luva			

- c) Facilidade de uso: desejamos verificar se você encontrou dificuldade ou não para usar os equipamentos. Por exemplo, se foram necessários vários cliques do mouse para conseguir selecionar a peça, ou então, se os movimentos realizados com a luva eram difíceis para serem “interpretados” pelo computador, necessitando que você realizasse várias vezes o mesmo movimento.

	+ fácil		- fácil
Mouse			

	+ fácil		- fácil
Luva			

3) Ao utilizar a luva, foram utilizadas duas técnicas de interação para selecionar e movimentar as peças: Apontamento (raio) e Mão Virtual. Assinale com um X a técnica escolhida para cada um dos itens abaixo.

**1ª situação: Sem inclinação – Plano 2D**

Eficiência: está relacionada com o tempo gasto para realizar com sucesso a tarefa solicitada. A técnica pode ser considerada eficiente quando você consegue realizar a tarefa no menor tempo possível.

a) Nas tarefas de Seleção:

	+eficiente/+rápida	-eficiente/-rápida			
Mão Virtual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	+eficiente/+rápida	-eficiente/-rápida			
Raio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

b) Nas tarefas de Manipulação (realização de movimentos para Esquerda e para a Direita)

	+eficiente/+rápida	-eficiente/-rápida			
Mão Virtual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	+eficiente/+rápida	-eficiente/-rápida			
Raio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

c) Nas tarefas de Manipulação (realização de movimentos para Frente e para o fundo)

	+eficiente/+rápida	-eficiente/-rápida			
Mão Virtual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	+eficiente/+rápida	-eficiente/-rápida			
Raio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Facilidade de uso: está relacionada com a facilidade e simplicidade ao utilizar uma determinada técnica de interação. Observação: uma técnica fácil e simples não é necessariamente a mais rápida .

	+ fácil	- fácil			
Mão Virtual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	+ fácil	- fácil			
Raio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Conforto: relacionado a sensação de náusea ou tontura durante a utilização da técnica

	+ confortável	-confortável			
Mão Virtual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	+ confortável	-confortável			
Raio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>





- 4) Durante a aplicação dos testes, foram utilizados alguns recursos para diferenciar a peça selecionada das demais, como por exemplo: a peça mudava de cor (ficava vermelha), ou era posicionada um pouco acima do tabuleiro, ouvia-se um bip, ou ainda, na manipulação existia uma sombra que acompanhava a peça movimentada. Este recurso é conhecido por Feedback Visual. Nos testes, você deve ter percebido a utilização ou não de Feedback Visual. Na sua opinião, este fato facilitou a seleção e/ou a manipulação das peças pelo tabuleiro?

Feedback Visual no Plano 2D = som (bip) e mudança de cor (peça ficava vermelha)

Feedback Visual com inclinação 60 graus = a peça levanta (com sombra) e mudança de cor

<b>SEM inclinação (Plano 2D)</b>			
	<b>MOUSE</b>	<b>LUVA</b>	
		<b>Ray casting</b>	<b>Mão virtual</b>
Ajuda muito			
Ajuda pouco			
Não ajuda /indiferente			

<b>COM inclinação (60 graus)</b>			
	<b>MOUSE</b>	<b>LUVA</b>	
		<b>Ray casting</b>	<b>Mão virtual</b>
Ajuda muito			
Ajuda pouco			
Não ajuda / indiferente			

---

Obrigada pela participação!



**Anexo 3 Questionário pré-teste para levantamento das características dos sujeitos para a aplicação do elevador panorâmico virtual**

**FICHA PARA LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DOS VOLUNTÁRIOS**  
**Pré-teste para avaliação de técnicas de interação**

Responda as questões abaixo para que possamos conhecê-lo melhor. Obrigada.

Nome: ..... Idade : .....

1) Atividade atual

- Professor                       Estudante  
 Funcionário                       Outros

2) Se você for professor, estudante ou funcionário ligado a algum curso, assinale a área relacionada

- Exatas                                       Saúde  
 nenhum                                       Humanas

3) Você é:                       Destro                       Canhoto

4) Assinale caso você sofra de algum dos distúrbios abaixo relacionados

- Miopia /astigmatismo  
 Problema cardíaco  
 Enjôo com a visualização rápida de imagens, por ex., filmes  
 Síndrome do Pânico  
 Fobia de altura  
 Fobia de lugares fechados  
 Outros. Qual? .....

7) Assinale com um X o grau de familiaridade com relação aos equipamentos e programas abaixo relacionados:

	Ótimo	Bom	Fraco	Nenhum
Aplicativos para visualização de objetos 3D, por ex, CAD ou 3D Studio				
Jogos 2D				
Jogos 3D				
Mouse comum				
Mouse 3D				
Teclado				
Capacete (HMD)				
Óculos (shutter glasses)				
Luva (data gloves)				
Rastreadores de posição				

**Anexo 4 Questionário pós-teste - Aplicação elevador panorâmico virtual**

**FICHA DE AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE INTERAÇÃO  
ELEVADOR PANORÂMICO VIRTUAL**

*Pós-Teste - Critérios Subjetivos*

Nome: ..... Data: .....

- 1) Você apresentou algum tipo de desconforto durante os testes? Caso sua resposta seja positiva, cite o problema apresentado.

<input type="checkbox"/>	enjôo/náuseas
<input type="checkbox"/>	medo de lugar fechado
<input type="checkbox"/>	medo de altura
<input type="checkbox"/>	outros. Qual? .....

Caso sua resposta tenha sido afirmativa, assinale os equipamentos com os quais você sentiu desconforto.

<input type="checkbox"/>	Capacete e Luva
<input type="checkbox"/>	Óculos e Mouse
<input type="checkbox"/>	Ambos

- 2) A tarefa realizada no experimento foi a navegação, ou seja, o seu deslocamento pelo corredor até conseguir chegar no elevador. Os testes foram realizados com equipamentos diferentes. Assinale com um X a sua opinião para cada um dos itens abaixo relacionados.

- a) Preferência: Quais foram os equipamentos que você preferiu para realizar a tarefa de navegação.

<input type="checkbox"/>	Capacete e Luva
<input type="checkbox"/>	Óculos e mouse
<input type="checkbox"/>	Nenhum
<input type="checkbox"/>	Ambos

Porquê?

.....  
 .....  
 .....

- b) Visualização: Na sua opinião, qual o equipamento que proporcionou a melhor visualização das imagens?

<input type="checkbox"/>	Capacete e Luva
<input type="checkbox"/>	Óculos e mouse
<input type="checkbox"/>	Nenhum
<input type="checkbox"/>	Ambos

Porquê?

.....  
 .....  
 .....

- c) Facilidade de uso: desejamos verificar se você encontrou dificuldade ou não para utilizar os equipamentos acima mencionados.

	+ fácil					- fácil
Capacete e Luva						

	+ fácil					- fácil
Óculos e Mouse						

- 
- 3) Com relação ao corredor que você percorreu para chegar ao elevador, foram criados dois tipos de situações:

- Paredes sem quadros, e
- Paredes com quadros.

Na sua opinião, no teste cujo corredor possuía estes objetos (quadros), ajudou você a se localizar mais facilmente nos momentos de colisão com as paredes, ou melhor, a não se sentir perdido?

	Ajuda					Não ajuda
	Muito					

---

Obrigada pela participação!





## Referências

- [BOW 97a] BOWMAN, D.; KOLLER, D.; HODGES, L. Travel in immersive virtual environments: an evaluation of viewpoint motion control techniques. In IEEE VIRTUAL REALITY ANNUAL INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 7., 1997. **Proceedings...** Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1997. p. 45-52.
- [BOW 97b] BOWMAN, D.; HODGES, L. An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments. In: SYMPOSIUM ON INTERACTIVE 3D GRAPHICS, 1997, Providence, RI. **Proceedings...**New York: ACM Press, 1997. p.35-38.
- [BOW98] BOWMAN, D.; KOLLER, D.; HODGES, L. A methodology for the evaluation of travel techniques for immersive virtual environments. **Virtual Reality: Research, Development and Applications**, [S.1.], v.3, n.2, p.120-131, 1998.
- [BOW 99a] BOWMAN, D.; HODGES, L.F. Formalizing the Design, Evaluation, and Application of Interaction Techniques for Immersive Virtual Environments. **The Journal of Visual Languages and Computing**, New York, v. 10, n. 1, p.37-53, Feb. 1999.
- [BOW 99b] BOWMAN, D.; JOHNSON, D.B.; HODGES, L.F. Testbed Evaluation of virtual environments interaction techniques. In: ACM SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY SOFTWARE AND TECHNOLOGY, 1999. **Proceedings...** New York: ACM, 1999. p. 26-33.
- [BOW 99c] BOWMAN, D. **Interaction Techniques for Common Tasks in Immersive Virtual Environments: Design, Evaluation and Application**. 1999. Doctoral Dissertation, Georgia Institute of Technology, Georgia, USA. Disponível em: <<http://vtopus.cs.vt.edu/~bowman/thesis>>. Acesso em: jun. 2002.

- [BOW 2001] BOWMAN, D. et al. An introduction to 3-D User Interface Design. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, Los Angeles, v. 10, n. 1, p. 96-108, 2001.
- [BRA 97] BRANDÃO, E.J.R. A Realidade Virtual como proposta de ensino-aprendizagem para deficientes auditivos. In: WORKSHOP DE REALIDADE VIRTUAL, WRV, 1., São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos:UFSCar, 1997. p.148-157.
- [COS 98] COSTA, R.M.E.M.; CARVALHO, L.A.V.; ARAGON, D.F. Explorando as possibilidades dos ambientes virtuais para a reabilitação cognitiva. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 9., Fortaleza. **Anais...**Fortaleza: UFC, 1998.
- [CHR 87] CHRISTMANN, R. U. **Estatística aplicada**. São Paulo: E. Blucher, 1978. p.112-118.
- [DAL 2000] DALGARNO, B.; SCOTT, J. Motion Control in Virtual Environments: a comparative study. In: WORKSHOP ON USABILITY CENTRED DESIGN AND EVALUATION OF VIRTUAL 3D ENVIRONMENTS, 2000. **Proceedings...** Paderborn, Germany: V.Paelke and S.Volbracht, 2000. p. 123-131.
- [DAR 94] DARKEN, R. Hands-off interaction with menus in virtual spaces. In: SPIE 1994. **Proceedings...** Orlando, Flórida: Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems, 1994. v. 2177, p. 365-371.
- [DAV 2001] DAVIDOFF, Linda. **Introdução à Psicologia**. Trad. Lenk Perez. 3.ed. São Paulo: Makron Books, 2001. p. 139-197.
- [DIN 98] DINH, H. Q.; WALKER, N.; HODGES, L. Evaluating the importance of multi-sensory input on memory and the sense of presence in virtual environments. In: THE IEEE VIRTUAL REALITY, 1999, Houston, Texas. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1999. p.222-228.

- [DIX 97] DIX, A. et al. **Human-computer Interaction** 2 nd ed. England: Prentice Hall, 1997. 638p.
- [FOL 84] FOLEY, D.; WALLACE, V.; CHAN, V. The human factors of computer graphics interaction techniques. **IEEE Computer Graphics and Applications**, Los Alamitos, n.4, p. 13-48, 1984.
- [FUR 97] FURNESS III, T.A.; WINN, W.; YU, R. The Impact of Three Dimensional Immersive Virtual Environments on Modern Pedagogy. In: VIRTUAL REALITY IN EDUCATION AND TRAINING, VRET, 1997. **Proceedings...** Disponível em: <http://www.hitl.washington.edu/publications/r-97-32/> Acesso em: 12 dez. 2001.
- [GRI 93] GRISSOM, S.; PERLMAN, G. **StEP(3D):** A portable discount usability evaluation plan for 3D interaction. Ohio: State University, Department of Computer Science and Information Science, 1993. (Technical Report OSU-CISRC-2/93-TR7).
- [HOD 95] HODGES, L. et al. Integrating perceptual and symbolic information in VR. **IEEE Computer Graphics and applications**, Los Alamitos, v.15, n.4, p.8-11, July 1995.
- [HOL 98] HOLANDA, A. B. **Dicionário Eletrônico Aurélio versão 2.0** Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1998.
- [JAC 2000] JACON-JACOB, L.; ESTÁCIO, S.; ARTERO, A O Emprego da realidade virtual no tratamento de fobia de altura. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE REALIDADE VIRTUAL, WRV, 3., 2000, Gramado. **Anais...** Gramado: SBC, 2000.
- [JAC 2001] JACON-JACOB, L.; NEDEL, L.P.; FREITAS, C.M.S. Avaliação de Técnicas de Interação em Ambientes Imersivos: uma Proposta de Aplicação no Tratamento de Fobia de Altura. In: SBC SYMPOSIUM ON

VIRTUAL REALITY, 4., 2001, Florianópolis. [Proceedings]  
Florianópolis: UFSC, 2001. p. 12-23.

[JAC 2000a] JACOB, R. J.K.; SIBERT, L. E. Evaluation of eye gaze interaction. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, CHI, 2000, New York. **CHI 2000: The future is here.** New York: ACM, 2000.

[JAC 2000b] JACOB, R. J.K.; TANRIVERDI, V. Interaction with eye movements in virtual environments In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, CHI, 2000, New York. **CHI 2000: The future is here.** New York: ACM, 2000.

[MAC 95] MACKENZIE, I. Input devices and interaction techniques for advanced computing. In: BARFIELD, W.; FURNESS III, T.A. (Ed.). **Virtual Environments and Advanced Interface Design.** [S.l.]: Oxford University Press, 1995. p. 436-470.

[MIN 95] MINE, M. **Virtual environment interaction techniques.** New York, UNC Chapel Hill Computer Science, 1995. (Technical Report, TR-018).

[MIN 97] MINE, M. R.; BROOKS, F.P; SEQUIN, C.H. Moving objects in Space: Exploiting Proprioception in Virtual Environment Interaction. In: SIGGRAPH, 1997. **Proceedings...** New York, NY: ACM Press, 1997. p. 19-26.

[NED 99] NEDEL, L. P. **Introdução à Realidade Virtual.** Apresentação de aula no Instituto de Informática da UFRGS. Disponível em: <<http://www.inf.ufrgs.br/~nedel/cmp513/01-introducao.pdf>> Acesso em : 8 dez. 2001.

[NIE 94] NIELSEN, J.; MACK, R.L. **Usability Inspections methods.** New York: John Wiley, 1994.

- [PAU 95a] PAUSCH, R.; BURNETTE, T. Navigation and locomotion in virtual worlds via flight into hand-held miniatures. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTER SYSTEMS, CHI, 1995. **Human factors in computing systems**. New York: ACM, 1995. p.399-400.
- [PAU 95b] PAUSCH, R.; STOAKLEY, R.; CONWAY, M. J. Virtual Reality on a WIM: Interactive Worlds in Miniature. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTER SYSTEMS, CHI, 1995. **Human factors in computing systems**. New York: ACM, 1995. p.265-272.
- [PIN 2001] PINHO, M. S. **Realidade Virtual e Interação em Ambientes Virtuais**. 2001. Exame de Qualificação (Doutorado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- [POU 96] POUPYREV, I. et al. The go-go interaction technique: non-linear mapping for direct manipulation in VR. In: ACM SYMPOSIUM ON USER INTERFACE SOFTWARE AND TECHNOLOGY, 1996, Seattle, WA **Proceedings...** New York, NY: ACM Press, 1996. p. 79-80.
- [POU 97] POUPYREV, I. et al A framework and testbed for studying manipulation techniques for immersive VR. In: ACM SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY SOFTWARE AND TECHNOLOGY, 1997, Lausanne, Switzerland. **Proceedings...** Lausanne, Switzerland: ACM Press, 1997. p. 21-28.
- [POU 98a] POUPYREV, I. et al. Egocentric Object Manipulation in Virtual Environments: Empirical Evaluation of Interaction Techniques. **Computer Graphics Forum**, Amsterdam, v.17, n.3, p.41-52, 1998.
- [POU 98b] POUPYREV, I.; WEGHORST, S. Virtual Notepad: handwriting in Immersive VR. In: IEEE VIRTUAL REALITY ANNUAL INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 1998, Atlanta, Georgia. **Proceedings...** Los Alamitos, CA:IEEE Computer Society Press, 1998. p. 126-132.

- [RUB 94] RUBIN, J. **Handbook of usability testing**: how to plan, design, and conduct effective tests. New York: Wiley Technical Communication Library, 1994.
- [SAY 2000] SAYERS, H.M et al. Navigation in Non-Immersive virtual environments. In: THE UK VR-SIG CONFERENCE, 7., 2000. **Proceedings...** Glasgow, Scotland: Robin Hollands Ed., 2000. p. 43-51.
- [SHN 92] SHNEIDERMAN, Ben **Designing the User Interface**: strategies for effective Human-Computer Interaction. 2nd ed. New York: Addison-Wesley, 1992. 573p.
- [SLA 96] SLATER M. et al. Immersive, Presence and Performance in Virtual Environments: an experiment using tridimensional chess. In: GREEN, M. (Ed.). **ACM Virtual Reality Software and Technology (VRST)**. New York: ACM, 1996.
- [SMI 2001a] SMITH, S.P.; MARSH, T. Evaluating guidelines for reducing user disorientation when navigating in virtual environments. UK: University of York, 2001. (Technical Report YCS 332).
- [SMI 2001b] SMITH, S. P.; MARSH, T. Guiding user navigation in virtual environments using awareness of virtual off-screen space. In: WORKSHOP ON GUIDING USERS THROUGH INTERACTIVE EXPERIENCES USABILITY CENTRED DESIGN AND EVALUATION OF VIRTUAL 3D ENVIRONMENTS, 2001. **Proceedings...** Aachen Germany: Volker Paelke, Sabine Volbracht, 2001. p 149-154.
- [SZA 97] SZALAVÁRI, Z.;GERVAUTZ, M. The personal Interaction Panel: a two-handed interface for augmented reality. **Computer Graphics Forum**, [S.1.], v.16, n.3, p.C335-C346, 1997.
- [ZEL 93] ZELEZNIK, R.C. et al. An interactive 3D toolkit for constructing 3D widgets. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COMPUTER GRAPHICS AND INTERATIVE TECHNIQUES, SIGGRAPH, 1993, Anaheim, CA. **Proceeding...** New York, NY: ACM, 1993. p. 81-84.