

FUNDAÇÃO DE ENSINO EURÍPIDES SOARES DA ROCHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

CLÉBER GIMENEZ CORRÊA

**IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE INTERAÇÃO EM UM
FRAMEWORK PARA TREINAMENTO MÉDICO**

Marília – SP
2007

CLÉBER GIMENEZ CORRÊA

**IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE INTERAÇÃO EM UM
FRAMEWORK PARA TREINAMENTO MÉDICO**

Monografia apresentada ao Programa de Mestrado *Stricto Sensu* em Ciência da Computação do Centro Universitário Eurípedes de Marília, mantido pela Fundação de Ensino Eurípedes Soares da Rocha, para o exame de Qualificação, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação (Área de Pesquisa: Realidade Virtual).

Orientadora:

Profa. Dra. Fátima de Lourdes dos Santos Nunes Marques

Marília – SP
2007

Dedico este trabalho a toda minha família e a todos os meus amigos, amigos de trabalho, de curso, que me ajudaram muito em todos os momentos, principalmente naqueles mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pela ajuda nos momentos difíceis.

A toda minha família, presente em todos os momentos de minha vida, não só durante o curso de mestrado.

À Profa. Dra. Fátima de Lourdes dos Santos Nunes Marques, pela disposição durante a orientação, pela paciência e pelo auxílio para a elaboração de um excelente trabalho.

Aos professores doutores do curso de mestrado, pelo conhecimento e experiências compartilhadas conosco.

Aos amigos do curso de mestrado, pelo incentivo, pela ajuda nas disciplinas, pelos momentos de descontração.

Aos amigos da Prefeitura Municipal de Ribeirão do Sul, que permitiram que eu estudasse, realizando mudanças de horário, mesmo sem entender direito o que significava Realidade Virtual.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

Não existe verdadeira inteligência sem bondade.

Ludwig van Beethoven

Somente uma vida consagrada ao demais é digna de ser vivida.

Albert Einstein

Ensinar é lembrar os outros que eles sabem tanto quanto você.

Richard Bach

Se queremos progredir, não devemos repetir a história, mas fazer uma história nova.

Mahatma Gandhi

Corrêa, Cléber Gimenez. **Implementação e Avaliação de Interação em um *Framework* para Treinamento Médico**. 102 f. Monografia de Qualificação (Mestrado em Ciência da Computação) – Centro Universitário Eurípides de Marília. Fundação de Ensino Eurípides Soares da Rocha, Marília, 2007.

RESUMO

A interação em Ambientes Virtuais envolve navegação, seleção e manipulação e controle do sistema, realizadas em aplicações tridimensionais geradas por computador, com técnicas de Realidade Virtual e dispositivos convencionais e não convencionais. Um *Framework* com suporte a diversos dispositivos (*mouse*, teclado, luva, equipamento háptico), pode facilitar a construção de aplicações, de acordo com a disponibilidade financeira e grau de realismo desejado. Este trabalho tem como objetivo principal a implementação de um módulo de interação no *Framework* ViMeT (*Virtual Medical Training*), cuja finalidade é prover funcionalidades básicas de Realidade Virtual para construir aplicações de simulação de exames de punção. Um outro ponto a ser tratado é a avaliação da interação nestes ambientes, com levantamento de requisitos e definição de parâmetros importantes na construção e aperfeiçoamento de sistemas de Realidade Virtual neste domínio.

Palavras-chave: *Framework*, Treinamento Médico, Interação, Ambientes Virtuais, dispositivos convencionais, dispositivos não convencionais.

Corrêa, Cléber Gimenez. **Implementação e Avaliação de Interação em um *Framework* para Treinamento Médico.** 102 f. Monografia de Qualificação (Mestrado em Ciência da Computação) – Centro Universitário Eurípides de Marília. Fundação de Ensino Eurípides Soares da Rocha, Marília, 2007.

ABSTRACT

The interaction in Virtual Environments involves navigation, selection and manipulation, and system control, realized in three-dimensional applications generated by computer, with Virtual Reality techniques and conventional and non-conventional devices. A Framework with support to several devices (mouse, keyboard, data glove, haptic equipment), can facilitate the construction of applications, according to financial availability and desired degree of realism. This work has as principal objective the implementation of an interaction module in the Framework ViMeT (Virtual Medical Training), whose purpose is to provide Virtual Reality basic functionalities to construction puncture examinations simulation applications. An another point to be treated is the evaluation of the interaction in these environments, with survey of requisites and definition of important factors in the construction and improvement of Virtual Reality systems in this domain.

Keywords: Framework, Medical Training, Interaction, Virtual Environments, conventional devices, non-conventional devices.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	IX
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE TABELAS	XIV
INTRODUÇÃO.....	15
Objetivos.....	17
Justificativa.....	18
Disposição do Trabalho	18
CAPÍTULO 1 - INTERAÇÃO EM AMBIENTES VIRTUAIS	20
1.1 Técnicas de Interação	21
1.1.1 Navegação.....	23
1.1.2 Seleção/Manipulação	25
1.1.3 Controle do Sistema.....	26
1.2 Dispositivos Convencionais e Não Convencionais	28
1.2.1 Dispositivos Convencionais.....	29
1.2.2 Dispositivos Não Convencionais	30
1.3 Aplicações de Realidade Virtual na Medicina.....	41
1.3.1 Projeto VHB.....	44
1.3.2 Simulador de Realidade Virtual para Endoscopia	47
1.3.3 Simulador para Treinamento de Acupuntura Chinesa	49
1.3.4 SITEG – Sistema Interativo de Treinamento em Exame Ginecológico.....	53
1.4 Considerações Finais	56
CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DE INTERAÇÃO EM AVs	58
2.1 Fatores Humanos de Interação.....	60
2.2 Avaliação de Dispositivos Hápticos em Simulações Cirúrgicas	61
2.3 Avaliação de Técnicas de Seleção e Manipulação em Mundos Virtuais	66
2.4 Uma Avaliação Sobre o Uso de Estímulos Táteis em um AV	72
2.5 Considerações Finais	77
CAPÍTULO 3 – PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE INTERAÇÃO EM UM <i>FRAMEWORK</i>	78
3.1 ViMeT – <i>Virtual Medical Training</i>	79
3.2 Dispositivos Não Convencionais no Módulo de Interação.....	82
3.3 Módulo de Interação	85

3.4 Avaliação de Interação em Aplicações Geradas a Partir de um <i>Framework</i> .	89
3.5 Cronograma de Atividades	90
3.6 Conclusões Preliminares.....	92

REFERÊNCIAS	94
-------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

€ Euro

°C Graus Celsius

2D Bidimensional

3D Tridimensional

5DT Fifth Dimension Technologies

API *Application Programming Interface*

APIs *Application Programming Interfaces*

AV Ambiente Virtual

AVs Ambientes Virtuais

CAVE *Cave Automatic Virtual Environment*

CD *Compact Disc*

cm centímetros

DOF *Degree of Freedom*

FOV *Field of View*

GB Gigabytes

GHOST SDK *General Haptics Open Software ToolKit – Software Development Kit*

GHZ Gigahertz

GIMP *GNU Image Manipulation Program*

GNU *General Public License*

GUI *Graphical User Interface*

HDAPI *Haptic Device API*

HLAPI *Haptic Library API*

HF *High Force*

HMD *Head Mounted Display*

HMDs *Head Mounted Displays*

HPV *Human Papiloma Virus*

HSV *Herpes Vírus*

Hz *Hertz*

JDK *Java Development Kit*

JNI *Java Native Interface*

Kg *quilograma*

LApIS *Laboratório de Aplicações de Informática na Saúde*

LCD *Liquid Crystal Display*

LSI *Laboratório de Sistemas Integráveis*

MG *Megabytes*

mm *milímetros*

MRI *Magnetic Resonance Imaging*

ms *milissegundos*

N *Newton*

N/mm *Newton por milímetro*

PDD *PHANTOM Device Drivers*

OpenGL *Open Graphics Library*

PHANTOM *Personal Haptic Interface Mechanism*

PC *Personal Computer*

PC NT *Personal Computer New Technology*

PUCRS *Pontíficia Universidade Católica do Rio Grande do Sul*

RAM *Random Access Memory*

RV *Realidade Virtual*

SGI *Silicon Graphics, Inc.*

SITEG Sistema Interativo de Treinamento em Exame Ginecológico

SVGA *Super Video Graphics Array*

US\$ Dólar Americano

USP Universidade de São Paulo

ViMeT *Virtual Medical Training*

VHB *Virtual Haptic Back*

VRD *Virtual Retinal Display*

VRML *Virtual Reality Modeling Language*

XP *eXPerience*

W Weber

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - 5DT <i>Ultra Wireless Kit</i>	30
Figura 2 - Luva e <i>joystick</i>	31
Figura 3 - PHANTOM <i>Premium 1.5/6DOF</i>	33
Figura 4 - PHANTOM Desktop	34
Figura 5 – Óculos estereoscópicos	35
Figura 6 - 5DT <i>Head Mounted Display</i>	36
Figura 7 - Monitor ZScreen 2000i.....	37
Figura 8 - 5DT <i>Binoculars series</i>	37
Figura 9 - Monitores estereográficos.....	38
Figura 10 - CAVE existente na USP	39
Figura 11 - Sala de Controle da CAVE	39
Figura 12 - Projeção nas paredes.....	40
Figura 13 - Projetor Zscreen.....	40
Figura 14 - Pesquisador testando simulador de extração de medula óssea	43
Figura 15 - Tesoura háptica com dois graus de liberdade	44
Figura 16 - VHB em operação.....	45
Figura 17 - Endoscópio	48
Figura 18 - Desenho de parte do simulador endoscópico.....	49

Figura 19 - Simulador de Acupuntura Chinesa em execução	51
Figura 20a - Dispositivo Háptico CathSim Figura 20b - Freio do dispositivo.....	63
Figura 21 - Deformação virtual da pele durante procedimento.....	64
Figura 22 – Diagrama com classes proposto para o ViMeT	81
Figura 23 – Projeto da arquitetura do ViMeT	82
Figura 24 - 5DT <i>Data Glove 5 Ultra</i>	83
Figura 25 - PHANTOM <i>Omni</i>	84
Figura 26 - Diagrama de camadas do <i>OpenHaptics Toolkit</i>	84
Figura 27 - Interação com diversos dispositivos	86
Figura 28 – Diagrama de integração e interação	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de interação em AVs	28
Tabela 2: Preço de luvas de dados.....	31
Tabela 3: Preço de dispositivos hápticos	34
Tabela 4: Preço de outros dispositivos não convencionais.....	38
Tabela 5: Propriedades visuais e táteis definidas por um médico experiente	56
Tabela 6: Especificações do Dispositivo PHANTOM <i>Omni</i>	83
Tabela 7: Cronograma proposto para desenvolvimento do projeto.....	92

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de computadores e dispositivos eletrônicos permitiu o surgimento de uma área denominada Realidade Virtual, ou simplesmente RV, a qual se trata da mais avançada forma de interface homem-máquina já criada, consistindo na elaboração de mundos virtuais ou artificiais com o uso de alta tecnologia, para convencer o usuário de que ele se encontra em uma outra realidade (MONTERO, 2003).

Existem outras definições para o termo Realidade Virtual, como uma forma de usuários de computadores poderem visualizar, manipular e interagir com dados complexos (AUKSTAKALNIS, BLATNER, 1992 **apud** KIRNER, 2006); ou uma técnica que permite a criação de ambientes sintéticos, gerados por computador, e a utilização de canais multi-sensoriais, oferecendo ao usuário a possibilidade de realizar operações como navegação, interação e imersão (KRUEGER, 1991; JACOBSON, 1991; BURDEA, COIFFET, 1994; **apud** KIRNER, 2006). Segundo Burdea e Coiffet (1994), em termos de funcionalidades, RV é uma simulação gerada por computador, usada para criar um ambiente que se pareça com o ambiente real, o qual responde a entradas dos usuários em tempo real, como gesto, voz, propiciando, desta forma, uma interação.

Um sistema de RV deve possuir alguns requisitos, tais como: interface de alta qualidade, para se aproximar ao máximo do mundo real e permitir uma interação mais intuitiva; alta interatividade, onde o ambiente reage de forma adequada de acordo com as ações dos usuários; imersão, consistindo na sensação oferecida a um participante de uma simulação de estar dentro do mundo virtual; envolvimento e uso da intuição, onde o sistema deve oferecer condições para que o usuário se concentre e realize atividades como no mundo real; analogia e ampliação do mundo real, permitindo que o Ambiente Virtual seja definido

como o mundo real, com acréscimo de aspectos que não são encontrados neste último (MACHADO *et al.*, 2002d).

As aplicações de RV são empregadas em diversas áreas do conhecimento, tais como: mecânica, treinamento militar, entretenimento, medicina, entre outras, uma vez que é capaz de proporcionar certas vantagens que seriam difíceis de serem alcançadas no mundo real, como por exemplo, estudo de simulações físicas ou reações químicas em tempo real e uma viagem por dentro do corpo humano (SILVA, 2004).

Dentro da área médica, existem diversas linhas de estudo de RV, como: educação médica, planejamento e simulação de cirurgias, simulação de procedimentos como endoscopia virtual, reabilitação e avaliação neuropsicológica (RIVA, 2003). Como nos ambientes gerados por computador há uma interação entre ser humano e máquina, sendo possível navegar, selecionar e manipular objetos dentro do mundo virtual como no mundo real, estes sistemas criados com técnicas de RV podem ser de grande auxílio no treinamento médico (MACHADO, 2000 **apud** OLIVEIRA, 2007).

A interação pode ser efetuada por meio de diversos dispositivos. Existem os dispositivos convencionais, como a tela de vídeo, mouse, teclado etc, ou não convencionais, como luvas, capacetes, dispositivos hápticos. Para atingir um grau de realismo mais elevado, um *feedback* tátil propiciado por dispositivos hápticos seria uma solução interessante, principalmente em simuladores cirúrgicos (BATTEAU *et al.*, 2004). A sensação tátil é uma forma de percepção dos seres humanos, gerando determinadas informações para estes, como, por exemplo, indícios que facilitem a orientação do médico durante uma endoscopia, onde a visão é limitada (KORNNER e MANNER, 2002). Outro recurso interessante utilizado na criação de aplicações de RV é o uso de *Frameworks*, que segundo (BASTOS, 2005 **apud** OLIVEIRA, 2007):

oferecem abstração de dispositivos e de sistemas de projeção, suporte a sistemas distribuídos, grafos de cenas especializados, heurísticas de interação com o Ambiente Virtual e renderização distribuídas.

Um *Framework* pode ser definido como um projeto e implementação abstratos para desenvolvimento de aplicações em um determinado domínio de problemas, com a vantagem de considerável reutilização de componentes (BOSCH e MATTSSON, 2007). Devido a esta vantagem, um *Framework* orientado a objetos permite uma elevada produtividade quando se trata da construção de *softwares* (MATTSSON, 1996).

Objetivos

A partir do contexto apresentado, este trabalho tem como objetivo a implementação de um módulo para tratamento de interações com diversos dispositivos, tanto convencionais (teclado e mouse), quanto não convencionais (luvas e equipamento háptico), em um *Framework* em desenvolvimento. Desta forma, os dispositivos serão testados inicialmente em aplicações que simulam exames de punção, implementadas com auxílio de um *Framework* orientado a objetos construído para treinamento médico, denominado ViMeT (*Virtual Medical Training*), que está sendo desenvolvido em linguagem de programação Java e sua *API Java 3D* (SUN, 2007).

Posteriormente à implementação, uma avaliação deve ser realizada, levando em consideração aspectos relacionados primeiro, à máquina, tais como: tempo de resposta, tipo de dispositivo e computador empregados, fatores ergonômicos; e segundo, relacionados ao

usuário, tais como: grau de percepção, familiarização com dispositivos, nível de stress ou fadiga durante a interação.

Justificativa

Um *Framework* como o ViMeT permite uma produtividade maior na construção de novas aplicações voltadas ao treinamento de estudantes de medicina e médicos. A integração de diversas formas de interação e a utilização de diferentes dispositivos de interação entre o usuário e a aplicação, de acordo com a necessidade dos usuários e recursos disponíveis, pode facilitar o aprendizado com os benefícios oferecidos pela Realidade Virtual. Além disso, uma avaliação de aspectos computacionais e humanos relacionados à interação neste *Framework* será útil para o aperfeiçoamento dos módulos de interação e para a definição de parâmetros que podem ser utilizados na avaliação de outras aplicações.

Disposição do Trabalho

Esta monografia possui, além desta introdução, três capítulos, a saber:

Capítulo 1: apresenta conceitos relacionados à interação em Ambientes Virtuais, às formas e técnicas de interação, bem como a classificação destas em categorias. Apresenta também dispositivos convencionais e não convencionais e algumas aplicações da Realidade Virtual na área médica que utilizam métodos diversos de interação;

Capítulo 2: trata da avaliação de interação em Ambientes Virtuais sob a óptica computacional e humana, com a definição de parâmetros mensuráveis, além de discutir tipos de dispositivos empregados na interação;

Capítulo 3: traz a proposta do projeto a ser implementado e cronograma das atividades a serem realizadas.

Finalizando, estão as referências que serviram como embasamento teórico para a elaboração desta monografia.

CAPÍTULO 1 - INTERAÇÃO EM AMBIENTES VIRTUAIS

Os Ambientes Virtuais (AVs) vêm sendo considerados como a forma mais natural de interação entre homem e máquina, pois permitem que o ser humano use seus sentidos, como tato, audição e visão, de forma semelhante ao mundo real, para realizar operações, enviando e recebendo informações do computador (MINE, 1995).

Segundo Pinho (2000), um Ambiente Virtual (AV) é um cenário dinâmico, gerado com auxílio de computação gráfica e armazenado em um computador, cujas cenas são exibidas em tempo real. Os Ambientes Virtuais são ambientes que proporcionam ao usuário uma sensação de imersão e a possibilidade de manipulação, construídos pela combinação de tecnologias, que criam uma interação em tempo real com modelos tridimensionais (BISHOP, FCHS; 1992 **apud** BERALDIN *et al.*, 1996). Os AVs podem ser classificados em imersivos, onde são empregados dispositivos como capacetes, luvas de dados, salas de projeção, e não imersivos, com a utilização de monitores, teclado, *mouse* (GARCIA *et al.*, 2003).

Um dos principais objetivos na construção de um AV imersivo é fazer com que o usuário se sinta dentro do ambiente tridimensional (CAMARERO *et al.*, 2000), entretanto, a um custo maior se comparado com os sistemas não imersivos (FERRO e PAIVA, 2003). Um Ambiente Virtual pode representar um ambiente imaginário ou um ambiente real. A interação é uma característica importante, uma vez que se trata de um cenário dinâmico, que é alterado em tempo real, conforme as entradas do usuário (PINHO e REBELO, 2004).

A interação nestes tipos de ambientes ocorre quando o usuário realiza operações de seleção, manipulação e navegação no mundo sintético tridimensional por meio das denominadas técnicas de interação, que consistem em comandos e dados definidos na

implementação do sistema de RV, enviados a este para a execução de determinadas tarefas (FREITAS *et al.*, 2003).

Para que haja a interação, a troca de informações entre usuário e sistema é essencial. Por isso, os dispositivos de entrada e saída devem ser levados em consideração na construção de AVs, bem como as vantagens e limitações dos equipamentos (BOWMAN *et al.*, 2001b). De acordo com Jenkins (1949) **apud** Pinho (2000), existem basicamente três componentes em um sistema que constitui uma interface homem-máquina:

- **dispositivo de entrada**, para capturar alguma ação ou estímulo emitido pelo usuário, como a captura do movimento, por exemplo;

- **função de transferência**, com o objetivo de mapear a ação capturada para um elemento ou elementos controlados pelo sistema, transferindo, por exemplo, o movimento do usuário para um avatar¹;

- **dispositivo de saída**, com a finalidade de exibir a consequência da ação inicial, como a modificação da posição do avatar na tela do computador.

Como uma técnica de interação constitui-se de comandos acionados pelo usuário, que afetarão o AV, pode-se dizer que ela atua como uma função de transferência (PINHO, 2000).

1.1 Técnicas de Interação

Como mencionado anteriormente, as técnicas de interação são responsáveis pela transferência ou mapeamento das entradas do usuário, como posições, movimentos de partes

¹ Representação do usuário no mundo virtual.

do seu corpo ou comandos, em ações dentro do ambiente tridimensional, gerando uma resposta do sistema, a qual é emitida pelos dispositivos de saída (PINHO, 2000).

As técnicas de interação podem ser classificadas em três categorias (BOWMAN *et al.*, 2001b):

- **navegação**: movimento do usuário dentro do AV durante uma simulação;

- **seleção/manipulação**: a escolha de algo (seleção), um objeto virtual por exemplo, e a modificação de suas características (manipulação), como: tamanho, forma, cor, posição, orientação;

- **controle do sistema**: comandos específicos disponíveis para alterar o estado do sistema.

Outro importante conceito no que diz respeito à interação, é o recurso da metáfora. De acordo com Rocha (2004), a metáfora reutiliza situações semelhantes em diferentes contextos para propiciar formas de operação do sistema conhecidas ou reconhecidas pelos usuários, representando um papel fundamental. Conforme Pinho (2000), a metáfora facilita o aprendizado, uma vez que tem como princípio um domínio previamente conhecido por parte do usuário. Exemplos de metáforas serão tratados nas seções seguintes.

Quanto às formas de interação, observa-se que diversas técnicas podem ser implementadas, classificadas em três grandes categorias (MINE, 1995):

- **interação direta do usuário**: onde uma ação do usuário (movimento de uma parte do corpo), resulta em uma ação no mundo virtual, destacando alguns parâmetros, como: reconhecimento de gesto, apontamento, direção do olhar;

- **controles físicos**: envolve a utilização de botões, *joysticks* e outros dispositivos, com o intuito de que o usuário interaja com o AV. Nesta categoria, o tipo de dispositivo afeta a

interação a ser executada, já que um tipo de capacete, por exemplo, pode dificultar a movimentação do usuário durante uma simulação;

- **controles virtuais**: onde algo no AV, um objeto por exemplo, pode ser implementado como um controle a ser utilizado, proporcionando uma flexibilidade, já que qualquer objeto no mundo virtual pode ser usado para tal e, em contrapartida, gerando certa dificuldade de interação com tal objeto, pois ele pode ser selecionado e manipulado, e também serve de controle.

1.1.1 Navegação

A navegação é a forma mais comum de interação e consiste no movimento do usuário dentro do ambiente sintético. É dividida em três categorias (BOWMAN *et al.*, 2001b):

- **exploração**, onde o participante de uma simulação realiza uma investigação do ambiente;

- **busca**, que consiste na movimentação do participante para um local específico;

- **manobras**, que são caracterizadas por movimentos de alta precisão.

Dois outros parâmetros que se referem à navegação são a direção e a velocidade, onde controles físicos e virtuais, ou partes do corpo do usuário, podem determinar para que direção o usuário deve se mover e com qual velocidade, a qual também pode ser determinada por uma constante calculada de acordo com o tamanho do AV (MINE, 1995).

A navegação também pode ser classificada conforme dois componentes denominados *travel* e *wayfinding*. O conceito de *travel* está relacionado ao movimento do ponto de vista do

usuário de um lugar para outro. Existem cinco metáforas comuns para técnicas de interação do tipo *travel* (MINE, 1995):

- **movimento físico:** o movimento do corpo do usuário é usado para movê-lo através do ambiente;

- **manipulação manual do ponto de vista:** os movimentos das mãos do usuário ou participante da simulação são usados para definir o movimento deste dentro do AV;

- **apontamento:** consiste na especificação contínua da direção do movimento;

- **navegação baseada em objetivo:** o usuário especifica o destino, e ele salta imediatamente para o novo local, como uma espécie de “teletransporte”;

- **planejamento de rota:** o usuário define o caminho que percorrerá através do ambiente.

O *wayfinding* é entendido como um processo dinâmico do uso da habilidade espacial e percepção do ser humano quando em um determinado ambiente, com o objetivo de encontrar um local neste, ou seja, o ser humano dispõe do conhecimento que já possui e adquire conhecimento durante a navegação para encontrar o caminho (SATALICH, 2006).

Uma preocupação na navegação é a desorientação do usuário durante a interação. Uma forma de resolver tal problema é a utilização de diversas visões e escalas no AV, auxiliando, desta forma, o usuário na percepção espacial (FUKATSU *et al.*, 1998). Geralmente, os AVs oferecem aos participantes, um ponto de vista e uma escala 1:1 (CONWAY *et al.*, 2006). O uso de um mundo em miniatura similar ao mundo virtual, com um ícone no mundo em escala menor representando o usuário, sendo atualizados simultaneamente durante a interação, auxilia na percepção. Entretanto, pode confundir o usuário, uma vez que este possui dois pontos de vista (BROCKWAY *et al.*, 2006).

1.1.2 Seleção/Manipulação

Para manipular um determinado objeto, é preciso primeiramente selecioná-lo. Seleção é a indicação de qual objeto ou objetos o usuário manifesta desejo de interagir no AV (FORSBERG *et al.*, 2006). Desta forma, é necessária a utilização de mecanismos ou técnicas para identificar um ou mais objetos que se deseja manipular, podendo destacar-se (MINE, 1995):

- **entrada de voz:** onde cada objeto possui um nome ou um identificador, que deve ser conhecido pelo usuário, para que ele possa identificá-lo em um grupo e selecioná-lo ao pronunciando seu nome;

- **seleção de lista:** onde uma lista com os nomes ou identificadores dos objetos é apresentada, e o usuário pode selecioná-los utilizando a voz por exemplo.

Um problema existente é a necessidade de um *feedback* para o usuário com o intuito de confirmar o objeto selecionado, indicando que a operação de seleção realmente ocorreu. Isto pode ser feito por meio de recursos visuais ou auditivos, entre outros, como por exemplo, com o uso de um *bounding box*² (MINE, 1995).

A seleção também pode ser dividida em (HUFF *et al.*, 2006):

- **local:** na qual o objeto a ser selecionado está ao alcance do usuário;

- **à distância:** na qual o objeto em questão não está ao alcance do participante da simulação, não havendo, portanto, um contato direto. Neste caso há necessidade do uso de técnicas, como apontamento para indicar o objeto, na qual um feixe de luz é lançado da mão do usuário em direção ao objeto virtual.

² Consiste em uma “caixa” que envolve um determinado objeto no Ambiente Virtual.

Uma vez que o objeto ou objetos estão selecionados, a operação de manipulação pode ser realizada, a qual consiste na alteração do posicionamento e rotação do objeto (BOWMAN *et al.*, 2001b). Segundo Hsu (2007), o ser humano pode fazer uso de suas mãos para explorar e manipular objetos no mundo real, sendo esta uma forma natural de interação com o AV. Por isso, equipamentos como luvas são desejáveis, pois permitem que o movimento do usuário, na caso, de suas mãos, seja capturado e enviado por meio de sinais elétricos ao computador, que processa tais sinais e executa alterações no ambiente sintético. Também seria importante que o usuário pudesse visualizar uma representação de sua mão ou mãos dentro do AV.

Para manipular um objeto, modificar sua posição e rotação, além das luvas, controles físicos, como *joysticks*, e controles virtuais, como menus, podem ser empregados. Um outro ponto a ser definido é o local do centro de rotação do objeto selecionado, que geralmente é aquele centrado na mão do usuário, entretanto, ele pode ser remoto, fazendo com que o usuário manipule em diferentes perspectivas (MINE, 1995).

1.1.3 Controle do Sistema

A última categoria de interação, o controle de sistema, consiste em comandos para a comunicação com a aplicação, possibilitando alterações no estado do sistema ou no modo de interação (BOWMAN *et al.*, 2001b; FLASAR, 2000). As técnicas desta categoria podem ser úteis para facilitar o processo de interação, transferindo, por exemplo, um objeto distante para próximo de um participante da simulação por meio de um comando de voz deste. Uma vez que tal participante deseja mover um objeto que está distante da sua área de alcance, e para isso, precisa acionar uma determinada técnica de navegação para se aproximar deste objeto,

tendo que alterar o modo de interação, deve finalizar o processamento do evento atual (manipulação de objetos) para chamar uma função de navegação (FLASAR, 2000).

As técnicas de controle de sistema podem ser classificadas em quatro grupos (BOWMAN *et al.*, 2001b; FLASAR, 2000):

- **Sistema baseado em GUI (*Graphical User Interface*):** consiste em comandos representados visualmente, como menus gráficos, os quais podem ser implementados no AV em uma, duas ou três dimensões. A implementação de menus envolve um série de questões, tais como: localização dos menus no ambiente, forma de acesso, dispositivos empregados, qualidade da visualização das opções (MINE, 1995);

- **Comando de voz:** o sistema interpreta comandos de fala do usuário por meio de um reconhecedor de voz;

- **Interação via gesto:** comandos são representados por movimentos do corpo ou partes do corpo do usuário, como o movimento dos dedos e das mãos;

- **Ferramenta:** consistindo em controles físicos e virtuais, como pedais e rodas de determinados dispositivos, e objetos dentro do próprio mundo virtual, que representem comandos para o sistema.

As técnicas dos quatro grupos apresentados podem ser combinadas, pois dependendo da situação durante o processo de interação, uma técnica pode ser mais útil do que outra (FLASAR, 2000). Na Tabela 1 pode-se observar as categorias que agrupam as técnicas de interação (navegação, seleção/manipulação e controle do sistema), bem como suas diversas classificações. Nota-se, ainda, que as formas de interação (direta, por controles físicos e por controles virtuais), podem estar presentes em implementações de técnicas nas três categorias.

Tabela 1: Classificação de interação em AVs

Categoria	Classificação		Formas de interação
Navegação	Busca	<i>Travel</i>	Direta
	Exploração		Controles Físicos
	Manobra	<i>Wayfinding</i>	Controles Virtuais
Seleção	Local		Direta
	À distância		Controles Físicos
Manipulação	Escala (x, y, z)		Direta
	Translação (x, y, z)		Controles Físicos
	Rotação (x, y, z)		
	Orientação (x, y, z)		Controles Virtuais
Controle do Sistema	Gesto		Direta
	Voz		Controles Físicos
	Baseado em GUI		
	Ferramenta		Controles Virtuais

1.2 Dispositivos Convencionais e Não Convencionais

Como descrito anteriormente, os outros componentes que tornam possível a interação homem-máquina, além da função de transferência, que engloba as técnicas de interação, são os dispositivos de entrada e saída. Estes permitem ao usuário estabelecer uma comunicação com o sistema, enviando e recebendo dados do computador. Nesta seção serão apresentados

algumas tecnologias de dispositivos, dando ênfase às luvas e aos equipamentos hápticos, que estão diretamente relacionados com a proposta deste projeto.

1.2.1 Dispositivos Convencionais

Em AVs, a interação pode ocorrer através de dispositivos comuns, como *mouse*, teclado, *joystick*, tela do computador (PINHO, 2000). Segundo Hsu (2007), estes são mais familiares aos usuários, entretanto, são limitados quando há a necessidade de executar determinadas tarefas nos AVs. Como exemplo, salienta-se que a maioria dos *mouses* possui dois graus de liberdade, permitindo uma movimentação somente em duas direções.

Entretanto, é possível a interação em ambientes tridimensionais não-imersivos com tais dispositivos, com o usuário realizando operações de seleção, manipulação, navegação, visto que por meio de comandos do teclado ou do *mouse*, pode-se escolher um objeto, alterar sua posição, orientação e escala, alterar o ângulo de visão e a direção do observador. Por exemplo, com o teclado o usuário aciona *sliders*³ ou insere valores para definir propriedades de um objeto, como posição, orientação e escala, e com o movimento do mouse e seus botões, o usuário pode selecionar objetos, realizar rotação, translação ou alteração no tamanho destes objetos (PINHO, 2000).

³ Um componente de interface que permite ao usuário escolher valores dentre uma determinada faixa de valores.

1.2.2 Dispositivos Não Convencionais

Para uma interação mais próxima da realidade, os sistemas de RV podem ser capacitados com dispositivos denominados não convencionais, como luvas de dados, capacetes, óculos estereoscópicos, equipamentos hápticos, sensores corporais, entre outros.

O reconhecimento de gesto é uma forma de interação eficiente e altamente intuitiva para AVs (EISENSTEIN *et al.*, 2003). Por isso, as luvas de dados são desejáveis em sistemas de RV. A Figura 1 mostra um par de luvas desenvolvido pela empresa *Fifth Dimension Technologies*.



Figura 1- 5DT Ultra Wireless Kit (*Fifth Dimension Technologies*, 2007)

As luvas, geralmente constituídas de fibra sintética e sensores ópticos, procuram captar os movimentos das mãos, identificando o ângulo dos dedos e a posição e a orientação do pulso, por meio dos sensores (THALMANN, 2007). De uma maneira geral, conseguem capturar a postura e a localização das mãos com acurácia e alta velocidade (KOIKE *et al.*, 2001). Na Figura 2, pode-se observar uma luva com sensores para captação de movimentos e

um *joystick* para movimentos em três dimensões, denominado de *3DWand* (SABBATINI, 1999).



Figura 2 - Luva e *joystick* (SABBATINI, 1999)

Em projetos de luvas, geralmente são utilizados sensores mecânicos ou de fibra óptica, com o intuito de captar os movimentos dos dedos. No caso da fibra óptica, um fio ou cabo óptico com junções é empregado no dispositivo para transferência de informações para o computador. Por isso, quando o usuário move seus dedos, conseqüentemente move as juntas, ocasionando a dobra do fio e a redução de passagem de luz, o que indica um movimento. Existem diversos tipos de luvas de dados no mercado, com variação de preço, número de sensores, desempenho, acurácia (MACHADO *et al.*, 2002b). A Tabela 2 apresenta algumas luvas de dados existentes no mercado, bem como seus preços e fabricantes.

Tabela 2: Preço de luvas de dados (EST - Engineering Systems Technologies, 2007 e 5DT - Fifth Dimension Technologies, 2007)

Nome do Produto	Fabricante	Preço
5DT Glove 5 Ultra	<i>Fifth Dimension Technologies</i>	US\$ 995
5DT Data Glove 14 Ultra	<i>Fifth Dimension Technologies</i>	US\$ 5,495
5DT Data Glove MRI Series	<i>Fifth Dimension Technologies</i>	US\$ 3,495
5DT Data Glove 16 MRI	<i>Fifth Dimension Technologies</i>	US\$ 6,995
5DT Data Glove Ultra Wireless Kit	<i>Fifth Dimension Technologies</i>	US\$ 1,495

<i>CyberGlove System (18 sensores)</i>	<i>Immersion</i>	€ 13.632
<i>CyberGlove2 System (18 sensores)</i>	<i>Immersion</i>	€ 11.177
<i>CyberGlove System (22 sensores)</i>	<i>Immersion</i>	€ 19.995
<i>CyberGlove2 System (22 sensores)</i>	<i>Immersion</i>	€ 16.177
<i>CyberTouch System</i>	<i>Immersion</i>	€ 21.995
<i>CyberGrasp System</i>	<i>Immersion</i>	€ 59.995
<i>CyberForce System</i>	<i>Immersion</i>	€ 109.995

Outros dispositivos ditos como não convencionais usados em ambientes sintéticos são os dispositivos hápticos. O termo háptico pode ser definido como a ciência do tato, envolvendo força e sensação propiciada pelo toque (BURNS *et al.*, 2004). Com o tato, o ser humano pode perceber um objeto quando há um contato entre a pele e o objeto em questão (BREWSTER *et al.*, 2000). O toque consiste de uma sensação quando a pele é submetida a estímulos mecânicos, elétricos, térmicos, químicos (CHOLEWIAK, COLLINS, 1991 **apud** BURDEA, 1996). Esta sensação pode ser dividida em senso háptico e controle senso-motor. No que diz respeito ao senso háptico, leva-se em consideração o tato, que consiste de um conjunto de eventos que se iniciam com estímulos sobre a pele, tais como pressão ou vibração, os quais são captados por receptores (termoreceptores, receptores mecânicos, entre outros), onde descargas elétricas são geradas e transmitidas ao cérebro pelos nervos que, por sua vez, registra a sensação. O controle senso-motor está ligado ao fato de que os seres humanos combinam o senso de posição e cinestesia, ou seja, postura e movimentos, para exercer um controle motor durante uma atividade (BURDEA, 1996).

Segundo BURDEA (1996), quando se discute sobre geração de força e sensação tátil, alguns conceitos devem ser levados em conta, como:

- **feedback tátil:** sensação aplicada à pele que indica alguma sensação;
- **feedback de força:** retorno de sensação de peso ou resistência de algo;

- **feedback cinestésico:** percepção de movimentos por órgãos existentes em músculos, tendões, juntas;

- **feedback proprioceptivo:** movimentos definidos por informações oferecidas de acordo com a postura (juntas do esqueleto).

Os dispositivos hápticos são desejáveis em aplicações de RV, uma vez que a interação homem-máquina em AVs é promovida por meio de interfaces intuitivas (KIM *et al.*, 2002). A Figura 3 exibe o equipamento háptico PHANTOM *Premium* 1.5/6DOF, fabricado pela *SensAble Technologies*, que oferece 6 graus de liberdade.



Figura 3 - PHANTOM *Premium* 1.5/6DOF (*SensAble Technologies*, 2007)

Portanto, os equipamentos hápticos podem ser programados para imitar a interação háptica que é realizada pelos seres humanos (BASDOGAN *et al.*, 2000). Estes equipamentos funcionam como dispositivos de entrada e saída (DONALD e HENLE, 1999), como o dispositivo apresentado na Figura 4.

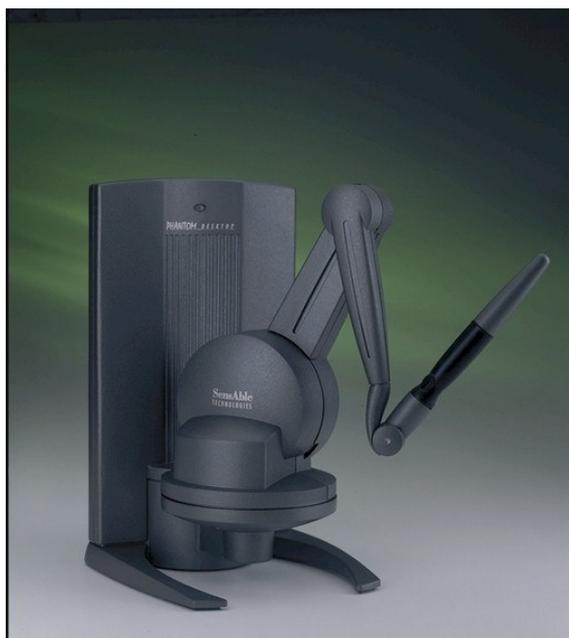


Figura 4 - PHANTOM Desktop (SensAble Technologies, 2007)

Desta forma, o usuário tem a possibilidade de utilizar o senso de toque para enviar e receber informações do computador, pois o equipamento háptico é movimentado pelo usuário e pode produzir um retorno de força na superfície da pele deste (BREWSTER *et al.*, 2000). Como exemplo de informação sobre o ambiente fornecida ao usuário durante a interação, tem-se o sentimento de textura e peso de objetos, podendo haver ou não uma integração com estímulos sonoros e visuais (KOPPER *et al.*, 2006). A Tabela 3 apresenta preços, fabricantes e tipos de equipamentos hápticos.

Tabela 3: Preço de dispositivos hápticos (EST - Engineering Systems Technologies, 2007 e 5DT - Fifth Dimension Technologies, 2007)

Nome do Produto	Fabricante	Preço
<i>Haptic Master System</i>	<i>Moog FCS</i>	€ 42.500
<i>Delta Haptic Device 3 DOF</i>	<i>Force Dimension</i>	€ 21.144
<i>Delta Haptic Device 6 DOF</i>	<i>Force Dimension</i>	€ 38.726
<i>Omega 3 Haptic Device</i>	<i>Force Dimension</i>	€ 13.856
PHANTOM <i>Omni</i>	<i>SensAble Technologies</i>	US\$ 3,900
PHANTOM <i>Desktop</i>	<i>SensAble Technologies</i>	€ 10.000
PHANTOM <i>Premium 1.0</i>	<i>SensAble Technologies</i>	€ 16.773
PHANTOM <i>Premium 1.5</i>	<i>SensAble Technologies</i>	€ 22.727

PHANTOM <i>Premium</i> 1.5 HF	<i>SensAble Technologies</i>	€ 26.818
PHANTOM <i>Premium</i> 3.0	<i>SensAble Technologies</i>	€ 50.909
PHANTOM <i>Premium</i> 1.5/6DOF	<i>SensAble Technologies</i>	€ 45.455
PHANTOM <i>Premium</i> 1.5/6DOF HF	<i>SensAble Technologies</i>	€ 49.091
PHANTOM <i>Premium</i> 3.0/6DOF	<i>SensAble Technologies</i>	€ 66.636

Os óculos estereoscópicos, como os mostrados na Figura 5, e fabricados pela *Stereographics*, geram imagens diferentes de uma mesma cena virtual para os olhos direito e esquerdo (CELES *et al.*, 2004).



Figura 5 – Óculos estereoscópicos (*Absolute Technologies*, 2007)

Os capacetes de sistemas de RV, denominados *Head Mounted Displays* (HMDs), permitem uma imersão visual, combinando rastreadores de movimentos da cabeça, sistemas de geração de imagens. Oferecem uma visão estereoscópica (um *display* para cada olho), incluindo, ainda, um campo de visão de 360 graus, de acordo com a orientação da cabeça, e sistemas de áudio (BERNIER *et al.*, 2004). A Figura 6 mostra um HMD (*Head Mounted Display*), construído pela *Fifth Dimension Technologies*, com resolução de 800x 600 pixels de resolução em cada *display* (OOMS, 2004).



Figura 6 - 5DT Head Mounted Display (Fifth Dimension Technologies, 2007)

Algumas limitações de capacetes incluem: peso, resolução de imagens, descompasso entre o movimento visualizado pelo olho e o sentido pelo sistema vestibular, que pode causar enjoos e náuseas; limitação na geração de imagens na área periférica do olho; dificuldade de integração de sensores para rastrear posição de membros e corpo do usuário de maneira imersiva (PINHANEZ, 2004).

Existem diversos outros equipamentos que geram imagens, como VRD (*Virtual Retinal Display*), que exibem imagens diretamente na retina, óculos estereoscópicos, *displays* autoestereoscópicos, que produzem imagens estéreo por meio de monitores LCD (*Liquid Crystal Display*), e telas de plasma (BERNIER *et al.*, 2004), como o monitor mostrado na Figura 7, que apresenta imagens tridimensionais. Binóculos para geração de imagens estereoscópicas são mostrados na Figura 8.

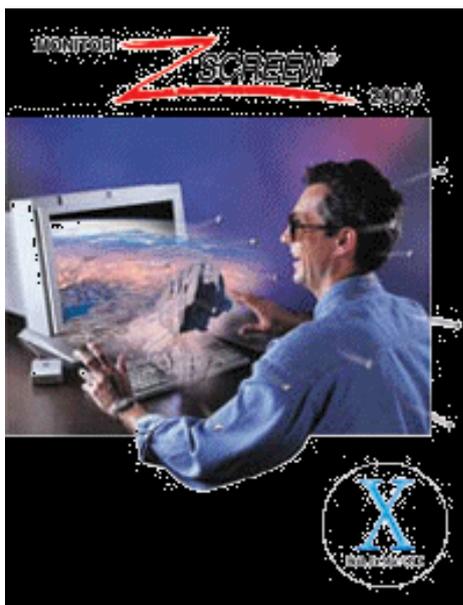


Figura 7 - Monitor ZScreen 2000i (*Fifth Dimension Technologies, 2007*)

As exibições estereoscópicas permitem uma visualização de profundidade, tornando a visão mais próxima da realidade. Neste contexto, existe o conceito de que cada um dos olhos dos seres humanos vê imagens ligeiramente diferentes, as quais são reunidas pelo cérebro, que acrescenta características de profundidade, distância, tamanho, posição (MACHADO, 2003a).

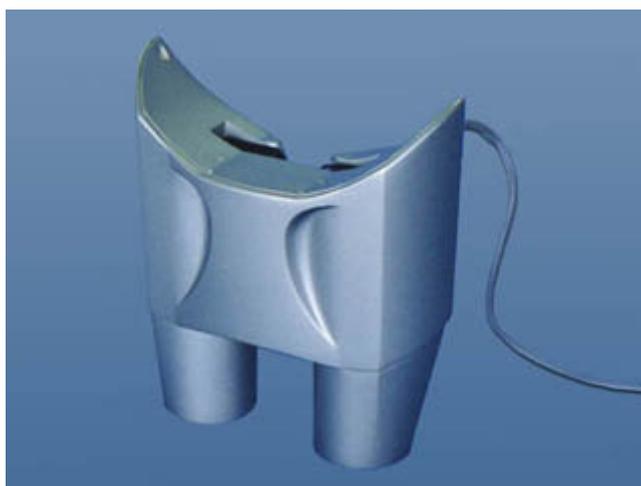


Figura 8 - 5DT Binoculars series (*Fifth Dimension Technologies, 2007*)

A Figura 9 apresenta a geração de imagens estéreo realizada por monitores LCD, fabricados pela empresa *Fifth Dimension Technologies*.



Figura 9 - Monitores estereográficos (*Fifth Dimension Technologies, 2007*)

A Tabela 4 apresenta dispositivos não convencionais disponíveis no mercado, para proporcionar visão estereoscópica, juntamente com seus preços e fabricantes.

Tabela 4: Preço de outros dispositivos não convencionais (EST - *Engineering Systems Technologies, 2007* e 5DT - *Fifth Dimension Technologies, 2007*)

Nome do Produto	Fabricante	Preço
5DT HMD 800-26 2D	<i>Fifth Dimension Technologies</i>	US\$ 2,995
5DT HMD 800-26 3D	<i>Fifth Dimension Technologies</i>	US\$ 3,995
5DT HMD 800-40 3D	<i>Fifth Dimension Technologies</i>	US\$ 9,995
Z800 3D Visor	<i>e-Magin</i>	€ 1.363
M920	<i>Icuiti</i>	€ 1.250
<i>i-glasses</i> PC/SVGA	<i>I-O Display System</i>	€ 817
<i>i-glasses</i> PC/SVGA PRO 3D	<i>I-O Display System</i>	€ 1.090
<i>i-glasses</i> VIDEO	<i>I-O Display System</i>	€ 899
<i>Virtual Binocular</i> SX stereo – 1280 x 1024 – 60 Hz – 40° FOV	NVIS	€ 18.091
nVisor SX - 1280 x 1024 – 60 Hz – 60° FOV	NVIS	€ 21.727
<i>ProView</i> XL 40STm	<i>Rockwell Optronics</i>	€ 50.000
<i>Arvision</i> HMD/ <i>Goggles</i> – 800 x 600 – 40° FOV	<i>Trivisio</i>	€ 3.000

Em alguns sistemas, devido à exaustão causada aos usuários pelo volume de dispositivos (como determinados capacetes), sistemas de projeção foram desenvolvidos para construir AVs, como uma CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*), que consiste em um conjunto de telas projetadas ao redor do usuário (de 2 a 6 telas), formando um cubo, onde este

pode dispor de dispositivos, tais como óculos estereoscópicos (ZIEGELER, 2002). No Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI), da USP, há uma CAVE, que pode ser visualizada nas Figuras 10, 11 e 12, as quais apresentam a sala de projeção e a sala de controle, bem como o equipamento em funcionamento, gerando imagens nas paredes da sala.



Figura 10 - CAVE existente na USP (LSI-USP, 2007)



Figura 11 - Sala de Controle da CAVE (LSI-USP, 2007)



Figura 12 - Projeção nas paredes (LSI-USP, 2007)

Existem outras formas de projeção, como o Projetor *Zscreen*, fabricado pela *Fifth Dimension Technologies*, mostrado na Figura 13, que propicia a geração de imagens tridimensionais.

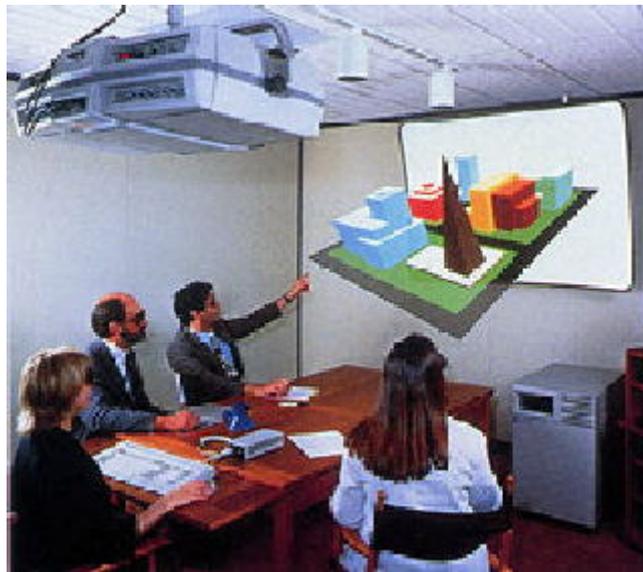


Figura 13 - Projetor Zscreen (*Fifth Dimension Technologies*, 2007)

1.3 Aplicações de Realidade Virtual na Medicina

Existem diversas linhas de estudo de aplicações de Realidade Virtual na área médica, tais como: educação médica, planejamento e simulação cirúrgica, endoscopia virtual, reabilitação e avaliação neuropsicológica (RIVA, 2003).

Na educação médica, sistemas de RV são utilizados para gerar visualizações em três dimensões, e com isso, permitir o ensino de anatomia, com a exploração de órgãos, como uma viagem pelo corpo humano. Além de uma ferramenta didática, AVs podem também ser utilizados como ferramenta de educação experimental, para testes de procedimentos médicos.

No planejamento e simulações de cirurgia, simuladores oferecem uma possibilidade do uso de computadores para treinamento de médicos, facilitando a obtenção de habilidades, uma vez que estudantes de Medicina treinam em objetos artificiais ou em animais (RIVA, 2003). O planejamento de cirurgias consiste em identificar locais de intervenção médica, visualizar a anatomia local, verificar estruturas da anatomia e pontos sensíveis de um determinado paciente. Neste contexto, dados reais de um paciente podem ser utilizados, podendo ser obtidos por meio de tomografias computadorizadas, ultra-som, ressonância magnética (MACHADO, 2004c). Em endoscopias virtuais, imagens tridimensionais de órgãos são geradas, permitindo que o médico visualize o procedimento e adquira conhecimento sobre este, pois tais procedimentos são denominados como invasivos, limitando a visão do cirurgião, que dispõe geralmente de uma câmera na ponta do tubo do endoscópio.

Na reabilitação e avaliação neuropsicológica, AVs permitem que um paciente controle de forma satisfatória uma situação de problema relacionada a um distúrbio, contribuindo para sua recuperação e servindo como uma forma de médicos avaliarem suas respostas ao tratamento (RIVA, 2003).

Portanto, pode-se perceber, que com a aplicação da RV na área médica, pesquisas vêm sendo realizadas no sentido de desenvolver simulações cirúrgicas, planejar operações e tratamentos radioterápicos, realizar diagnósticos mais precisos com imagens tridimensionais geradas muitas vezes, em tempo real, e sobrepostas sobre o paciente, para facilitar o treinamento de estudantes de Medicina e substituir alguns métodos, como aqueles que consistem no sacrifício de animais e cobaias em prol do estudo médico (COELHO e PEPPE, 2006).

Um exemplo de método seria a extração de medula óssea, realizado em animais, geralmente em porcos, e que apresenta as seguintes desvantagens (MACHADO, 2003a):

- o estudante não visualiza o que acontece dentro do corpo do animal enquanto manipula a agulha, instrumento usado para a retirada da medula;

- animais são sacrificados para as experiências.

Diante deste cenário, e de outras questões, como o fato de que o tratamento do câncer em crianças requer a coleta de medula óssea, podendo causar dor intensa se mal executada, além da preocupação de estudantes de medicina e médicos recém-formados, grupos de pesquisadores começaram a desenvolver sistemas de RV para auxiliar estas pessoas, procurando um elevado grau de realismo nas imagens e nas sensações geradas pelo computador e dispositivos de entrada e saída, respectivamente (MACHADO, 2003a).

Na Universidade de São Paulo, foi criado um sistema que simula o procedimento de extração de medula óssea, o qual consiste de um computador e um dispositivo háptico, conforme mostra a Figura 14, onde aparece um pesquisador testando o simulador (MACHADO, 2003a).



Figura 14 - Pesquisador testando simulador de extração de medula óssea (MACHADO, 2003a)

O computador gera imagens tridimensionais na tela, e recebe e envia dados para o dispositivo háptico, que representa a agulha usada na coleta, o qual é manipulado pelo usuário. Equipamentos hápticos podem ser projetados como instrumentos cirúrgicos (endoscópios, agulhas, por exemplo), proporcionando aos usuários um grau mais elevado de realismo. Na Figura 15 é apresentada uma tesoura háptica com dois graus de liberdade, sendo um de rotação em um determinado eixo, com resolução angular de 0,056 graus e um retorno de força de no máximo 7,58 N; e o outro de translação em um determinado eixo, com resolução de 0,0152 mm e um retorno de força de 159 N (JAFRY *et al.*, 2003). Em simuladores de coleta de medula óssea, de acordo com a camada da pele, forças diferentes podem ser transmitidas ao usuário (LOPES *et al.*, 2001).

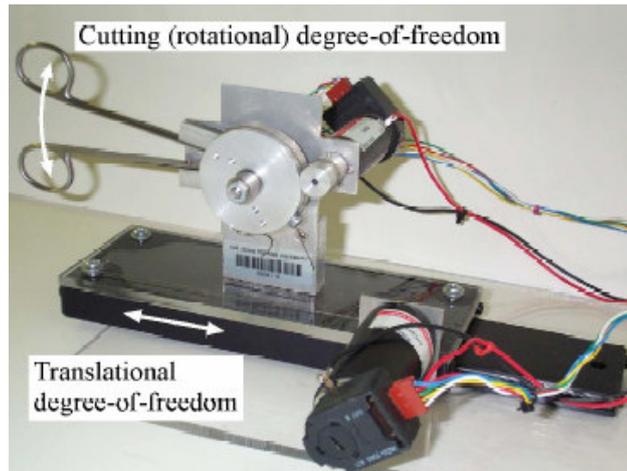


Figura 15 - Tesoura háptica com dois graus de liberdade (JAFRY *et al.*, 2003)

A seguir são apresentadas algumas aplicações de RV na área médica, desenvolvidas em centros de pesquisa internacionais e nacionais, com destaque para a interação implementada.

1.3.1 Projeto VHB

Na Universidade de Ohio, Estados Unidos, pesquisadores criaram o VHB (*Virtual Haptic Back*), com o propósito de desenvolver computadores voltados a gerar simulações hápticas do corpo humano, para realizar treinamento de estudantes da área médica, no que diz respeito a diagnósticos executados pela palpação de pacientes. A palpação é uma importante parte do processo de diagnóstico de muitas doenças, pois permite a detecção de tumores, hérnias e anomalias em movimentos de certos órgãos, como: coração, pulmões, intestinos, músculos. Por isso, ela é considerada uma forma efetiva, sensível e econômica para detectar diversas disfunções do corpo (BURNS *et al.*, 2004).

Entretanto, a palpação é difícil de aprender devido a três motivos:

- 1 - requer um senso de toque altamente treinado;
- 2 - estudantes, na sua maioria, praticam entre eles, os quais geralmente são pessoas jovens;
- 3 - sucessivas palpitações em um sujeito podem provocar alterações no corpo, propiciando experiências diferentes para um mesmo caso.

O simulador VHB consiste de um computador responsável pela geração de imagens de alta definição de partes do corpo humano, e dois dispositivos hápticos PHANTOM 3.0 (*Personal Haptic Interface Mechanism*), para que o usuário possa trabalhar com as duas mãos, conforme Figura 16, onde um exame com um ser humano e um exame similar usando o VHB é demonstrado. Neste caso, uma imagem da coluna vertebral é utilizada, a qual foi obtida pela digitalização de um modelo da coluna vertebral com um scanner 3D (BURNS *et al.*, 2004).

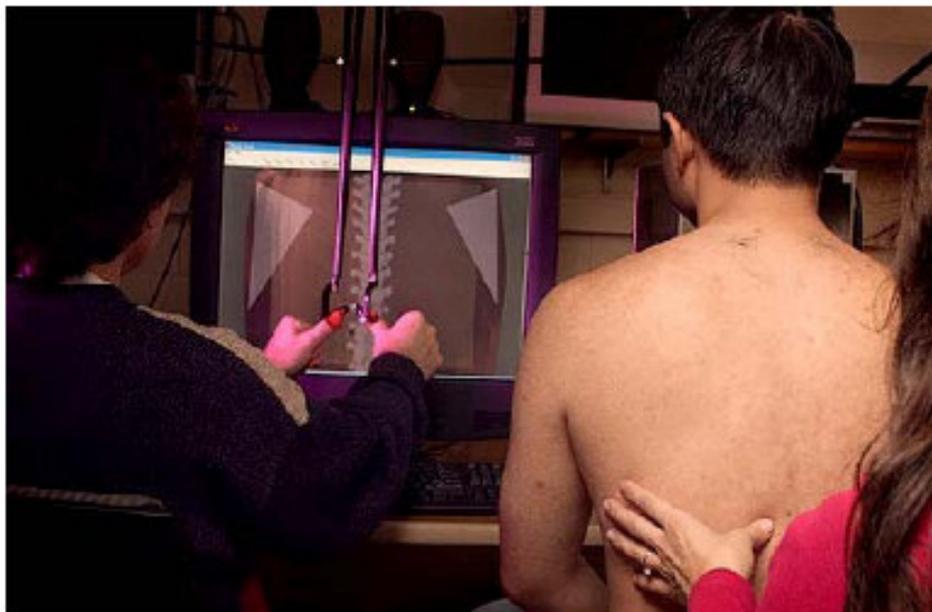


Figura 16 - VHB em operação (BURNS *et al.*, 2004)

O sistema possui também botões no topo da tela, para auxiliar o usuário e controlar a seqüência durante a interação, possibilitando a escolha da coluna vertebral, sua posição, o grau de anormalidade, bem como o nível de dificuldade, seleção e rotação de uma vértebra.

As interfaces hápticas PHANTOM 3.0, desenvolvidas pela empresa *SensAble Technologies*, usam a entrada da informação da posição definida pelo usuário para determinar quais forças retornarão ao usuário via três motores. Desta forma, o usuário move o PHANTOM com seus dedos para localizações cartesianas desejadas (X, Y, Z), e estas coordenadas são enviadas para o computador, onde um software gráfico/háptico determina o vetor de força cartesiana (F_x , F_y , F_z), que o usuário deverá sentir. O dispositivo gera esta força nos dedos do usuário por meio dos motores (BURNS *et al.*, 2004).

As interfaces hápticas possuem uma resolução de 0,02 mm, um espaço de trabalho de 39x54x75 cm, e uma força aplicável de no máximo 4N. Os dispositivos somente têm a tarefa de ler as posições e aplicam forças de translação, como descrito anteriormente. Os cálculos e as imagens são gerados por um PC NT *workstation*, com processador *Pentium Xeon* de 2,8 GHZ, 1 GB de memória RAM, e uma NVIDIA Quadro4 900XGL, placa gráfica de 128 MB.

A empresa *SensAble Technologies*, fabricante dos dispositivos hápticos, oferece um kit de ferramentas de software denominado GHOST SDK (*General Haptics Open Software ToolKit – Software Developmente Kit*), para trabalhar com tais dispositivos, que é escrito em C++ orientado a objetos e representa o ambiente háptico como uma coleção hierárquica de objetos geométricos e efeitos espaciais. Este *kit* usa *OpenGL* e gráficos 3D, e possui um loop de simulação baseado em quatro funções (BURNS *et al.*, 2004):

- atualizar a posição do nó PHANTOM na cena;
- atualizar os objetos na cena;
- detectar colisões;

- enviar a força resultante para o dispositivo.

1.3.2 Simulador de Realidade Virtual para Endoscopia

Procedimentos minimamente invasivos, como por exemplo, endoscopias, são importantes em diversos tratamentos, pois possibilitam um diagnóstico mais preciso. Aparelhos usados neste tipo de procedimento, para gastroscopia e colonoscopia, são tubos flexíveis que são inseridos no sistema digestivo de pacientes, possuindo um canal óptico para transmitir imagens ao monitor do médico. Para navegação, o médico pode curvar a ponta do endoscópio em duas direções ortogonais por pequenas roldanas acopladas na cabeça do aparelho, conforme Figura 17 (KORNER e MANNER, 2002).

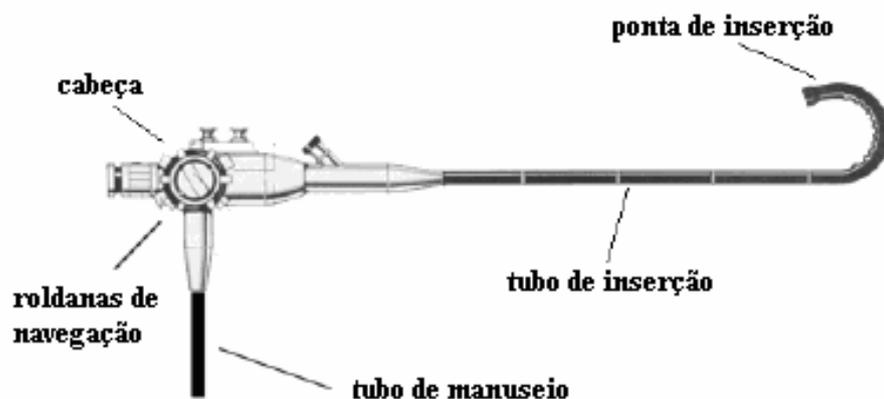


Figura 17 - Endoscópio (Adaptado de KORNER e MANNER, 2002)

Em 1999, na Alemanha, pesquisadores desenvolveram um sistema de computador para treinamento em endoscopia flexível, procurando criar um retorno de força que o usuário pudesse sentir. Durante a sessão, o endoscópio é inserido dentro de um aparelho que

representa um paciente. Então, o usuário aplica forças para mover ou rotacionar o tubo do aparelho e rotacionar as duas rodas de navegação. Tais forças são computadas e as imagens são mostradas em um monitor, como em um exame real (KORNER e MANNER, 2002). Além disso, um endoscópio flexível tem diversos graus de liberdade, sendo que somente alguns são levados em consideração, tais como:

- translação do tubo;
- rotação do tubo;
- curvatura da ponta na direção X (que gira uma roda de navegação);
- curvatura da ponta na direção Y (que gira outra roda de navegação).

Os pesquisadores representaram forças por meio de equações, as quais são calculadas pelo computador. Também construíram equipamentos com motores, correias dentadas, fios, roldanas, que imitam o funcionamento de um endoscópio. Durante a endoscopia, a visão limitada faz com que o médico precise de indícios hápticos para orientação. Quando o tubo encontra uma parede por exemplo, a ponta do endoscópio é curvada e uma força pode ser sentida nas rodas de navegação posicionadas na cabeça do aparelho.

Para resolver este problema, a utilização de freios poderia ser necessária, com o intuito de simular a detecção de tensão no endoscópio ocasionada por um aumento da força nas rodas de navegação, que é muito comum em colonoscopias. Entretanto, somente um freio não é capaz de simular os efeitos encontrados por um médico, por isso, são necessários também *feedback* de força da ponta do tubo e *feedback* de força do próprio tubo.

Na simulação, é necessário também que o médico sinta as forças corretas na cabeça do endoscópio. Para simular a força de translação do tubo, a ponta do endoscópio foi ligada a um carro conectado a uma correia dentada, a qual é acionada por um motor, como mostra a Figura 18 (KORNER e MANNER, 2002).

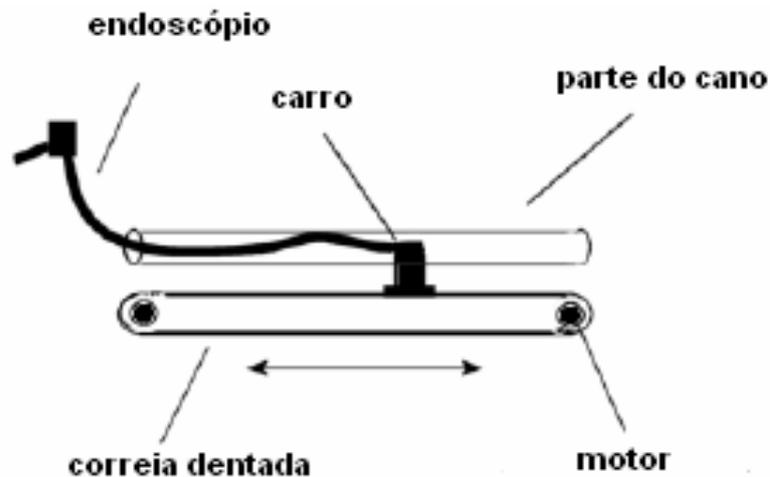


Figura 18 - Desenho de parte do simulador endoscópico (Adaptado de KORNER e MANNER, 2002)

Forças também são geradas pelos movimentos da ponta do tubo, uma vez que quando este está dentro do paciente, colisões com as paredes do cólon podem ocorrer, e o médico deve sentir tais movimentos pelas rodas do endoscópio. Para isso, foram utilizados arames dentro do tubo, entrelaçados ao redor de parafusos acionados por dois motores e ligados a parafusos na outra extremidade do tubo para acionar as roldanas de navegação, presentes na cabeça de um endoscópio real, como pode ser observado na Figura 18 (KORNER e MANNER, 2002).

1.3.3 Simulador para Treinamento de Acupuntura Chinesa

Outro exemplo da utilização de dispositivo háptico em sistemas para treinamento médico, é um simulador de manipulação de agulha, que tem como propósito auxiliar na aprendizagem e treinamento de acupuntura chinesa. Esta técnica é empregada no tratamento e prevenção de diversas doenças, onde por meio da inserção e extração de agulhas é feita a

estimulação de determinados pontos do corpo humano, controlando a frequência e a profundidade.

Por isso, a precisão e a correta manipulação das agulhas são determinantes para um tratamento satisfatório, exigindo habilidade e experiência com as agulhas. Os estudantes de acupuntura geralmente treinam em pacientes reais ou manequins artificiais, sendo que nos primeiros, o procedimento pode causar dores se mal executado, e os segundos não oferecem uma experiência real. Um sistema com um modelo humano virtual e um dispositivo que propicie um retorno de força para a tarefa de inserção, pode oferecer informações úteis aos estudantes, com um certo grau de realismo e sem prejudicar a saúde de pacientes (CHUI *et al.*, 2004).

O simulador oferece ao usuário um menu principal e, dentre as funções mais importantes, citam-se o uso da agulha e ajuste de modelo. Selecionando a primeira função, as sessões de treinamento são iniciadas com a escolha aleatória de pontos do corpo humano, os quais são apresentados por meio de um monitor ao estudante, juntamente com um objeto virtual representando uma agulha. O usuário deve inserir a agulha nestes pontos manuseando um equipamento háptico de seis graus de liberdade, como mostra a Figura 19. O estudante ou usuário pode alterar a posição e orientação do corpo virtual, solicitar informações sobre os pontos e sobre seu desempenho no treinamento ao final de uma sessão, além de poder manter a agulha virtual em uma determinada posição, quando esta está dentro do corpo humano virtual (CHUI *et al.*, 2004).

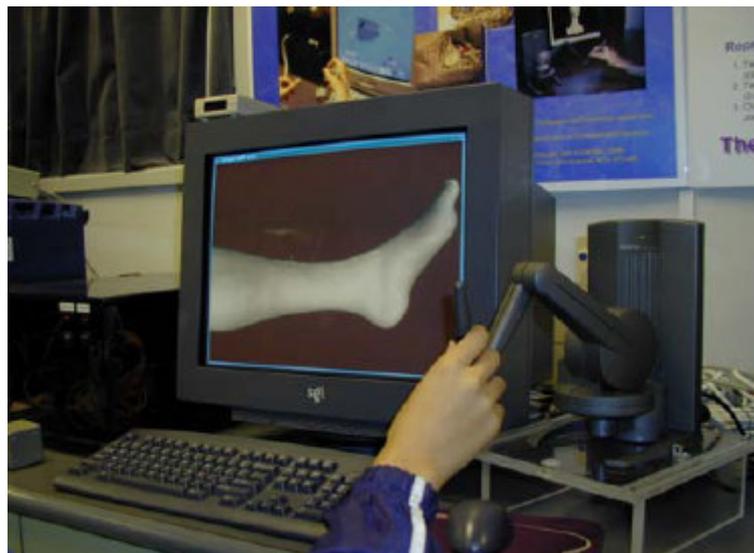


Figura 19 - Simulador de Acupuntura Chinesa em execução (CHUI *et al.*, 2004)

A segunda opção permite o ajuste de parâmetros de controle do modelo háptico, divididos em onze passos, os quais podem ser definidos de acordo com a experiência dos participantes da simulação. Os valores dos parâmetros podem ser armazenados pelo sistemas e carregados em outras sessões.

Para a construção do sistema, optou-se pela separação do processamento de imagens e do processamento háptico, com o objetivo de atingir uma elevada eficiência. Desta forma, o simulador de acupuntura chinesa é constituído de duas máquinas para processamento, sendo uma *SGI Octane2 workstation*, responsável pela renderização das cenas durante o treinamento, denominada de servidor visual, e uma *Windows NT workstation*, conectada à primeira por meio de uma rede e responsável pelo recebimento e envio de informações ao dispositivo *PHANTOM Desktop*, denominada de servidor háptico.

O *overhead*⁴ da rede foi considerado durante os testes. Entretanto, os autores afirmaram que a eficiência global foi satisfatória, alcançando taxas de atualização de imagens em frequências acima de 30 Hz, e taxas de atualização de retorno háptico em torno de uma frequência de 1000 Hz. A renderização visual foi programada em C++ com suporte das

⁴ Excesso na utilização de um recurso computacional.

bibliotecas *Visualization Toolkit* e *GIMP Toolkit*, e a renderização háptica em C++, com auxílio do GHOST. Antes da construção de uma cena, o servidor virtual envia um sinal ao servidor háptico, solicitando a posição e orientação do dispositivo para definir a agulha virtual na tela que, por sua vez, envia a resposta somente depois da solicitação, já que trabalha em uma frequência maior, o que poderia causar problemas de sincronização. Além dessas mensagens trocadas entre os servidores, o servidor visual envia informações quando o teclado ou o mouse são acionados, indicando mudanças no modo de interação (CHUI *et al.*, 2004).

Na construção do modelo háptico, alguns fatores foram levados em consideração, como: realismo, procurando simular o comportamento de força na manipulação de agulhas durante uma sessão de acupuntura; computação, buscando uma eficiência computacional que atinja uma taxa de atualização aceitável; e a definição de equações para cálculo de força, e limitações, envolvendo o equipamento e suas limitações com relação ao máximo de força e tenacidade.

Neste contexto, as categorias de tecido do corpo humano tiveram que ser estudadas e modeladas, como pele, tecido adiposo, músculo e osso, definindo equações que simulassem o comportamento da agulha quando em contato com esses tecidos. Para isso, foram consideradas características, como viscosidade e elasticidade, deformação, fricção entre agulha e tecido, tenacidade do tecido. Além disso, foi necessário calcular a composição de forças conforme a agulha atravessa as camadas de tecido.

1.3.4 SITEG – Sistema Interativo de Treinamento em Exame Ginecológico

Baseando-se nas vantagens oferecidas pelos sistemas de Realidade Virtual voltados à área médica, como a inexistência de riscos aos pacientes e médicos e estudantes de medicina, disponibilidade do AV para treinamento, diversidade de casos (BURDEA, COIFFET, 2003 **apud** MACHADO *et al.*, 2004e) (MACHADO, 2003 **apud** MACHADO *et al.*, 2004e), pesquisadores construíram um simulador com o objetivo de disponibilizar uma ferramenta que permita o treinamento de profissionais em medicina, no que diz respeito à identificação de doenças relacionadas ao colo do útero. Para isso, o simulador oferece casos de colo normal, Herpes e HPV (*Human Papiloma Virus*), com interação em tempo real, geração de imagens estereoscópicas e dispositivo háptico para sensação de toque (MACHADO *et al.*, 2004e).

O exame do colo do útero é realizado em duas etapas: uma visual, que consiste na observação de características da vagina e do colo uterino por meio de um espéculo⁵, e uma tátil, que consiste no toque do canal vaginal e do colo uterino, para avaliar as características do tecido. Na primeira etapa, o médico verifica as seguintes características: presença e aspecto das secreções, lacerações, neoplasias, aspecto do muco cervical e das paredes do órgão genital, coloração, forma do orifício externo. Na segunda, o médico realiza a palpação das glândulas vestibulares e paredes vaginais, bem como o colo do útero e os fundos dos sacos vaginais, procurando analisar determinados aspectos como: elasticidade, extensão, irregularidades, sensibilidade, temperatura, superfície, consistência, forma, volume. (MACHADO *et al.*, 2004e).

⁵ Instrumento em forma de tubo que permite a observação de determinadas cavidades do corpo.

Entretanto, é um exame que pode causar constrangimento nas pacientes, dificultando o estudo em pacientes reais, e conseqüentemente, dificultando o aprendizado dos estudantes da área médica.

O SITEG é um simulador para treinamento em exames ginecológicos, oferecendo diferentes patologias e estágios destas, disponibilizando informações sobre as patologias, avaliando o desempenho do usuário e permitindo a realização das duas etapas do exame. O desenvolvimento do sistema se baseou em quatro abordagens: construção dos modelos, geração e controle de visualização da cena, geração e controle de sensações táteis, e sistema de avaliação, que foram categorizados em classes.

Desta forma, uma classe ficou responsável pela importação de modelos, como objetos gráficos a partir de arquivos VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), bem como a definição de características destes objetos, como cor e iluminação. Quatro modelos foram importados: o espécúlo, o canal vaginal, o colo do útero e a genitália feminina externa. Uma segunda classe, de geração e controle de visualização, foi definida para posicionar os objetos e controlar as rotinas que geram as imagens estereoscópicas. A terceira classe foi construída para criar e gerar objetos hápticos de acordo com informações dos modelos (textura dos objetos), realizando cálculos e retorno de força, bem como o gerenciamento do dispositivo. A quarta e última classe, a de avaliação, foi implementada para analisar o desempenho do usuário durante um treinamento (MACHADO *et al.*, 2004e).

Para a execução foram criados dois módulos:

- 1 - Estudo, com a escolha de um caso ou patologia por parte do usuário, para apresentação de informações visuais e táteis relacionadas a escolha feita; e

- 2 - Diagnóstico, que permite o treinamento da capacidade do usuário de diagnóstico, sendo a escolha realizada pelo SITEG de forma aleatória. O sistema apresenta ainda sub-

módulos: de avaliação, conectado ao módulo de diagnóstico, que compara informações do treinamento do usuário com informações de um diagnóstico correto; visual, que mostra um modelo tridimensional de um espéculo; toque, que apresenta um modelo da genitália externa e do dedo do participante, sendo este último acionado pelo equipamento háptico. Tanto para os módulos quanto os sub-módulos, quatro opções de visualização podem ser escolhidas, sendo uma monoscópica e três estereoscópicas, permitindo a visualização de imagens em três dimensões.

No que diz respeito à plataforma de execução do sistema, com o intuito de reduzir custos, optou-se pela plataforma *Linux*. A interação entre usuário e sistema dá-se por meio de um *mouse* convencional, de um teclado, que ativam e desativam opções de um menu, e um equipamento háptico, dispositivo constituído de um braço mecânico articulado que oferece 6 graus de liberdade para movimentação e retorno de força em 3 graus (x, y, z). Este dispositivo no sub-módulo visual é utilizado para posicionar a fonte de luz e iluminar o canal vaginal, e no sub-módulo tátil oferece um retorno tátil e de força, tornando a interação intuitiva e próxima a realidade. A linguagem de programação escolhida foi o C++, em conjunto com a biblioteca *OpenHaptics*, que disponibiliza funções e comandos para controle do dispositivo háptico, além de serem compatíveis com o *OpenGL*.

Para calibração do sistema, foram usadas informações fornecidas por um médico experiente em diagnósticos desta natureza, as quais são apresentadas na Tabela 5, e foram traduzidas numericamente para processamento. Além disso, um médico também testou o sistema, definindo propriedades de elasticidade e textura, que foram adicionadas aos modelos (MACHADO *et al.*, 2004e).

Tabela 5: Propriedades visuais e táteis definidas por um médico experiente (MACHADO *et al.*, 2004e)

Caso ou Patologia	Propriedades			
	Coloração	Textura	Viscosidade	Elasticidade do Colo do Útero
Normal	Rosa	Lisa	Não presente	Semelhante a da Cartilagem Nasal
Herpes Genital	Branco	Irregular e Lisa	Líquido no Interior	Pequena Constante de Elasticidade
HPV	Semitransparente	Irregular de Esponjosa	Sólido no Interior	Alta Constante de Elasticidade

1.4 Considerações Finais

Os AVs podem ser projetados para auxiliar profissionais de diversas áreas da saúde, como médicos e estudantes de Medicina, permitindo a realização de treinamentos com diferentes níveis de dificuldade e situações, minimizando a necessidade de testes em pacientes reais, cadáveres e animais. Podem, ainda, evitar constrangimento dos pacientes, experiências mal sucedidas, minimizar o receio de cometer erros por parte dos estudantes e médicos.

Neste contexto, a escolha de dispositivos é muito importante, uma vez que envolve diversas questões, como disponibilidade financeira e grau de realismo proporcionado. Dispositivos convencionais como teclado e *mouse* são mais baratos que os não convencionais como luva de dados e equipamento háptico, entretanto, estes últimos oferecem um grau de realismo mais elevado em uma simulação, pois assemelham-se a objetos do mundo real.

A combinação de dispositivos em um sistema tende a facilitar a escolha dos usuários, que podem levar em consideração os recursos disponíveis e o grau de realismo desejado para atingir seus objetivos.

CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DE INTERAÇÃO EM AVs

Para o projeto e desenvolvimento de interfaces que promovam a interação entre homem e máquina, devem ser levados em consideração tanto aspectos computacionais, os quais envolvem dispositivos de comunicação e arquitetura de software, quanto aspectos relacionados à natureza humana, envolvendo questões físicas, fisiológicas, psicológicas, entre outras, procurando desta forma, facilitar o uso de sistemas, além de elevar o aprendizado e a motivação (BAECKER *et al.*, 2004).

Os AVs podem possuir interfaces avançadas, tornando o projeto destas uma tarefa complexa. Entretanto, abrem um horizonte de novas possibilidades, uma vez que estes ambientes oferecem interfaces elaboradas com gráficos tridimensionais e técnicas de interação em três dimensões (KAUR *et al.*, 1998).

Em sistemas de RV, para manter a imersão e um grau adequado de realismo, é necessário, primeiro, que o computador processe ou renderize uma determinada quantidade de quadros a ser exibida por segundo, e segundo, que as imagens sejam de qualidade (HADWIGER, 2007). Um sistema de RV envolve quantidade de polígonos para compor uma cena, resolução de texturas, número de usuários, tempo de renderização, bem como características da tarefa a ser executada, número de objetos no AV, características do sistema (BOWMAN *et al.*, 1999). Entretanto, além dos aspectos computacionais envolvidos na geração de um AV, como dispositivos empregados, máquinas para processamento, redes de computadores e sistemas distribuídos, uma avaliação também deve conter informações sobre os participantes da interação, ou seja, o usuário.

Desenvolvedores de AVs sempre se preocuparam com a implementação de dispositivos e a criação de técnicas de interação, muitas vezes deixando de lado a questão dos

usuários, os participantes da interação no ambiente sintético (GABBARD e HIX, 2002). Por isso, estudos vêm sendo realizados com o intuito de identificar os problemas de usabilidade de um projeto de interface ou de uma interface implementada, causando a necessidade de criação de métodos e parâmetros para realizar avaliações.

A usabilidade consiste na facilidade de uso e utilidade de um sistema, incluindo satisfação do usuário, capacidade de aprendizado, velocidade e acurácia na execução de uma determinada tarefa (BOWMAN *et al.*, 2001a). A Engenharia de Usabilidade procura analisar o usuário e as tarefas, elaborar projetos de interação, construir protótipos e métodos de avaliação de usabilidade.

Para realizar a avaliação de sistemas, deve-se criar uma lista de fatores, que são características mensuráveis de interação em um AV. Um exemplo, citado por BOWMAN *et al.* (2001a), é o conjunto de fatores de qualidade desenvolvido em Atlanta, Estados Unidos, para uma técnica de *travel* imersiva, que inclui:

- **velocidade:** definindo uma velocidade ideal de navegação;
- **acurácia:** que consiste na aproximação do objetivo que se deseja atingir;
- **consciência espacial:** que é o conhecimento do usuário com relação a sua posição e orientação no AV;
- **facilidade de aprendizado:** que trata da habilidade de um novo usuário em utilizar o sistema;
- **facilidade de uso:** que compreende as dificuldades de execução da técnica sob o enfoque do usuário;
- **ganho de informação:** o qual engloba a habilidade do usuário na obtenção de informações do ambiente durante a interação;

- **presença:** que compreende o senso de imersão;
- **conforto do usuário:** expressado pelo próprio usuário, no que se refere aos sentimentos de vertigem, náuseas, stress, entre outros, durante a navegação (BOWMAN *et al.*, 2006).

Entretanto, um método ou uma técnica de avaliação desejável deve identificar problemas de usabilidade em um sistema, ser de fácil utilização, apresentar resultados precisos e confiáveis, não necessitar de avaliadores experientes para execução (BARCIA *et al.*, 2007).

2.1 Fatores Humanos de Interação

Como mencionado, fatores humanos são significativos para avaliação de interação entre homem e computador, envolvendo capacidades e limitações do usuário, e podendo ser divididos em três áreas: eficiência do desempenho humano, questões de segurança e saúde, implicações sociais. Neste contexto, o entendimento de algumas questões deve ser realizado, como: quais características do usuário podem afetar o desempenho do AV, possíveis problemas de saúde no usuário devido à exposição ao AV, limitações do AV percebidas pelo usuário, tarefas realizadas de forma satisfatória e o nível de entendimento da tarefa e do uso do sistema por parte do usuário (KENNEDY *et al.*, 1998).

Nesta área da eficiência do desempenho do participante, o objetivo é definir princípios que maximizem a eficiência de desempenho do usuário na execução de uma determinada tarefa, englobando complexidade de navegação, grau de presença, bem como características

da tarefa e do usuário, interação de múltiplos modos, formas de visualização, audição e retorno háptico, além de limitações sensoriais e motoras dos indivíduos. Na questão de saúde e segurança, são incluídos efeitos diretos, os quais são classificados em microscópicos (olhos afetados por campo eletromagnético durante exposição prolongada a equipamento de exibição, por exemplo) e macroscópicos (ocorrência de traumas, por exemplo); e efeitos indiretos, que consistem em distúrbios psicológicos. O impacto social causado pela tecnologia trata de problemas relacionados ao comportamento na vida real influenciado por interações em AVs, principalmente naqueles que apresentam cenário de violência e destruição (KENNEDY *et al.*, 1998).

Os dispositivos tornam a interação mais intuitiva e eficiente (GRANTZ e ROESSLER, 1998). Por isso, um estudo para avaliar um simulador de treinamento médico com equipamento háptico acoplado é apresentado na seção seguinte, com a coleta de informações sobre retorno háptico, tempo de processamento e percepção do usuário (relação entre os retornos háptico e visual), uma vez que determinadas interações envolvem visualização e retorno háptico, exigindo processamento para geração de imagens, além de cálculo de força e envio de resposta ao dispositivo.

2.2 Avaliação de Dispositivos Hápticos em Simulações Cirúrgicas

Como já mencionado, cirurgias são importantes na área médica, entretanto, estudantes precisam de experiência para realizá-las. O que ocorre é que os médicos geralmente praticam em animais, cadáveres e pacientes, no entanto, animais não possuem a mesma anatomia que humanos e cadáveres não possuem uma correta resposta fisiológica. Em pacientes reais há um

risco do estudante não ter a competência necessária para executar o procedimento, podendo gerar insegurança e riscos ao paciente.

Um AV pode ser a solução, e um *feedback* háptico é indispensável para um treinamento altamente realístico em simuladores cirúrgicos. De acordo com BATTEAU *et al.* (2004), pesquisadores estão estudando a percepção háptica destes simuladores, onde um dos problemas encontrados é a latência, o atraso entre a ação do usuário e a resposta do sistema, uma vez que isto pode prejudicar o treinamento, já que é necessária uma determinada precisão.

Na pesquisa realizada na Universidade de *Utrecht*, na Holanda, dois experimentos foram realizados para a percepção da latência e o retorno háptico humano, o que pode ser considerada como uma tarefa complexa, pois a habilidade humana para sentir a latência háptica é pobre (BATTEAU *et al.*, 2004).

Para os experimentos, foi utilizado um dispositivo háptico *CathSim AccuTouch*, conectado a um PC workstation. O dispositivo, conforme Figura 20a, consiste de uma haste representando uma agulha, acoplada a um freio magnético, sendo que a haste ou agulha tem três graus de liberdade de movimento, que podem ser detectados e processados pelo PC (BATTEAU *et al.*, 2004).

O freio magnético, mostrada na Figura 20b, oferece um grau de liberdade sem um *feedback* háptico de força e reflexão à medida que a agulha é inserida ou extraída, sendo possível a aplicação de aproximadamente 4N de força de resistência.



Figura 20a - Dispositivo Háptico CathSim (BATTEAU *et al.*, 2004)



Figura 20b - Freio do dispositivo Háptico CathSim (BATTEAU *et al.*, 2004)

Na tela, o usuário visualiza uma agulha que será inserida na pele, causando uma deformação. Esta deformação será calculada e mostrada na imagem, conforme mostrado na Figura 21. Durante a inserção da agulha é percebida uma resistência, transmitida pelo aparelho para a mão do usuário. Quando a pele é perfurada, o dispositivo simula um estouro. Para calcular os efeitos da inserção e extração da agulha, utilizou-se a equação 1:

$$FG = \begin{cases} FG_p \left(\frac{x}{x_p} \right)^2, & \text{se } 0 < x < x_p \\ 0 & \end{cases} \quad (1)$$

onde $FG \in [0, 1]$, é o ganho de força, que é a fração máxima que o dispositivo é capaz de alcançar, na casa de 4N, x é a distância entre a ponta da agulha e o ponto de inserção na pele, e x_p é o ponto de punção. Durante a extração, FG será zero até a agulha ser retirada da pele.

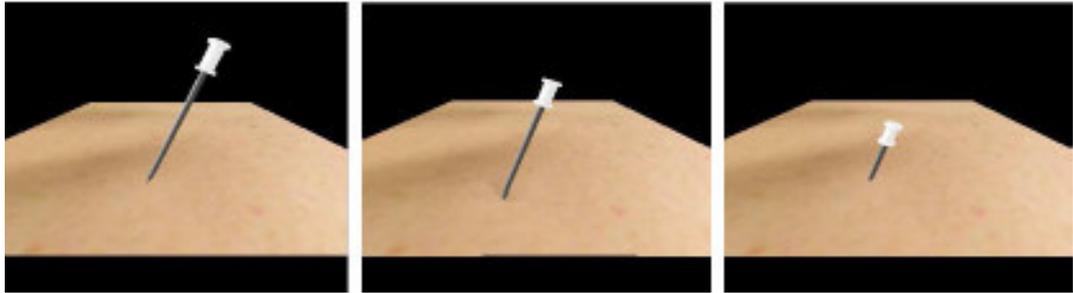


Figura 21 - Deformação virtual da pele durante procedimento (BATTEAU *et al.*, 2004)

Estudantes de Medicina, médicos e enfermeiros aceitaram participar dos experimentos, e tiveram um tempo para conhecer o sistema.

No primeiro experimento, o objetivo era determinar a consistência do retorno de uma percepção háptica. Resultados destes testes podem oferecer uma percepção dentro de uma precisão necessária para *feedback* háptico em simuladores médicos. Os testes contaram com vinte e sete voluntários com experiências diferentes. Como o foco era a consistência, não foi determinada qual simulação cada um deveria realizar, sendo permitida a execução de qualquer procedimento desejado pelo usuário. E, assim, os voluntários foram instruídos a ajustar a função até que a resposta háptica fosse consistente. Depois, o valor ajustado foi repetido dez vezes (BATTEAU *et al.*, 2004).

No segundo experimento, realizado com vinte e oito voluntários, a intenção foi investigar a habilidade para detectar a latência entre o *feedback* visual e *feedback* háptico por meio de uma variável. Cada voluntário começou com uma latência na faixa de 120-150 ms, que foi gradualmente decrementada em 15 ms até que o voluntário dissesse que a latência poderia não ser percebida. Este valor foi anotado e o teste reiniciado com uma latência menor, em uma faixa de 0-30 ms. Então, o valor foi gradualmente incrementado até que o voluntário dissesse que ele estava percebendo a latência. O segundo valor também foi anotado e o experimento repetiu-se por três vezes (BATTEAU *et al.*, 2004).

Para cada voluntário, foram calculados a média e desvio-padrão da função empregada, sendo que a primeira indicou uma seleção consistente de resistência da agulha com o procedimento simulado, e o segundo indicou uma consistência na resposta do usuário. O primeiro é dependente da suposição do procedimento de inserção, e o segundo depende da resposta do usuário e a habilidade para detectar variações no *feedback* háptico. A métrica escolhida para analisar os dados foi a Lei de Weber, que consiste no desvio-padrão dividido pela média, conforme equação 2, com o objetivo de normalizar a consistência dos voluntários.

$$W = \text{desvio-padrão} / \text{média} \quad (2)$$

Sendo assim, um valor pequeno de W indica que o voluntário é capaz de reproduzir o mesmo nível de *feedback* háptico, e um valor alto de W indica uma consistência pobre. Quatorze por cento dos voluntários apresentaram valores de W que foram mais altos do que o restante do grupo, significando que a habilidade não depende da experiência (BATTEAU *et al.*, 2004).

Para cada voluntário foi calculada também uma média de latência com base nos valores de latência mais altos e mais baixos. Para todos os participantes, a média e o desvio-padrão foram em torno de 98 ms e 19 ms, respectivamente. De acordo com os pesquisadores, uma distribuição acumulativa da latência mostrou que 99% são incapazes de detectar uma latência de 54 ms entre os *feedback* visual e háptico.

Os autores afirmaram, ainda, que os experimentos demonstraram que a consistência de respostas hápticas pode variar amplamente de pessoa para pessoa, e a habilidade não depende da experiência, conforme mencionado anteriormente. A métrica W oferece uma comparação entre os participantes dos testes, e como 99% das pessoas não percebem uma latência de 54 ms, este tempo pode ser utilizado para processamento e refinamento do *feedback* háptico.

2.3 Avaliação de Técnicas de Seleção e Manipulação em Mundo Virtuais

Como já descrito, as operações de navegação, seleção e manipulação de objetos no AV são baseadas em técnicas de interação, as quais estão ligadas com os chamados dispositivos de entrada e saída. Nesta seção, será apresentado um trabalho realizado na Universidade do Rio Grande do Sul, que teve como objetivo avaliar técnicas de seleção e manipulação em um AV imersivo, que representa um jogo de xadrez, onde as técnicas avaliadas foram: mão virtual, associada a um *mouse* convencional e a uma luva de dados, e a *ray-casting*, associada a luva de dados (FREITAS *et al.*, 2002).

A aplicação consiste de um jogo de xadrez, sendo o AV constituído de um tabuleiro com 64 casas e 32 peças. O usuário pode visualizar o tabuleiro de duas formas: uma vista superior, simulando uma interface bidimensional, e uma com inclinação de 60 graus, buscando uma proximidade com a realidade. Ao usuário não é permitido movimentar peças para fora do tabuleiro ou selecionar mais de uma peça simultaneamente. É permitido movimentar uma peça por vez, e para uma nova seleção é preciso que todas as peças estejam no tabuleiro. Na movimentação de uma peça, esta é suspensa sobre o tabuleiro, e a troca de posição pode então ser realizada (FREITAS *et al.*, 2002).

FREITAS *et al.* (2002) citam que as técnicas de interação podem ser classificadas de diversas formas, inclusive como metáforas de interação. Estas por sua vez podem ser categorizadas em egocêntricas, onde o usuário é tido como parte do mundo virtual e a proporção entre objetos e usuário deve ser levada em consideração; e exocêntricas, onde as proporções entre objetos e usuário não são consideradas (POUPYREV, 1998 **apud** FREITAS *et al.*, 2002).

No trabalho citado foi utilizada a metáfora egocêntrica, visto que a exocêntrica seria mais adequada em ambientes onde os objetos se encontram dispersos e, em um jogo de

xadrez, as peças estão ao alcance da mão do jogador. Já as técnicas de interação propriamente ditas utilizadas no trabalho foram: mão virtual e *ray-casting*. Na técnica da mão virtual, a mão do usuário é representada no AV, e ele altera a posição e orientação por meio de um dispositivo de entrada, como uma luva de dados. Para a seleção, o participante deve posicionar a representação da mão dentro do objeto desejado, e informar a sua intenção, utilizando um botão, por exemplo. Na técnica *ray-casting*, um raio infinito e semi-transparente parte da representação da mão virtual, sendo sua direção determinada pela orientação desta. Para a seleção, o usuário aponta para o objeto e novamente informa o seu desejo.

Além disso, durante os testes, situações foram consideradas com relação a ausência e presença de *feedback* visual, sendo que neste último caso a peça selecionada se torna vermelha e é suspensa no tabuleiro, indicando a seleção. Outra consideração foi a respeito da visualização, que pode ser realizada em 0 grau ou em uma inclinação de 60 graus, permitindo nesta última uma noção melhor de distância entre as peças e o usuário, entretanto, necessitando de visão esteresocópica, o que aumenta o grau de imersão (FREITAS *et al.*, 2002).

Para o estudo realizado, foram empregados quatro dispositivos: *mouse*, luva de dados, rastreadores de movimento e óculos de cristal líquido. O *mouse* convencional foi usado para guiar a mão virtual nas tarefas de seleção e manipulação.

A luva adotada foi uma 5DT *Data Glove 5*, que capta diversos gestos do usuário, uma vez que possui um sensor de rotação e inclinação, bem como um sensor de flexão (fibra óptica) para cada dedo, sendo a resolução da flexão de cada dedo de 8 bits, o que possibilita 256 posições distintas, e a resolução de rotação e inclinação de -60 a 60 graus. Foi utilizada na implementação de interação com as técnicas da mão virtual e *ray-casting*. Neste contexto, a seleção é realizada com um gesto de fechar da mão do usuário, o movimento com a mão

fechada significa mover a peça, e o gesto de abrir da mão indica o ato de soltar a peça em uma determinada posição do tabuleiro.

Outro equipamento utilizado foi um rastreador de movimento, do tipo *Flocks of Birds*, comercializado pela empresa *Ascension Technologies*, com capacidade para medir um campo magnético emitido por uma fonte, gerando posição e orientação no espaço tridimensional, pois a luva não era capaz de captar movimentos de translação. O equipamento em questão é constituído de fonte geradora e um sensor que é colocado na mão do usuário, sobre a luva.

Para visualização, foram escolhidos óculos de cristal de líquido denominados H3D *Glasses*, que geram imagens para os olhos direito e esquerdo a uma taxa de 30 imagens por segundo.

A metodologia para avaliação de seleção e manipulação adotada baseou-se em cinco hipóteses, variáveis independentes que seriam alteradas para testar diferentes hipóteses, e variáveis dependentes, que mediriam o desempenho dos usuários. As hipóteses estão ligadas a determinadas preferências dos usuários, sendo (FREITAS *et al.*, 2002):

1 – O usuário prefere o tabuleiro a 0 grau e terá problemas com o tabuleiro inclinado, pois ele está mais familiarizado com interfaces bidimensionais;

2 – O *feedback* visual influencia no desempenho dos usuários na interação, uma vez que existem diversos objetos no ambiente, este tipo de resposta pode ser útil na identificação do objeto a ser selecionado e manipulado;

3 – A técnica da mão virtual será a preferida dos usuários quando o dispositivo de entrada for a luva de dados, já que a tarefa realizada no AV é semelhante à tarefa realizada no mundo real, e a técnica de *ray-casting* apresenta baixo desempenho para distanciar e aproximar objetos (BOWMAN, 1997; POUPYREV, 1998 apud FREITAS *et al.*, 2002);

4 – O dispositivo preferencial será o *mouse*, pois os usuários estão habituados com este equipamento;

5 – O desempenho do usuário será mais elevado quando o tabuleiro estiver em 0 grau e a técnica a ser utilizada for a *ray-casting*, uma vez que esta é considerada uma técnica bidimensional e o tabuleiro apresentará uma interface bidimensional.

As variáveis independentes consistem nas características do sistema que podem ser manipuladas para produção de diferentes condições de comparação. Neste estudo foram definidas as seguintes variáveis independentes (FREITAS *et al.*, 2002):

- **inclinação do tabuleiro (0 e 60 graus):** permitindo testar a hipótese 1 e auxiliando no teste da hipótese 5;

- **feedback visual, para testar a hipótese 2:** tendo como *feedback* a cor da peça selecionada;

- **dispositivo utilizado:** envolvendo a utilização de luva de dados e *mouse* e permitindo o teste das hipóteses 3, 4 e 5. Quando o dispositivo for o *mouse*, o cursor torna-se um objeto que representa uma mão, relacionando-se diretamente com a hipótese 4. Quando for a luva de dados, o tipo de cursor depende da técnica de interação (mão virtual e *ray-casting*);

- **técnica de interação com a luva:** relacionada com a hipótese 3, que envolve a mão virtual, e a hipótese 5, que combina a orientação do tabuleiro e a técnica de *ray-casting*.

As variáveis dependentes por sua vez, são medidas usadas para indicar o desempenho ou a aceitação da técnica por parte dos usuários, e podem ser objetivas, como o tempo para selecionar e manipular um objeto, ou subjetivas, as quais são coletadas por meio de questionários. Neste estudo, foram adotadas as seguintes variáveis (FREITAS *et al.*, 2002):

- **eficiência da técnica de interação:** definindo o tempo de realização de uma determinada tarefa;

- **facilidade de uso da técnica de interação:** relacionando-se com a simplicidade de uso de cada técnica;

- **conforto/desconforto do dispositivo utilizado:** medindo o conforto em relação a cada dispositivo, levando em consideração o peso do braço, da mão e do sentimento de náuseas durante a interação;

- **apreciação pessoal do usuário:** levando em conta a preferência do usuário por um determinado dispositivo.

O experimento consistiu na execução de movimentos determinados com as peças do jogo de xadrez, com contabilização do tempo de execução dos movimentos e da quantidade de erros até a finalização de cada tarefa, além da aplicação de questionários (FREITAS *et al.*, 2002).

Para realizar as tarefas foram selecionadas 29 pessoas (15 homens e 14 mulheres), com o descarte de uma, sendo o restante do grupo formado por quatro professores e os demais, estudantes de computação, com faixa etária variando de 20 a 37 anos, apenas um canhoto, sendo que 27 não possuíam familiaridade com os equipamentos não convencionais. As tarefas foram definidas da seguinte forma: peças deveriam ser movimentadas no eixo x e no eixo z, realizando a seleção e o deslocamento para uma determinada posição; cada pessoa realizaria 24 tarefas, sendo 12 para movimentação de peças no eixo x e 12 para movimentação no eixo y; 8 tarefas seriam executadas com o *mouse* e 16 com a luva de dados, com este último dispositivo seriam implementadas as duas técnicas descritas anteriormente; em 12 tarefas as peças sofreriam alterações em sua coloração (*feedback* visual), e em outras 12 não haveria nenhuma modificação; em 12 tarefas o tabuleiro estaria inclinado, e nas outras 12 não haveria inclinação. Cada usuário teria de 5 a 10 minutos para realizar a tarefa, recebendo mensagens de instruções na tela do computador sobre a peça a ser manipulada, o dispositivo a ser utilizado e o movimento a ser realizado.

Um arquivo no sistema gravava os tempos de seleção e manipulação, contendo nome do usuário, número de cliques no vazio quando o mouse era utilizado, peças selecionadas de forma errada e quantidade de manipulações erradas quando as peças eram colocadas na posição errada (FREITAS *et al.*, 2002).

Baseando-se nos tempos registrados, nas informações coletadas com o questionário, e analisando as diferenças entre os tempos médios, FREITAS *et al.* (2002) analisaram as hipóteses levantadas anteriormente da seguinte forma: para a hipótese número um, sobre a preferência pelo tabuleiro sem inclinação, notou-se que, mesmo a maior parte dos usuários ter declarado preferência pelo tabuleiro inclinado em 60 graus, não houve diferença significativa entre os tempos médios quando a seleção ocorreu no eixo x, entretanto, quando a seleção ocorreu no eixo z, os tempos foram menores com o tabuleiro a 0 grau. No caso dos tempos de manipulação, o resultado foi o contrário, com os usuários tendo um melhor desempenho quando o tabuleiro estava inclinado em 60 graus para movimentos no eixo x, e não havendo diferença significativa na manipulação realizada no eixo z.

No que diz respeito a segunda hipótese, mesmo as pessoas declarando que o *feedback* visual ajudou na realização das tarefas, os tempos médios para ambas as tarefas (seleção e manipulação), com e sem *feedback* não demonstraram diferenças significativas.

Sobre a terceira hipótese, com a mão virtual sendo considerada a técnica desejável quando da utilização da luva, houve a confirmação de que esta técnica apresenta um desempenho melhor nas tarefas de seleção e manipulação no eixo z. No entanto, no eixo x, o desempenho foi semelhante para ambas as técnicas.

Em se tratando da quarta hipótese, adotando o *mouse* como dispositivo preferido, houve a confirmação da hipótese na avaliação subjetiva e nos tempos médios de seleção e manipulação, com tempos significativamente menores do que aqueles conseguidos com a luva de dados.

A última hipótese foi confirmada (usuário com melhor desempenho quando utiliza a técnica de *ray-casting* e o tabuleiro está a 0 grau), com os tempos médios para as tarefas de seleção significativamente menores do que aqueles realizados com o tabuleiro a 60 graus. Entretanto, com relação aos tempos de manipulação, diferenças significativas somente na movimentação no eixo x, quando o tabuleiro estava a 0 grau.

2.4 Uma Avaliação Sobre o Uso de Estímulos Táteis em um AV

Um trabalho realizado na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), procurou avaliar a utilização de um dispositivo que gerava estímulo tátil em um AV. Considerando que dispositivos de RV são projetados para proporcionar um maior realismo em uma interação homem e máquina, mas, muitos fabricantes usam avançadas tecnologias de interação eletromecânica, tornando os produtos mais caros. Os autores tinham o objetivo de construir equipamentos com custo mais acessível baseados em micro-motores vibratórios, encontrados em aparelhos celulares.

Para comprovar que o invento seria útil em uma interação em um AV, foi realizada uma avaliação de usabilidade em um AV imersivo, com aplicação de testes em cada etapa do processo interativo e a utilização de um jogo de quebra-cabeça virtual, para coleta de dados necessários na análise (KOPPER *et al.*, 2006).

O sistema de interação é constituído por diversas tarefas, que podem ser agrupadas de acordo com características semelhantes, definindo cada etapa do processo interativo, sendo que a divisão deste sistema em pequenas tarefas facilita a compreensão e estudo. A avaliação

de interação em AVs está relacionada com as tarefas que o usuário deve executar para interagir com o ambiente.

Os autores afirmaram que a identificação e o estudo de comportamento de tarefas básicas permite analisar o desempenho de um AV imersivo, levantando vantagens e desvantagens de usabilidade e utilidade, bem como verificat se um dispositivo está sendo usado corretamente. Assim, definem que o processo de manipulação de objetos virtuais, por exemplo, pode ser dividido em quatro etapas (BOWMAN, 1999 **apud** KOPPER *et al.*, 2006):

- **seleção:** definindo o que ocorre quando o usuário está tentando localizar um objeto para manipular;

- **anexação:** consistindo no que ocorre no momento que o usuário confirma o objeto a ser selecionado e anexa este ao seu apontador;

- **posicionamento:** tratando de como e o que acontece quando o objeto está sendo posicionado pelo usuário;

- **liberação:** especificando o que ocorre no momento que o objeto é liberado.

KOPPER *et al.* (2006) afirmam que na etapa de seleção, estímulos vibratórios podem ajudar o usuário a confirmar um objeto para escolha, uma vez que limitações de alguns dispositivos de RV não permitem uma evidência clara do objeto selecionado. Já na etapa de anexação, o objeto identificado por um apontador na fase anterior deve ser confirmado como o alvo da seleção, podendo o usuário utilizar um botão ou um comando (gesto, voz), para indicar uma correta seleção, e um estímulo para mostrar que o comando ou o botão pressionado foram detectados pelo sistema.

A tarefa de posicionamento consiste na manipulação do objeto, colocando em uma posição conforme um objetivo pré-estabelecido. Nesta etapa, os estímulos táteis poderiam informar que o objeto está próximo do objetivo ou uma colisão entre objetos ocorreu. Na

etapa de liberação, os estímulos podem ser úteis para indicar ao usuário que o objeto foi liberado realmente (KOPPER *et al.*, 2006).

O dispositivo apresentado por KOPPER *et al.* (2006) foi implementado com uma placa de controle constituída de quatro relés de saída e pequenos motores vibratórios colocados em partes do corpo do usuário, sendo que a interface de controle se comunicava com o computador via porta paralela, por onde recebia sinais da aplicação, indicando qual motor deveria ser ligado ou desligado, já que os quatro motores poderiam ser acionados de forma independente.

Os testes em si se basearam em um quebra-cabeça virtual, onde a tarefa era selecionar blocos de uma imagem já montada dispostos em uma quadrícula, e colocá-los em outra quadrícula montando a imagem anterior, fazendo o uso de um *mouse*, que movimentava no AV uma mão virtual. Uma sinalização na tela do sistema era exibida em caso de um posicionamento ser realizado de forma incorreta, procurando orientar o usuário. Desta forma, na etapa de seleção, o usuário movimentava o dispositivo tentando colocá-lo sobre um dos blocos, gerando um realce na borda no teste com estímulo visual, e uma vibração no teste com estímulo tátil. Na etapa de anexação, que se iniciava quando o usuário clicava com o botão esquerdo do *mouse* sobre um bloco, um sinal verde era exibido (estímulo visual), ou a vibração iniciada na etapa anterior era cessada. Na etapa de posicionamento, o bloco, preso à mão virtual, era movido com o uso do *mouse*. Se fosse liberado era preciso executar as etapas anteriores, sendo que os estímulos (visuais ou táteis) eram gerados somente quando o objeto estava próximo ou no interior da quadrícula correta, e para orientar o usuário havia setas nos três eixos, que indicavam a direção correta e colisões, quando do uso de estímulos visuais, e vibrações indicavam colisões e direções quando do uso estímulos táteis. Por último, na etapa de liberação, no que diz respeito a estímulos visuais, um sinal verde era emitido, indicando que o objeto ou bloco estava na posição correta e pronto para liberação. No que se refere a

estímulos táteis, uma vibração contínua na perna esquerda para os destros, e direita para os canhotos, indicava que o bloco poderia ser liberado, o que era feito com um clique no botão esquerdo do *mouse* (KOPPER *et al.*, 2006).

Dois tipos de testes foram realizados: um com estímulos visuais e outro com estímulos táteis. Variáveis de controle e medição foram definidas para cada etapa do processo interativo. Desta forma, nas etapas de seleção e anexação, foi adotada uma métrica objetiva, que consistia na opinião do usuário sobre a efetividade do estímulo tátil, informando se havia sentido tal estímulo e se este havia sido importante na sua tomada de decisões durante a simulação. Nas etapas de liberação e posicionamento, uma métrica objetiva similar à utilizada anteriormente foi empregada, entretanto, como no posicionamento era importante a disposição correta do objeto virtual com número baixo de colisões, foram computados o tempo integral em que o usuário mantinha um determinado objeto em estado de colisão, e a distância escalar entre o bloco e sua quadrícula, sendo que esta distância não poderia ultrapassar o valor de 1,5 centímetros. Na etapa de liberação, foi computado o intervalo de tempo entre receber um estímulo e soltar o objeto. Outras informações foram coletadas, como tempo total utilizado pelo usuário em cada parte da tarefa (com cada bloco), e tempo total de toda a tarefa.

O número de participantes envolvidos no experimento foi de 20 indivíduos, na faixa etária de 18 a 27 anos, sendo 17 homens e 3 mulheres, e 16 destros. Eles utilizaram óculos estereoscópicos, *mouse* e dispositivo rastreador de posição. Receberam explicações sobre a pesquisa, os procedimentos a serem executados e o AV (KOPPER *et al.*, 2006).

Os testes com estímulos visuais e estímulos táteis tiveram um intervalo de cinco minutos, com intuito de recuperar a fadiga muscular causada ao usuário por causa do dispositivo rastreador e dar um descanso visual. Nos testes com geração de estímulos táteis, dois pequenos motores foram colocados nos usuários nas regiões acima dos joelhos. Ao final,

cada usuário preencheu um questionário que possuía questões de cunho demográfico e ligadas aos testes.

Com base nos questionários foram obtidas informações sobre os usuários quanto ao conhecimento de RV, escolaridade e idade, sendo que 60% possuíam curso superior, todos tinham conhecimento sobre RV, e a média de idade era de aproximadamente 24 anos. No que se refere ao dispositivo, 18 usuários afirmaram ter entendido o que os estímulos táteis significaram durante as etapas, auxiliando 90% deles na conclusão da tarefa, entretanto, 40% ainda optaria pela configuração convencional se pudesse escolher, e 13 participantes declararam que se adaptaram de forma fácil aos atuadores táteis, que produziam as vibrações.

Nas etapas de seleção e anexação de blocos no quebra-cabeça virtual, 70% dos indivíduos sentiram e tiveram certeza do momento que o objeto havia sido selecionado, tendo uma percepção imediata do bloco virtual selecionado com a vibração. Na etapa de posicionamento, os estímulos táteis foram eficientes para indicar colisões, com um ganho de 25% no tempo médio usado em colisões, sendo que 17 usuários realizaram a tarefa mais rapidamente, com 5 segundos em média, em comparação com os tempos de execução sem a presença do tato. No entanto, todos os participantes enfrentaram grandes dificuldades para posicionar os blocos nos locais exatos, devido a interferências magnéticas no dispositivo de rastreamento e confusão na percepção de profundidade no AV. Um problema encontrado foi com relação aos óculos de RV que, em alguns momentos geravam imagens em tons de cinza, prejudicando a visualização do ambiente, e conseqüentemente, o desempenho dos usuários. Na etapa de liberação foi levado em consideração o tempo entre receber um estímulo tátil e liberar o objeto virtual, que foi de 8 segundos em média, o que no mundo real seria um valor muito alto, que pode ter sido causado por interferências no dispositivo de rastreamento de posição (KOPPER *et al.*, 2006).

2.5 Considerações Finais

A avaliação de interação em AVs é uma tarefa complexa, pois exige que se leve em consideração o tipo de dispositivo ou dispositivos empregados, envolvendo resolução, número de graus de liberdade, campo de visão; a tarefa a ser realizada no ambiente (seleção de um objeto entre diversos, movimentação de objetos em um eixo); o perfil do usuário (experiência com dispositivos ou com relação a tarefa), e fatores que podem influenciar seu desempenho (*feedback* visual ou tátil); desempenho do computador e da aplicação na geração de respostas e *frames* por segundo; e possíveis combinações entre esses itens, como tipo do dispositivo e a tarefa a ser executada.

O objetivo é definir fatores relacionados a aspectos computacionais (tempo de resposta por exemplo), e humanos (conforto, facilidade de uso, intuição, tempo de execução, erros ocorridos), para um aperfeiçoamento ou melhor desenvolvimento de aplicações de RV. Em ferramentas voltadas ao treinamento médico, verifica-se que alguns fatores são objetivos, podendo ser medidos na própria aplicação, e outros subjetivos, necessitando de questionários. Profissionais da área devem ser consultados para auxiliar na definição de parâmetros importantes no procedimento a ser realizado.

CAPÍTULO 3 – PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE INTERAÇÃO EM UM *FRAMEWORK*

Muitos são os benefícios propiciados pela Realidade Virtual, principalmente no que diz respeito ao desenvolvimento de avançadas interfaces, que fazem com que o usuário muitas vezes se sinta dentro de um ambiente, podendo explorar o local, selecionar e manipular objetos de tal forma que não poderia realizar no mundo real, ou seja, interagindo de uma forma não convencional. Neste contexto, também existem aplicações nas quais o usuário não está imersivo, onde equipamentos como mouse, teclado e tela de vídeo são usados (PINHO, 2000).

De uma forma ou de outra, o importante é que o usuário de aplicações de RV pode obter informações relevantes sobre uma determinada área do conhecimento. Médicos ou estudantes de Medicina, por exemplo, podem adquirir habilidades e experiência treinando em simuladores, já que muitas vezes, estes usuários precisam treinar em animais ou cadáveres, o que apresenta algumas desvantagens.

Para atingir um grau elevado de realismo durante uma interação, múltiplos recursos são utilizados na implementação de AVs, como imagens tridimensionais exibidas em tempo real, dispositivos especiais de entrada e saída, tais como capacetes, óculos estereoscópicos, luvas de dados e equipamentos hápticos. Estes últimos podem fornecer retorno de força e sensação tátil, semelhante a um instrumento cirúrgico, um endoscópio ou uma agulha durante um procedimento de punção, por exemplo. Além disso, um sistema de RV pode oferecer múltiplos níveis de dificuldade e situações de um procedimento, aumentando o conhecimento e a habilidade do usuário.

Os diversos dispositivos podem ser usados para interação em AVs: os não convencionais, citados no parágrafo anterior, e os convencionais, como mouse e teclado. A seleção destes equipamentos depende de fatores como recursos disponíveis, tarefas a serem realizadas e os objetivos a serem alcançados. Os dispositivos não convencionais geralmente possuem um custo elevado, no entanto, podem proporcionar um grau de realismo maior do que os comuns em determinadas tarefas.

Para facilitar a construção de aplicações de RV, incluindo suporte a múltiplos dispositivos (mouse, teclado, luvas, entre outros), um *Framework* seria de grande utilidade, uma vez que pode oferecer funcionalidades necessárias e comuns a diversas aplicações, como módulos de interação, deformação, detecção de colisão, estereoscopia, entre outras. No Laboratório de Aplicações de Informática em Saúde (LApIS), do Centro Universitário Eurípides de Marília, está sendo implementado um *Framework* para treinamento médico, o ViMeT, o qual até o momento não possui suporte para interação com dispositivos hápticos e luvas.

A seguir é apresentada uma descrição do ViMeT e a proposta de implementação de um módulo de interação para este *Framework*. Desta forma, é possível gerar aplicações dentro de determinado domínio da RV, minimizando-se a preocupação com a implementação dessas tarefas.

3.1 ViMeT – *Virtual Medical Training*

O ViMeT é um *Framework* orientado a objetos, em desenvolvimento, voltado a disponibilizar de forma genérica determinadas funcionalidades e características, que foram

classificadas como importantes para simulações que visem treinar profissionais da área médica, a citar: detecção de colisão, deformação, interação com equipamentos hápticos, interface gráfica, modelagem de objetos tridimensionais e AVs, com o intuito de serem utilizadas na construção de aplicações para treinamento médico, inicialmente em simulações que envolvam exames de punção (OLIVEIRA, 2007).

Este *Framework* está sendo construído em linguagem Java, usando a API Java 3D, onde as funcionalidades citadas são implementadas como classes e métodos. As classes são responsáveis por criar o AV, carregar objetos tridimensionais e determinar parâmetros (iluminação e interação), como apresenta a Figura 22. As classes em cinza serão implementadas para compor o módulo de interação do ViMeT. Uma ferramenta de apoio, denominada *Wizard*, fornece ao desenvolvedor facilidade para instanciação das classes. É possível também utilizar o *Framework* sem esta ferramenta, por meio da utilização direta de suas classes (OLIVEIRA, 2007).

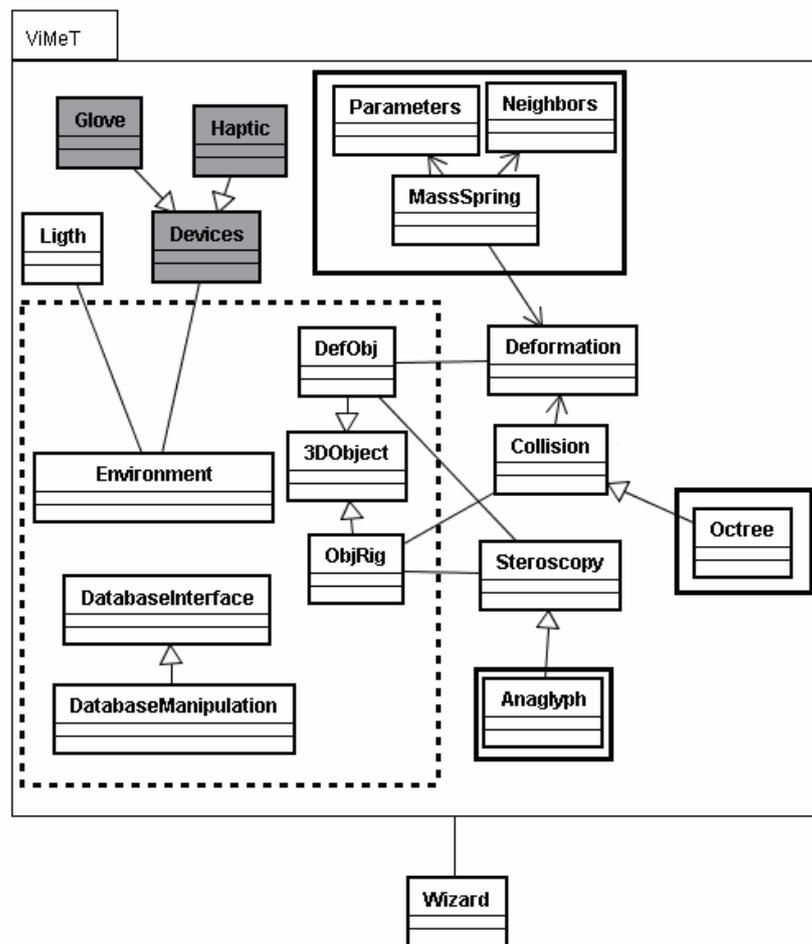


Figura 22 - Diagrama com as classes proposto para o ViMeT (OLIVEIRA, 2007)

Na Figura 23 é apresentado o projeto de arquitetura do ViMeT, com as formas de instanciação (diretamente pelas classes ou pela ferramenta *Wizard*), as classes responsáveis pelas funcionalidades, a camada de persistência que permite uma flexibilidade na manutenção do banco de dados, que por sua vez, armazena objetos modelados e determinadas aplicações instanciadas a partir deste *Framework*.

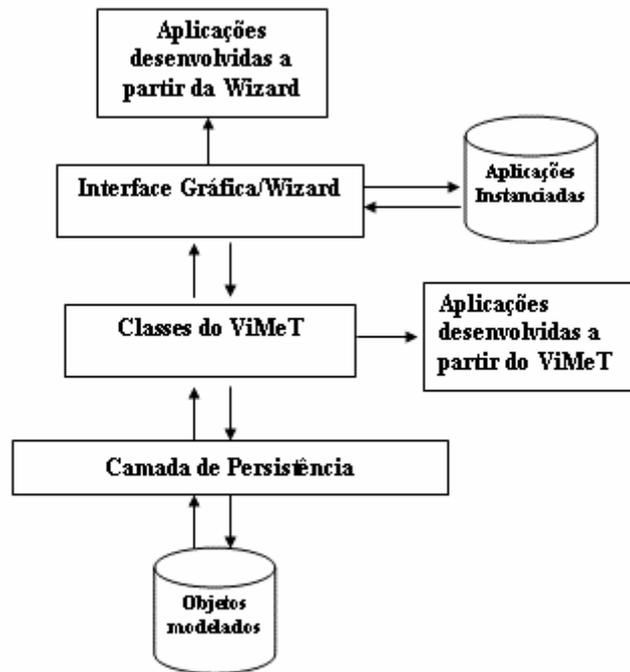


Figura 23 - Projeto da arquitetura do ViMeT (OLIVEIRA, 2007)

Inicialmente, o ViMeT deve ser empregado na construção de aplicações que enfocam simulação de exames de punção, havendo, neste caso, a necessidade de inserir dois objetos modelados: um que representa o órgão humano onde o exame será realizado, e outro que representa o instrumento que coleta material deste órgão. Assim, o desenvolvedor seleciona os objetos e especifica características no que diz respeito à colisão, deformação e interação. O sistema cria um AV de acordo com as opções escolhidas, gerando o código-fonte, que poderá ser alterado conforme as necessidades da aplicação em desenvolvimento (OLIVEIRA, 2007).

3.2 Dispositivos Não Convencionais no Módulo de Interação

A luva de dados a ser utilizada no módulo de interação do ViMeT é uma 5DT Data Glove Ultra, com 5 sensores, mostrada na Figura 24, que mede a flexão dos dedos e a

abdução entre eles, permitindo desta forma, a captura de movimentos, que podem ser transmitidos ao PC (*Fifth Dimension Technologies, 2007*).



Figura 24 - 5DT Data Glove 5 Ultra (*Fifth Dimension Technologies, 2007*)

O dispositivo háptico utilizado no desenvolvimento do módulo de interação do ViMeT é um PHANTOM *Omni*, mostrado na Figura 25, cujas especificações estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6: Especificações do Dispositivo PHANTOM *Omni* (*SensAble Technologies, 2007*)

Especificações do Produto	
Resolução de Posição	Aproximadamente 0,055 mm
Espaço de Trabalho	160mm de largura 120 mm de altura 70mm de diâmetro
Fricção	Menor que 0,26 N
Força Aplicável Máxima	3,3 N
Força Aplicável Contínua (24 horas)	Maior que 0,88 N
Tenacidade	Eixo x 1,26 N/mm Eixo y 2,31 N/mm Eixo z 1,02 N/mm
Peso	Aproximadamente 1,47 Kg
Temperatura de Operação	De 10 a 35 °C
Temperatura de Armazenamento	De -40 a 65 °C
Movimento	6 graus de liberdade
Feedback de Força	3 graus de liberdade (x, y, z)



Figura 25 - PHANTOM Omni (SensAble Techonologies, 2007)

Um CD com *driver* de instalação e um software denominado *OpenHaptics Toolkit* acompanham o dispositivo PHANTOM Omni. O *OpenHaptics Toolkit* permite a integração com aplicações OpenGL, podendo especificar geometrias e suplementá-las com comandos de simulação de propriedades hápticas (fricção e tenacidade), suporta diversas plataformas (*Linux, Windows XP e 2000, Macintosh*), e inclui as APIs, HDAPI (*Haptic Device API*), e HLAPI (*Haptic Library API*), utilitários, códigos de exemplos, PDD (*PHANTOM Device Drivers*). A HDAPI oferece um baixo nível de acesso ao dispositivo, permitindo a renderização de forças diretamente, controle dos *drivers*, já a HLAPI oferece um alto nível de renderização háptica, facilitando inclusive a integração com o OpenGL, conforme a Figura 26.

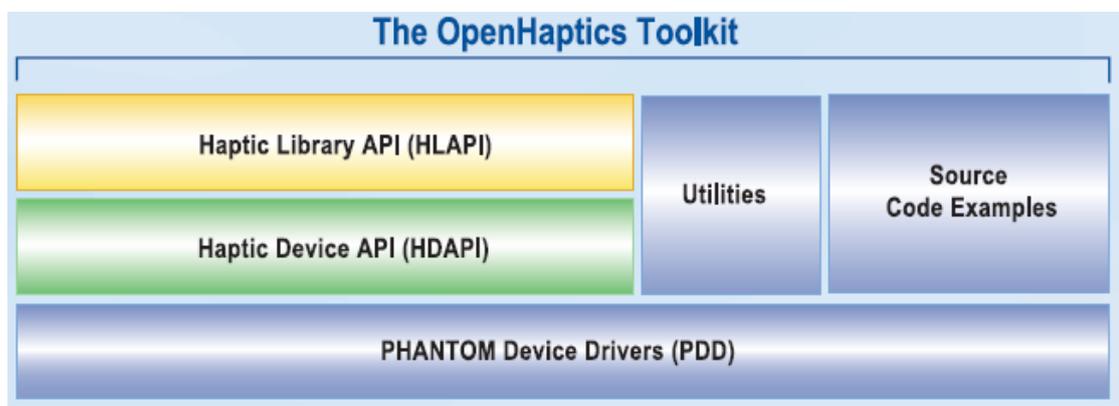


Figura 26 - Diagrama de camadas do *OpenHaptics Toolkit* (SensAble Technologies, 2007)

3.3 Módulo de Interação

Como no ViMeT classes e métodos implementados em Java, são responsáveis pelas funcionalidades e características, um módulo de interação que realize a comunicação entre o sistema e dispositivos (mouse, teclado, luvas e equipamento háptico), deverá ser construído da mesma forma, incluindo as classes *Devices*, *Glove*, *Haptic* no projeto, conforme apresentado na Figura 22 (classes em cinza no diagrama).

Um ponto importante na implementação é a geração de simulações com dois dispositivos simultaneamente, como a luva ou o teclado, que seriam usados pelo participante para segurar o órgão a ser perfurado, e o *mouse* ou o equipamento háptico, que serviriam para manipular o instrumento médico para punção, combinando em uma interação luva e equipamento háptico, luva e *mouse*, equipamento háptico e teclado, ou *mouse* e teclado. A intenção é que quando o objeto que representa o instrumento encontre o objeto que representa o órgão, a detecção de colisão ocorra, bem como a deformação do primeiro, utilizando para isso procedimentos já implementados. Assim, o usuário interage com dois dispositivos, podendo na aplicação optar pela combinação desejada, conforme a Figura 27, de acordo com recursos disponíveis ou necessidade de maior grau de realismo durante a interação.

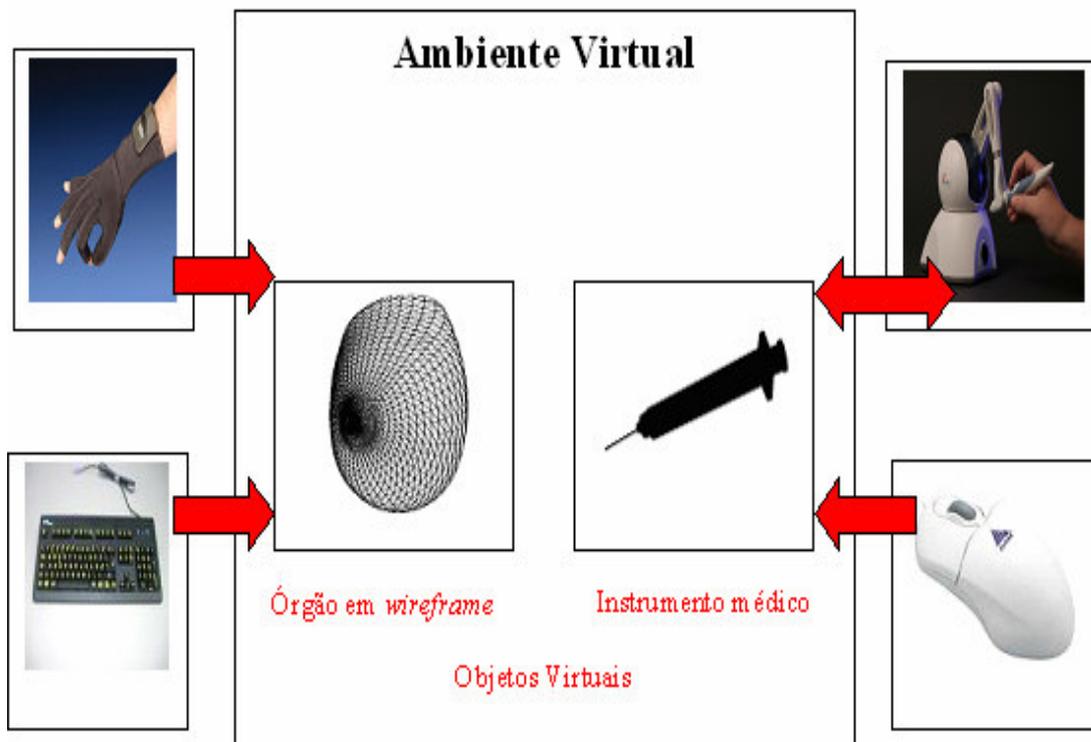


Figura 27 - Interação com diversos dispositivos

As setas em vermelho indicam a relação dos objetos virtuais e os dispositivos citados. A seta bidirecional (Instrumento médico e equipamento háptico) indica que o usuário pode manipular o instrumento e receber uma sensação de força por meio do dispositivo.

O objetivo é que em um AV gerado com o auxílio do ViMeT, a interação envolva:

- **navegação:** possibilitando que o usuário, segundo uma das classificações da categoria de navegação, realize a exploração do ambiente, observando e analisando os objetos virtuais (órgãos humanos e instrumentos médicos). Neste contexto, a navegação também pode ser classificada como *travel*, uma vez que usuário poderá movimentar-se pelo mundo virtual, alterando seu ponto de vista (BOWMAN *et al.*, 2001b);

- **seleção e manipulação:** onde o usuário seleciona com o *mouse* ou a luva de dados o objeto virtual órgão, e o instrumento médico é selecionado com o teclado ou o equipamento háptico, para posteriormente realizar a manipulação (segurar o órgão e movimentar o

instrumento durante um exame de punção). Classificando a seleção como local e à distância, neste trabalho ela pode ser definida como local, uma vez que os objetos estão ao alcance do usuário (HUFF *et al.*, 2006). Na manipulação será permitida a alteração de tamanho, posição, orientação e rotação dos objetos utilizando os dispositivos (convencionais e não convencionais), o que no momento já é possível com funções implementadas para o *mouse* e teclado;

- **controle do sistema:** o usuário pode alterar o modo de interação, especificando, por exemplo, em que momento o *mouse* será utilizado para navegar pelo ambiente, movimentando o ponto de vista do usuário, e em que momento ele será usado para mover o instrumento médico. O controle por sua vez, pode ser classificado como um controle exercido por meio de ferramentas, pois teclas específicas podem ser definidas para indicar uma mudança, como por exemplo, o *mouse* acionando o ponto de vista ou o instrumento médico. As outras classificações desta categoria são comandos de voz, gestos e sistemas baseados em GUI (BOWMAN *et al.*, 2001b).

Neste módulo, no que diz respeito às formas de interação (direta, controles físicos e controles virtuais), será utilizada a forma realizada através de controles físicos, pois dispositivos são empregados para navegar pelo ambiente, manipular objetos virtuais e controlar o sistema (MINE, 1995).

Para a implementação do módulo de interação, um trabalho em paralelo está sendo realizado para a inclusão da luva de dados no módulo. Levando-se em consideração a interação com retorno de força com o dispositivo PHANTOM *Omni*, como não foi possível até o momento encontrar um *driver* escrito em Java para o equipamento háptico, a comunicação entre as linguagens de programação Java e C++ será necessária, visto que como citado anteriormente, o ViMeT foi implementado em Java e a API Java 3D, disponibilizadas gratuitamente, e o equipamento vem com *drivers* e uma biblioteca com funções em C++,

denominada de *OpenHaptics Toolkit*. A princípio será estudada a *Java Native Interface* (JNI), que integra o JDK (*Java Development Kit*) e possibilita a interoperabilidade entre programas escritos em diversas linguagens. Usando a JNI, classes em Java podem chamar funções escritas em C, e funções em C podem criar e manipular objetos, chamar métodos de classes criados em Java (SUN, 2007).

A implementação de um *driver* em Java para o dispositivo também poderia ser uma solução, entretanto, o fabricante do equipamento oferece um *kit* de ferramentas conforme descrito anteriormente, com funções pré-definidas em C++, o qual facilita a programação do equipamento e permite a utilização de objetos modelados com *OpenGL*. A Figura 28 apresenta um diagrama da provável interface entre aplicação gerada (Java), *kit* de programação (C++), com a JNI realizando a comunicação, englobando o sistema, bem como o usuário recebendo informações da aplicação via monitor de vídeo, e interagindo com o sistema por meio do dispositivo háptico, que permite a recepção e o envio de sensação de força ao usuário.

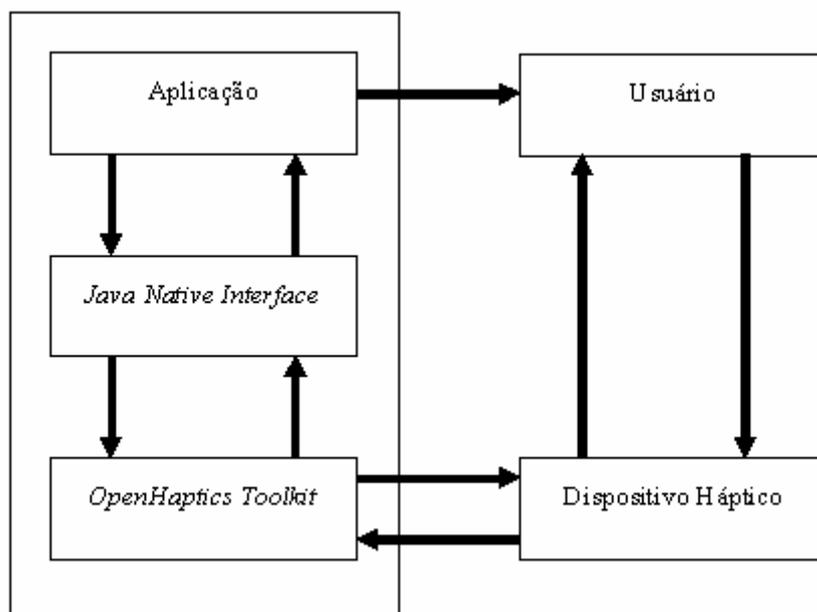


Figura 28 – Diagrama de integração e interação

A *OpenHaptics Toolkit* deverá ser estudada para definir formas de recebimento, cálculo e retorno de informações táteis, calibrando e ajustando o dispositivo para a simulação proposta.

3.4 Avaliação de Interação em Aplicações Geradas a Partir de um *Framework*

Outra etapa importante deste trabalho é a avaliação da interação em aplicações construídas com o *Framework* apresentado, levando em consideração o tipo de computador e o tipo de aplicação, no caso, exames de punção, para testar o desempenho, como o tempo de resposta diante de um comando do usuário, exibido na tela do computador ou enviado ao dispositivo, no caso do equipamento háptico, por exemplo.

Além disso, o dispositivo utilizado será determinante, pois envolverá questões como número de graus de liberdade, eficiência no processamento, maior ou menor realismo, sendo que estas questões estão interligadas, já que por exemplo, um número maior de graus de liberdade de um dispositivo pode significar um número maior de cálculos, influenciando na eficiência do processamento. A camada adicional para a integração entre as linguagens de programação Java e C++ proposta neste trabalho, deverá ser levada em consideração no que se refere ao processamento.

Os aspectos computacionais, os aspectos relacionados aos usuários também serão analisados, como conforto com os dispositivos, satisfação do usuário, a combinação desejável de dispositivos (*mouse* e teclado ou luva e equipamento háptico), o tempo de execução de

uma determinada tarefa, experiências anteriores com aplicações de RV e com o procedimento médico a ser executado (exames de punção).

Pretende-se elaborar um questionário como uma primeira forma de avaliação, para a coleta dos dados, com questões sobre o nível de conhecimento de cada voluntário no que diz respeito a dispositivos de RV, o conforto do usuário e a facilidade de uso em relação à combinação dos dispositivos, o grau de realismo e a satisfação do usuário.

Serão analisados também o número de execuções e o tempo de execução de uma determinada tarefa, bem como o tempo de resposta. O número de execuções é a quantidade de vezes que cada usuário executou a tarefa proposta com cada dispositivo, o tempo de resposta é o tempo entre um comando do usuário e a ação do sistema, exibindo um movimento na tela ou movimentando o dispositivo háptico após um comando, por exemplo, referente a eficiência no processamento, tempo da tarefa é o tempo que o usuário leva para executar a tarefa em questão.

A questão da experiência dos usuários também pode ser levada em conta para especificar um nível de realismo e satisfação desejável, principalmente a experiência de especialistas em exames de punção, podendo ser útil na calibração do sistema e servindo de parâmetro para futuras implementações; e a questão da percepção, no que se refere às respostas enviadas pelo sistema via tela e dispositivo simultaneamente.

3.5 Cronograma de Atividades

O cronograma é composto de 8 atividades, além das tarefas executadas até o momento, a serem executadas em 12 meses, conforme a Tabela 7, sendo:

Atividade 1 - Estudo do *Framework* – ViMeT: engloba o conhecimento do *Framework* voltado a construção de aplicações para treinamento médico, suas principais características, funcionalidades, ferramentas, com duração de 1 mês;

Atividade 2 - Instalação e estudo do dispositivo háptico: envolve a leitura de manuais e especificações sobre o dispositivo, bem como o instalação do mesmo e o entendimento da forma de funcionamento, linguagem de programação e software usados, programação e desenvolvimento de aplicações, com duração de 1 mês;

Atividade 3 – Integração do equipamento háptico no *Framework*: consiste na inclusão do dispositivo PHANTOM *Omni* no módulo de interação do ViMeT, com a implementação da interface entre as linguagens de programação Java e C++ por meio da JNI. Duração de 3 meses;

Atividade 4 – Integração da luva no *Framework*: trata a inclusão da luva de dados 5DT Ultra 5 no módulo de interação do ViMeT, bem como o estudo do trabalho desenvolvido em paralelo para programação e uso da luva mencionada, com duração de 2 meses;

Atividade 5 – Integração de *mouse* e teclado: envolve a implementação do *mouse* e teclado para manipulação de objetos em AVs gerados com o auxílio do ViMeT, uma vez que eles já são usados para navegação. Atividade com duração de 1 mês;

Atividade 6 – Calibração e ajustes: consiste na programação do equipamento háptico, estudo das funções da *OpenHaptics Toolkit*, e forma de recebimento, cálculo e retorno de informações táteis, com duração de 1 mês;

Atividade 7 - Avaliação da interação: trata da escolha de usuários para participar da interação, procurando observar durante as sessões alguns parâmetros, como: tempo de resposta, satisfação do usuário, tipo de dispositivo, tempo de duração da interação, número de

sessões por usuário, bem como a análise dos resultados. Esta atividade tem uma previsão de execução de 1 mês;

Atividade 8 – Escrita da dissertação: com duração de 2 meses, o objetivo é apresentar estudos similares, resultados, problemas, discussões e trabalhos futuros.

Durante o trabalho está previsto a elaboração de artigos para submissão a eventos científicos para publicação dos resultados parciais obtidos.

Tabela 7: Cronograma proposto para desenvolvimento do projeto

Atividades	Meses											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1. Estudo do <i>Framework</i> – ViMeT	■											
2. Instalação e estudo do dispositivo háptico		■										
3. Integração do equipamento háptico			■	■	■							
4. Integração da luva no <i>Framework</i>						■	■					
5. Integração de <i>mouse</i> e teclado								■				
6. Calibração e ajustes									■			
7. Avaliação da interação										■		
8. Escrita da dissertação											■	■

3.6 Conclusões Preliminares

Pôde-se notar que um módulo de interação em um *Framework* com suporte a diversos dispositivos, pode facilitar a geração de aplicações de RV com equipamentos convencionais e não convencionais, dependendo da necessidade e disponibilidade financeira do desenvolvedor.

Em se tratando do dispositivo háptico, possivelmente será realizada a integração entre as linguagens Java e C++ com o auxílio da JNI, para permitir a comunicação entre aplicações geradas através do ViMeT (Java), e as funções de manipulação, calibração, ajuste e controle do dispositivo háptico (C++).

A avaliação necessitará de análises objetivas, com números sobre as tarefas, erros, tempos de execução, e subjetivas, com as opiniões dos usuários declaradas em questionários, sendo de grande importância, a participação de um profissional da área para testar e definir parâmetros essenciais em um procedimento de punção.

REFERÊNCIAS

5DT Fifth Dimension Technologies. Disponível em: <<http://www.5dt.com/hardware.html>> Acesso em: 06 Mar. 2007.

Absolute Technologies. Disponível em: <<http://www.abs-tech.com>>. Acesso em: 27 abr. 2007.

BAECKER, R.; CARD, S.; CAREY, T.; GASEN, J.; HEWETT, T. T.; MANTEI, M.; PERLMAN, G.; STRONG, G.; VERPLANK, W. *ACM SIGCHI Curricula for Human-Computer Interaction*. 2004. Disponível em: <<http://sigchi.org/cdg/cdg2.html>> Acesso em: 07 ago. 2006.

BANGAY, S.; RORKE, M.; WENTWORTH, P. *Virtual Reality Interaction Techniques*. 1998. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/2588/http:zSzzSzwww.cs.ru.ac.zazSzvrsigzSztechdocszSzrorkezSzsatanac-paper.pdf/rorke98virtual.pdf>> Acesso em: 10 dez. 2006.

BARCIA, R. M.; LUZ, R. P. da; MERINO, E.; REBELO, I. B. *Evaluation of VR System: More Usable Interactions*. Disponível em: <http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/30416/http:zSzzSzwww.lrv.ufsc.brzSz.zSzrecurso szSzartigoszSzEvaluation_VR_Systems.pdf/evaluation-of-vr-systems.pdf> Acesso em: 12 fev. 2007.

BASDOGAN, C.; HO, C.; SLATER, M.; SRINIVASAN, M. A. *An Experimental Study on the Role of Touch in Shared Virtual Environments*. 2000. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, Vol 1. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/basdogan00experimental.html>> Acesso em 12 fev. 2007. pp. 443-460.

BATTEAU, L. M.; BHASIN, Y.; BOWYER M. W.; LIU, A.; MAINTZ, J. B. A. *A Study on the Perception of Haptics in Surgical Simulation*. *Lecture Notes in Computer Science*, 2004. Disponível em: <<http://www.simcen.org/surgery/publications/index.html>>. Acesso em: 09 out. 2006.

BERALDIN, J.-A.; BOULANGER, P.; EL-HAKIM, S. F.; GODIN, G. *Two 3-D Sensors for Environment Modeling and Virtual Reality: Calibration and Multi-View Registration*. 1996. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/2294/ftp:zSzzSzai.iit.nrc.cazSzpubzSziit-paperszSzNRC-39226.pdf/el-hakim96two.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2007.

BURDEA, G.; COIFFET, P. *Virtual Reality Technology*. Jhon Wiley & Sons, Inc., 1994. p. 02.

BURNS, J. M.; CHILA, A. G.; ELAND, D. C.; HOWELL, J. N.; JR, R. R. C.; SRIVASTAVA, M.; WILLIAMS, R. L. *The Virtual Haptic Back for Palpatory Training*. In: *Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces*, 2004. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1027966&dl=acm&coll=&CFID=15151515&CFTOKEN=6184618>>. Acesso em: 09 out. 2006. pp. 191-197.

CAMARERO, R.; OZELL, B.; PIC, C. *Topics in Collaborative Visualization Environments*. 2000. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/20998/http%3A%2F%2Fwww.cerca.umontreal.ca%2FServer%2FScience%2FRapport%2Fchiersps%2FR2000-84.pdf/ozell00topics.pdf>> Acesso em: 12 fev. 2007.

CELES, W.; GATTASS, M.; RAPOSO, A. B.; SZENBERG F. **Visão Estereoscópica, Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Colaboração**. Disponível em: <http://www.tecgraf.puc-rio.br/publications/artigo_2004_visao_estereoscopica_realidade_virtual.pdf> Pontifícia Universidade Católica do Rio, Rio de Janeiro, 2004. Acesso em: 27 abr. 2007.

CHUI, Y.; HENG, P.; LEUNG, K.; SUN, H.; WONG, T. *A Haptic Needle Manipulation Simulator for Chinese Acupuncture Learning and Training*. In: *Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH international conference on Virtual Reality*. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1044598&coll=ACM&dl=ACM&CFID=19790155&CFTOKEN=97492316>> 2004. Acesso em: 15 out. 2006.

COELHO, Y. da S.; PEPPE, M. J. **A Realidade Virtual na Medicina**. Disponível em: <<http://www.eca.usp.br/nucleos/njr/voxscientiae/caverna7.html>>. Vox Scientiae, São Paulo, 2002. Acesso em: 09 jun. 2006.

CONWAY, M.; HINCKLEY, K.; KASSELL, N. F.; PAUSCH, R.; PROFFITT, D.; STOAKLEY, R. *Revisiting Haptic Issues for Virtual Manipulation*. Universidade da Virginia, Estados Unidos. Disponível em: <<http://www.cs.virginia.edu/papers/manip.pdf>> Acesso em: 10 dez. 2006.

DONALD, B. R.; HENLE, F. *Using Haptic Vector Fields for Animation Motion Control*. 1999. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/6554/http%3A%2F%2Fwww.cs.dartmouth.edu%2Fbrdz%2FResearch%2Fstanford.pdf/donald99using.pdf>> Acesso em: 12 fev. 2007.

EISENSTEIN, J.; GHANDEHARIZADEH, S.; GOLUBCHIK, L.; SAHABI, C.; YAN, D.; ZIMMERMANN, R. ***Device Independence and Extensibility in Gesture Recognition***. 2003. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/29451/http:zSzzSzperspolis.usc.edu:zSzzSzUserszSzzSzkimzSzpaperszSzzvr2003.pdf/device-independence-and-extensibility.pdf>> Acesso em: 12 fev. 2007.

EST – *Engineering Systems Technologies*. Disponível em: <http://www.est-kl.com/pricelist/pricelist_gb.html>. Acesso em: 13 Mar. 2007.

FERRO, E. N. de L.; PAIVA, A. C. de. **Modelagem e Implementação de um Sistema para Treinamento de Técnicos em Radiologia Baseado em Realidade Virtual Não Imersiva**. In: *Proceedings of VI SVR – Symposium on Virtual Reality*, Ribeirão Preto, 2003.

FLASAR, J. ***3D Interaction in Virtual Environment***. 2000. Disponível em <<http://citeseer.ist.psu.edu/flasar00interaction.html>> Acesso em: 10 dez. 2006.

FORSBERG, A.; HERNDON, K.; ZELEZNIK, R. ***Aperture Based Selection form Immersive Virtual Environments***. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/76188.html>> Acesso em: 10 dez. 2006.

FREITAS, C. M. D. S.; JACOB, L. J.; NEDEL, L. P.; OLIVA, C. B. **Avaliação Experimental de Técnicas de Seleção e Manipulação em Ambientes Virtuais**. In: *Anais do V SVR – Symposium on Virtual Reality*, Fortaleza, CE, 2002.

FREITAS, C. M. D. S.; NAVARRE, D.; NEDEL, L. P.; PALANQUE, P.; SCHYN, A. **Usando Modelagem Formal para Especificar Interação em Ambientes Virtuais: Por que?** In: *Proceedings of VI SVR – Symposium on Virtual Reality*, Ribeirão Preto, 2003.

GARCIA, M. de B.; GONÇALVES, A. S.; JR, R. D. de S.; MEIGUINS, B. S.; SANTOS, D. N. A. **Interação em Ambientes Virtuais Tridimensionais Utilizando Comandos de Voz**. In: *Proceedings of VI SVR – Symposium on Virtual Reality*, Ribeirão Preto, 2003.

FUKATSU, S.; KISHINO, F.; KITAMURA, Y.; MASAKI, T. ***Intuitive Navigation in na Enormous Virtual Environment. ICAT – Interntional Conference a Artificial Reality and Tele-Existence***. 1998. Disponível em: <<http://www-human.ist.osaka-u.ac.jp/IMCP/papers/icat98.pdf>> Acesso em: 10 dez. 2006.

GABBARD, J. L.; HIX, D. ***Usability Engineering of Virtual Environments***. 2002. Disponível em:

<[http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/27172/http:zSzzSzvehand.engr.ucf.eduzSzhandbo
okzSzChapterszSzchapter39.PDF/hix02usability.pdf](http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/27172/http%3A%2F%2Fhand.engr.ucf.edu%2Fhandbook%2Fchapters%2Fchapter39.PDF/hix02usability.pdf)> Acesso em: 10 dez. 2006.

GRANTZ, V.; ROESSLER, A. *Performance Evaluation of Input Devices in Virtual Environments*. In: *IFIP Conference Proceedings; Vol. 133*. 1998. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=647034.715270>> Acesso em: 11 jan. 2007.

HADWIGER, M. *PARSEC: Enhancing Realism f Real-Time Graphics Through Multiple Layer Rendering and Particle System*. Disponível em <[http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/1298/http:zSzzSzwww.cg.tuwien.ac.atzSzstudent
workzSzCESCG98zSzMHadwigerzSzpaper.pdf/parsec-enhancing-realism-of.pdf](http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/1298/http%3A%2F%2Fwww.cg.tuwien.ac.at%2FstudentworkzSzCESCG98zSzMHadwigerzSzpaper.pdf/parsec-enhancing-realism-of.pdf)> Acesso em: 19 fev. 2007.

HSU, J. *Active Interaction Devices*. Disponível em: <<http://www.hitl.washington.edu/scivw/EVE/I.D.1.a.ActiveInteraction.html>> Acesso em: 10 dez. 2006.

HUFF, R.; SILVA, I. C. S. da; VASCONCELOS, A. B. **Seleção de Objetos em Ambientes Virtuais com Mouse 3D**. UFRGS – Universidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2006. Disponível em: <<http://www.inf.ufrgs.br/cg/publications/huff/huff-svr-2006.pdf>> Acesso em: 11 jan. 2007.

JAFRY, H; JOHNSON, K. W.; OKAMURA, A. M.; WEBSTER III, R. J. *The Haptic Scissors: Cutting in Virtual Environments*. 2003. Disponível em: <[http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/27322/http:zSzzSzpegasus.me.jhu.eduzSz~allison
ozSzpublicationszSzicra03-okamura.pdf/okamura03haptic.pdf](http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/27322/http%3A%2F%2Fpegasus.me.jhu.edu%2F~allisonozSzpublicationszSzicra03-okamura.pdf/okamura03haptic.pdf)> Acesso em: 09 out. 2006.

KAUR, K.; MAIDEN, N.; SUTCLIFFE, A. *Improving Interaction with Virtual Environments*. 1998. Disponível em: <[http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/3673/http:zSzzSzweb.soi.city.ac.ukzSzhomeszSzd
j524zSzpaperszSzkk98a.pdf/kaur98improving.pdf](http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/3673/http%3A%2F%2Fweb.soi.city.ac.uk%2FhomeszSzdj524zSzpaperszSzkk98a.pdf/kaur98improving.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2006.

KENNEDY, R. S.; MOURANT, R. R.; STANNEY, K. M. *Human Factors Issues in Virtual Environments: A Review of the Literature*. MIT, 1998. Disponível em: <<http://web.mit.edu/16.459/www/Stanney.pdf> > Acesso em: 10 dez. 2006.

KIM, Y. J.; LIN, M. C.; MANOCHA, D.; OTADUY, M. A. *Six-Degree-of-Freedom Haptic Display Using Localized Contact Computations*. 2002. Disponível em: <[http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/26325/http:zSzzSzgamma.cs.unc.eduzSz6DOFLC
CzSzhaptic02.pdf/kim02sixdegreefreedom.pdf](http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/26325/http%3A%2F%2Fgamma.cs.unc.edu%2F6DOFLCzSzhaptic02.pdf/kim02sixdegreefreedom.pdf)> Acesso em: 12 fev. 2007.

KIRNER, C. **Sistemas de Realidade Virtual**. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Disponível em: <<http://www.dc.ufscar.br/~grv/tutrv/tutrv.htm>> Acesso em: 10 dez. 2006.

KOIKE, H.; SAITO, M.; SATO, Y. **Real-Time Input of 3D Pose and Gestures of a User's Hand and Its Applications for HCI**. 2001. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/25082/http:zSzzSzjpn.hci.iis.u-tokyo.ac.jpzSz~ysatozSzpaperszSzVR2001.pdf/real-time-input-of.pdf>> Acesso em: 12 fev. 2007.

KOPPER, R. A. P.; PINHO, M. S.; RIEDER, R.; SANTOS, M. C. C. dos; SILVA, F. B. de A. e; TROMBETTA, A. B. **Uma Avaliação Sobre o Uso de Estímulos Táteis em um Ambiente Virtual**. In: *VIII Symposium on Virtual Reality (SVR)* – Belém, PA - 2006. CD-ROM.

KORNER, O.; MANNER, R. **Haptic Display for a Virtual Reality Simulator for Flexible Endoscopy**. *ACM International Conference Proceeding Series; Vol. 23 – In: Proceedings of the workshop on Virtual environments*, 2002. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?coll=GUIDE&dl=GUIDE&id=509712>>. Acesso em: 11 out. 2006.

LOPES, R. de D.; MACHADO, L. dos S.; MORAES, R. M.; ZUFFO, M. K. **Modelagem Tátil, Visualização Estereoscópica e Aspectos de Avaliação em um Simulador de Coleta de Medula Óssea**. In: *Anais do IV SBC Symposium on Virtual Reality*, Florianópolis, 2001. pp. 26-28.

LSI-USP - Laboratório de Sistemas Integráveis – Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.lsi.usp.br/interativos/nrv/caverna.html>>. Acesso em: 13 Mar. 2007.

MACHADO, L. dos S. **A Realidade Virtual no Modelamento e Simulação de Procedimentos Invasivos em Oncologia Pediátrica: Um Estudo de Caso No Transplante de Medula Óssea**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. (a)

MACHADO, L. dos S.; NETTO, A. V.; OLIVEIRA, M. C. F. de. **Realidade Virtual – Fundamentos e Aplicações**. Visual Books Editora: Florianópolis, 2002. pp 38-40. (b)

MACHADO, L. dos S. **Aplicações da Realidade Virtual em Cirurgias**. Livro do VII Symposium on Virtual Reality: Realidade Virtual – Conceitos e Tendências. Editora Mania de Livro: São Paulo, 2004. p. 271 (c)

MACHADO, L. dos S.; NETTO, A. V.; OLIVEIRA, M. C. F. de. **Realidade Virtual – Definições, Dispositivos e Aplicações**. Disponível em:

<<http://www.sbc.org.br/reic/edicoes/2002e1/tutoriais/RV-DefinicoesDispositivosEAplicacoes.pdf>>. 2002 (d). Acesso em: 12 abr. 2007.

MACHADO, L. S.; MORAES, R. M.; SOUZA, D. F. L.; VALDEK, M. C. O. **SITEG – Sistema Interativo de Treinamento em Exame Ginecológico**. Disponível em <<http://www.sbc.org.br/bibliotecadigital/download.php?paper=468>>. 2004 (e). Acesso em: 10 abr. 2007.

MATTSSON, M. *Object-Oriented Frameworks: A survey of methodological issues*. In: *Proceedings of the 1996 Triennial IFAC World Congress, IFAC'96*. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/3494/http:zSzzSzbilbo.ide.hk-r.se:8080zSz~michaelmzSzthesiszSz mattsson-thesis.pdf/mattsson96objectoriented.pdf>> Acesso em: 12 fev. 2007.

MINE, M. R. *Virtual Environment Interaction Techniques*. 1995. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/1796/ftp:zSzzSzftp.cs.unc.eduzSzpubzSztechnical-reportszSz95-018.pdf/mine95virtual.pdf>> Acesso em: 10 dez. 2006.

MONTERO, E. F. de S.; ZANCHET, D. J. **Realidade Virtual e a Medicina**. *Scientific Electronic Library Online, Acta Cirúrgica Brasileira, Vol.18, No.5, São Paulo*, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/acb/v18n5/17446.pdf>>. Acesso em 10 jun. 2006.

OLIVEIRA, A. C. M. T. G. de. **ViMet - Um Framework em Java para Aplicações de Treinamento Médico usando Realidade Virtual**. In: Anais do Symposium on Virtual Reality, Petrópolis, RJ, 2007.

OOMS, M. *Measuring presence and awareness of external events*. Universidade de Twente, 2004. Disponível em: <http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs2/94/http:zSzzSzreferaat.ewi.utwente.nlzSzdocumentszSz2004_01_C-Intelligent_InteractionzSz2004_01_C_M.J.Ooms-Measuring_presence_and_awareness_of_external_events.pdf/measuring-presence-and-awareness.pdf> Acesso em: 19 fev. 2007.

PINHANEZ, C. **Interfaces Não-Convencionais**. Livro do VII Symposium on Virtual Reality: Realidade Virtual – Conceitos e Tendências. Editora Mania de Livro: São Paulo, 2004. p. 135

PINHO, M. S. **Interação em Ambientes Tridimensionais**. Minicurso. In: WORKSHOP DE REALIDADE VIRTUAL, Gramado, RS, 2000. Disponível em: <<http://www.inf.pucrs.br/~pinho/3DInteraction/>>. Acesso em: 10 out. 2006.

PINHO, M. S.; REBELO, I. B. **Interação em Ambientes Virtuais Imersivos**. Livro do VII Symposium on Virtual Reality: Realidade Virtual – Conceitos e Tendências. Editora Mania de Livro: São Paulo, 2004. p. 109

RIVA, G. *Applications of Virtual Environments in Medicine*. Istituto Auxologico Italiano, Milan, Itália, 2003. Disponível em: <http://www.cybertherapy.info/MIM_0161_Riva.pdf> Acesso em: 10 dez. 2006. pp. 524-534.

ROCHA, L. A. **Formas de Interação entre Humanos e Dados Digitais em Ambientes Virtuais**. UFRGS, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ha/v10n21/20623.pdf>> Acesso em: 10 dez. 2006.

SABBATINI, R. M. E. **Realidade Virtual no Ensino Médico**. Informática Médica, Campinas, 1999. Disponível em: <<http://www.informaticamedica.org.br/informaticamedica/n0202/sabbatini.htm>>. Acesso em: 10 jun. 2006.

SATALICH, G. A. *Navigation and Wayfinding in Virtual Reality: Finding Proper Tools and Cues to Enhance Navigation Awareness*. Disponível em: <<http://www.hitl.washington.edu/publications/satalich/ref.html>> Acesso em: 15 dez. 2006.

SensAble Technologies. Disponível em: <http://www.sensable.com>. Acesso em: 06 Mar. 2007.

SILVA, R. J. M. **Integração de um Dispositivo Óptico de Rastreamento a uma Ferramenta de Realidade Virtual**. Dissertação de Mestrado. PUC – Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/cgi-bin/PRG_0599.EXE/6664_3.PDF?NrOcoSis=18800&CdLinPrg=pt> Acesso em: 10 dez. 2006.

SUN. *Java Native Interface Specification*. Disponível em: <<http://java.sun.com/j2se/1.4.2/docs/guide/jni/spec/jniTOC.html>>. Acesso em: 15 mar. 2007.

THALMANN, D. *Using Virtual Reality Techniques*. Disponível em: <http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/27653/http://zSzzSzvrlab.epfl.chzSzPublicationszSzpdfzSzThalmann_VRS_93.pdf/using-virtual-reality-techniques.pdf> Acesso em: 12 fev. 2007.

ZIEGELER, S. B. *Using Virtual Environments to Visualize Atmospheric Data: Can It Improve a Meteorologist's Potential to Analyze the Information?* 2002. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/26818/http://zSzzSzwww.erc.msstate.eduzSzvailzSpubszSz2002zSzean01.pdf/ziegeler02using.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2007.