

Realidade Virtual - Definições, Dispositivos e Aplicações

ANTONIO VALERIO NETTO¹
LILIANE DOS SANTOS MACHADO²
MARIA CRISTINA FERREIRA DE OLIVEIRA¹

¹ Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC
Universidade de São Paulo - USP
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 Vila Pureza 13560-250 - São Carlos /SP – Brasil

² Escola Politécnica - POLI
Universidade de São Paulo - USP
Avenida Prof. Luciano Gualberto, travessa3 nº 380 - CEP - 05508-900 - São Paulo/SP – Brasil

Resumo: Este tutorial tem o objetivo de expor os conceitos e informações relevantes sobre Realidade Virtual por meio de uma visão abrangente da área. O texto propõe-se a explicar o significado de vários termos pertinentes e introduzir noções básicas, como os conceitos de imersão, interação e envolvimento; os conceitos de Realidade Virtual passiva, exploratória e interativa bem como apresentar noções sobre Realidade Aumentada e Melhorada, ambientes virtuais colaborativos e cenários virtuais. O texto descreve vários dispositivos de visualização e interação e, finalmente, é apresentada uma visão geral sobre o emprego da Realidade Virtual em várias áreas, como arquitetura, medicina, tratamento de fobia, visualização científica, planejamento urbano, e nas indústrias automobilística e aeronáutica.

Palavras-chave: Realidade Virtual, Ambientes Imersivos, Dispositivos de Visualização e Interação, Interface Homem-Computador.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. O QUE É REALIDADE VIRTUAL.....	4
2.1 HISTÓRICO.....	6
2.2 TIPOS DE SISTEMAS DE RV.....	8
2.3 IMERSÃO, INTERAÇÃO E ENVOLVIMENTO.....	10
2.4 RV PASSIVA, EXPLORATÓRIA OU INTERATIVA	11
2.5 REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA UM SISTEMA DE RV.....	12
3. DISPOSITIVOS DE SAÍDA.....	12
3.1 DISPOSITIVOS VISUAIS	12
3.1.1 HMD e BOOM	13
3.1.2 Monitores e sistemas de projeção.....	15
3.2 DISPOSITIVOS AUDITIVOS.....	16
3.3 DISPOSITIVOS HÁPTICOS.....	16
4. DISPOSITIVOS DE ENTRADA	17
4.1 DISPOSITIVOS DE INTERAÇÃO.....	17
4.1.1 Dataglove	17
4.1.2 Dispositivos com graus de liberdade	18
4.1.3 Sensores de entrada biológicos	18
4.2 DISPOSITIVOS DE TRAJETÓRIA.....	19
5. ÁREAS ASSOCIADAS A REALIDADE VIRTUAL.....	19
5.1 REALIDADE AUMENTADA E MELHORADA	19
5.2 AMBIENTES VIRTUAIS COLABORATIVOS.....	21
5.3 CENÁRIOS VIRTUAIS.....	22
6. APLICAÇÕES EM REALIDADE VIRTUAL.....	23
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1: FOTO PROMOCIONAL DE UM PROTÓTIPO DO SENSORAMA [PIMENTEL, 1995].	7
FIGURA 2-2: PILOTO USANDO O CAPACETE DO PROJETO “SUPER COCKPIT” DE TOM FURNESS [PIMENTEL, 1995].	7
FIGURA 2-3: VISÃO DO USUÁRIO DO “SUPER COCKPIT” [PIMENTEL, 1995].	8
FIGURA 2-4: ESQUEMA DE UM CAVE COM O POSICIONAMENTO DOS PROJETORES ATRÁS DAS TELAS.	10
FIGURA 3-1: HMD DESENVOLVIDO NA PRIMEIRA GERAÇÃO DE HMDs DA NASA [KALAWSKI, 1993].	13
FIGURA 3-2: NO HMD EXISTEM SENSORES (PARTE DE TRÁS DO EQUIPAMENTO) QUE CAPTAM OS MOVIMENTOS DA CABEÇA DO USUÁRIO PERMITINDO QUE O COMPUTADOR GERE A IMAGEM APROPRIADA.	13
FIGURA 3-3: O SISTEMA DE <i>DISPLAY</i> ESTEREOSCÓPICO BOOM UTILIZADO COM UMA <i>WORKSTATION</i> DE ALTA RESOLUÇÃO. MONTADO SOBRE UM BRAÇO ARTICULADO COM CONTRA-PESO, O DISPLAY PERMITE MOVIMENTOS COM 6DOF [BOLAS, 1994].	14
FIGURA 3-4: ESQUEMA COM OS ELEMENTOS BÁSICOS DE UM SISTEMA DE HEAD-COUPLED DISPLAY SUSPENSO [PIMENTEL, 1995].	14
FIGURA 3-5: EXEMPLO DE UM SHUTTERGLASS.	15
FIGURA 3-6: CAPUZ DE VISUALIZAÇÃO CYBERHOOD PRESO A UM MONITOR CONVENCIONAL [KING, 1993].	15
FIGURA 3-7: O USUÁRIO PODE “SENTIR” O PESO E O CABO DO MARTELO, ENQUANTO UM BRAÇO MECÂNICO EXECUTA A MESMA AÇÃO COM O MARTELO REAL [PIMENTEL, 1995].	16
FIGURA 3-8: DISPOSITIVO HÁPTICO PHANTOM DA SENSABLE [SENSABLE, 2002].	17
FIGURA 4-1: ESQUEMA DE UMA LUVA DE DADOS BASEADA EM FIBRA ÓTICA [PIMENTEL, 1995].	18
FIGURA 4-2: ESQUEMA DE UMA BOLA ISOMÉTRICA [PIMENTEL, 1995].	18
FIGURA 4-3: DIAGRAMA DE BLOCO DE UM SISTEMA DE DETECÇÃO DE TRAJETÓRIA TÍPICO.	19
FIGURA 5-1: EXEMPLO DE UMA APLICAÇÃO EM REALIDADE AUMENTADA [MICROVISION, 2002].	20
FIGURA 5-2: APLICAÇÃO EM REALIDADE AUMENTADA PARA ÁREA MÉDICA [MICROVISION, 2002].	20
FIGURA 5-3: APLICAÇÃO EM REALIDADE MELHORADA PARA AUXILIAR REMOÇÃO DE TUMORES CEREBRAIS [BRAS, 2001].	21
FIGURA 5-4: MODELO 3D OBTIDO A PARTIR DA RM É PROJETADO NO CÉREBRO DO PACIENTE DEITADO NA SALA DE OPERAÇÕES [BRAS, 2001].	21
FIGURA 6-1: WINDTUNNEL DESENVOLVIDO PELA NASA [RESSLER, 1997].	24
FIGURA 6-1: <i>TEST-DRIVE</i> DOS NOVOS PROJETOS DE TRATORES [RESSLER, 1997].	27
FIGURA 6-2: TORNO CNC VIRTUAL COM A PORTA DE SEGURANÇA ABERTA [VALERIO NETTO, 2000].	28

1. INTRODUÇÃO

O custo de implantação da tecnologia de Realidade Virtual (RV) permaneceu proibitivo por muitos anos, apesar da tecnologia existir há mais de duas décadas. O avanço tecnológico e o crescimento da indústria de computadores fez com que a RV deixasse de ser viável apenas para as grandes empresas e instituições de pesquisa. Atualmente, é possível encontrar *software* e *hardware* de baixo custo para o desenvolvimento de aplicações baseadas nesta tecnologia, que permite simular situações reais em um computador, podendo levar o usuário à sensação de “estar em outro lugar” [Machado, 1995].

Muitas empresas têm adotado a RV como uma forma mais eficaz de vender seus produtos, validar seus protótipos e treinar/ensinar seus funcionários ou, no caso de instituições de ensino, seus alunos. Pode-se afirmar que a tecnologia de RV oferece, atualmente, uma opção financeiramente acessível para a solução de diversos problemas, ao alcance das empresas e instituições.

O acelerado desenvolvimento tecnológico observado a partir do final da década de 80 provocou uma série de modificações nas relações entre as nações, seja do ponto de vista político, social ou econômico. Dentre essas modificações, talvez a mais importante seja a globalização da economia em escala mundial, com a queda das barreiras comerciais entre as nações, que visa permitir o fácil acesso das empresas de qualquer parte do globo aos mercados nacionais. Isso provocou um drástico aumento do nível de competição nesses mercados, que até recentemente eram cativos das “empresas nacionais”. Assim, as empresas precisam aumentar sua competitividade para enfrentar os novos concorrentes que vêm disputar a sua fatia do mercado. Isso implica em uma total remodelagem dos sistemas produtivos, desde a substituição de equipamentos obsoletos e de baixa produtividade por outros mais modernos e produtivos, passando pela reestruturação dos *layouts* das fábricas e do fluxo de peças no chão de fábrica, para melhorar a qualidade do produto e diminuir seu tempo de fabricação e os gastos com matéria prima. Por outro lado, a sofisticação dos atuais equipamentos exige mão de obra melhor qualificada e mais especializada, o que coloca em cheque os métodos tradicionais de ensino e treinamento, já que é necessário transferir uma quantidade maior de conhecimento mais complexo, de forma mais eficiente.

Buscando novas formas de obter essa melhoria organizacional das empresas e propiciar a modernização do sistema produtivo, alguns pesquisadores estão propondo a utilização de *software* baseado em RV para simulação de equipamentos, treinamento de funcionários, validação de planejamento de produção, visualização de *layouts* de fábricas e prototipação de produtos [McCarty, 1994; Moshell, 1994; Owen, 1995; Ressler, 1997]. Vários autores relatam aplicações da RV no ensino e treinamento, comprovando a eficiência de desta tecnologia para tal fim [Jacobson, 1993; Loftin, 1995; Rosenblum, 1995]. Um *software* de desenvolvimento de ambientes de RV permite modelar maquinários, veículos e dispositivos, e simular o comportamento real do equipamento. Isso pode economizar dinheiro e ciclos de desenvolvimento, e permitir sessões de treinamento e validação feitas com o produto virtual.

Por fim, o avanço das pesquisas na área vem melhorando a qualidade dos dispositivos de *hardware*, como capacetes de visualização, luvas e óculos mais leves e com mais recursos, o que contribui para despertar maior interesse dos vários segmentos industriais e aumentar a base de usuários e de aplicações no mundo todo. Da mesma forma, existe uma grande quantidade de *software* disponível, com diferentes ferramentas de programação e voltados para diferentes plataformas. Hoje é possível, com um computador pessoal, construir e explorar ambientes de RV.

2. O QUE É REALIDADE VIRTUAL

Diane Ackerman afirma, em seu livro *A Natural History of the Senses*, que 70% dos receptores do sentido humano encontram-se nos olhos, tornando-os os grandes “monopolistas dos sentidos” [Jacobson, 1994]. A maioria das informações recebidas pelo ser humano tem a forma de imagens visuais, as quais são interpretadas por um computador extremamente eficiente, o cérebro. Os computadores digitais, por sua vez, interpretam informações fornecidas por algum dispositivo de entrada de dados, como um teclado, por exemplo. Atualmente, a RV permite que computadores e mente humana atuem de forma cada vez mais integrada [Machado, 1995].

O termo Realidade Virtual é creditado a Jaron Lanier, fundador da VPL Research Inc., que o cunhou, no início dos anos 80, para diferenciar as simulações tradicionais feitas por computador de simulações envolvendo múltiplos

usuários em um ambiente compartilhado [Araújo, 1996]. Pesquisas como a de Myron Krueger, em meados da década de 70, já utilizavam o termo Realidade Artificial, e William Gibson utilizou o termo *cyberspace*¹ em 1984, no seu romance de ficção científica *Neuromancer* [Gibson, 1984; Machover, 1994^a]. Espaço cibernético (*cyberspace*) foi o termo utilizado para designar uma representação gráfica de dados abstraídos dos bancos de dados de todos os computadores do sistema humano. Gibson descreveu uma rede de computadores universal contendo todo tipo de informações, na qual seria possível “entrar” e explorar os dados de forma multisensorial, e onde pessoas com implantes em seus corpos podiam transmitir informações diretamente para o computador. Na verdade, o Espaço Cibernético é um espaço imaginário, uma simulação 4D do espaço-tempo controlada pela interface de RV [Adams, 1994]. Vince [1995] afirma que, desde que os sistemas de RV criem o espaço cibernético, é possível interagir com tudo e com todos em um nível virtual.

O termo RV é bastante abrangente, e acadêmicos, desenvolvedores de *software* e pesquisadores tendem a defini-lo com base em suas próprias experiências, gerando diversas definições na literatura. Pode-se dizer, de uma maneira simplificada, que RV é a forma mais avançada de interface do usuário com o computador até agora disponível [Hancock, 1995]. Trata-se de uma interface que simula um ambiente real e permite aos participantes interagirem com o mesmo [Latta, 1994], permitindo às pessoas visualizarem, manipularem e interagirem com representações extremamente complexas [Aukstakalnis, 1992]. Ela é um paradigma pelo qual usa-se um computador para interagir com algo que não é real, mas que pode ser considerado real enquanto está sendo usado [Hand, 1994].

Outra definição é o uso de computadores e interfaces com o usuário para criar o efeito de mundos tridimensionais que incluem objetos interativos com uma forte sensação de presença tridimensional [Bryson, 1996]. Além disso, a RV engloba um conjunto de técnicas e ferramentas gráficas 3D que permite aos usuários interagir com um ambiente gerado por computador, em tempo real, com uma pequena ou nenhuma consciência de que está usando uma interface usuário-computador [Leston, 1996].

Outros autores [Burdea, 1994; Jacobson, 1991; Krueger, 1991] afirmam que RV é uma técnica avançada de interface que permite ao usuário realizar imersão, navegação e interação em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, utilizando canais multi-sensoriais. Ainda outra definição é como a simulação do espaço-tempo 4D, isto é, uma animação de pontos de observação apresentada em um contexto interativo e em tempo real. É uma interface que proporciona controles para o usuário manipular e interagir com uma base de dados que é o espaço-tempo 4D, incluindo a realidade artificial (espaço virtual) e as entidades (objetos virtuais) que ela contém [Adams, 1994]. O termo espaço-tempo 4D geralmente refere-se a imagens computadorizadas 3D animadas às quais foi acrescentada a quarta dimensão, que é o tempo.

Na prática, a RV permite que o usuário navegue e observe um mundo tridimensional, em tempo real e com seis graus de liberdade (6DOF). Isso exige a capacidade do *software* de definir, e a capacidade do *hardware* de reconhecer, seis tipos de movimento: para frente/para trás, acima/abaixo, esquerda/direita, inclinação para cima/para baixo, angulação à esquerda/à direita e rotação à esquerda/à direita. Na essência, a RV é um “espelho” da realidade física, na qual o indivíduo existe em três dimensões, tem a sensação do tempo real e a capacidade de interagir com o mundo ao seu redor. Os equipamentos de RV simulam essas condições, chegando ao ponto em que o usuário pode “tocar” os objetos de um mundo virtual e fazer com que eles respondam, ou mudem, de acordo com suas ações [Von Schweber, 1995].

A interface em RV envolve um controle tridimensional altamente interativo de processos computacionais. O usuário entra no espaço virtual das aplicações e visualiza, manipula e explora os dados da aplicação em tempo real, usando seus sentidos, particularmente os movimentos naturais tridimensionais do corpo. A grande vantagem é que o conhecimento intuitivo do usuário sobre o mundo físico pode ser transportado para o mundo virtual. Para suportar esse tipo de interação o usuário utiliza dispositivos não convencionais, como capacetes de visualização e controle, e luvas de dados, chamadas *datagloves*. O uso desses dispositivos dá ao usuário a impressão de que a aplicação está funcionando no ambiente tridimensional real, permitindo a exploração do ambiente e a manipulação natural dos objetos com o uso das mãos [Kirner, 1996].

O termo Mundo Virtual é usado para denotar o mundo digital criado a partir de técnicas de Computação Gráfica. Uma vez que é possível interagir e explorar esse mundo por meio de dispositivos de entrada e de saída, ele se

¹ Trata-se de uma metáfora relacionada a um espaço não físico onde o usuário pode realizar ações (interações com o meio) com este ambiente não real [Josefsson, 1998].

transforma em um ambiente virtual, ou ambiente de Realidade Virtual [Vince, 1995]. A RV é, freqüentemente, confundida com animação, CAD (*Computer Aided Design*) ou multimídia. Em comparação com essas tecnologias, a RV é [Leston, 1996]:

- Orientada ao usuário, o observador da cena virtual;
- Mais imersiva, por oferecer uma forte sensação de presença dentro do mundo virtual;
- Mais interativa, pois o usuário pode modificar e influenciar o comportamento dos objetos;
- Mais intuitiva, pois existe pouca ou nenhuma dificuldade em manipular as interfaces computacionais entre o usuário e a máquina.

Além disso, RV pressupõe *rendering* (processo de transformação dos modelos em imagens) em tempo real, isto é, as imagens são atualizadas assim que a cena sofre qualquer tipo de modificação, e inclui uma descrição funcional dos objetos, estendendo a descrição puramente geométrica e topológica do CAD.

O desenvolvimento de um sistema de RV requer estudos e recursos ligados a percepção sensorial, *hardware*, *software*, interface com o usuário, fatores humanos e aplicações [Bishop, 1992]. É necessário, também, algum domínio sobre dispositivos não convencionais de Entrada/Saída, computadores de alto desempenho, sistemas paralelos e distribuídos, modelagem geométrica tridimensional, simulação em tempo real, navegação, detecção de colisão, avaliação, impacto social e projeto de interfaces [Kirner, 1996].

2.1 Histórico

A RV começou na indústria de simulação, com os simuladores de voo que a força aérea do Estados Unidos passou a construir logo após a Segunda Guerra Mundial [Jacobson, 1994]. A indústria de entretenimento também teve um papel importante, ao construir um simulador chamado Sensorama (Figura 2-1). O Sensorama era uma espécie de cabine que combinava filmes 3D, som estéreo, vibrações mecânicas, aromas, e ar movimentado por ventiladores; tudo isso para proporcionar ao espectador uma viagem multisensorial [Pimentel, 1995]. Patenteado em 1962 por Morton Heilig, o equipamento já utilizava um dispositivo para visão estereoscópica.

Os primeiros trabalhos científicos na área surgiram em 1958, quando a Philco desenvolveu um par de câmeras remotas e o protótipo de um capacete com monitores que permitiam ao usuário um sentimento de presença quando dentro de um ambiente [Comeau, 1961]. Posteriormente, esse equipamento passou a se chamar *head-mounted display*, ou simplesmente HMD [Ellis, 1994].

Alguns anos depois, por volta de 1965, Ivan Sutherland, conhecido como o precursor da RV [Hand, 1994], apresentou à comunidade científica a idéia de desenhar objetos diretamente na tela do computador por meio de uma caneta ótica, marcando o início da Computação Gráfica. Sutherland tornou-se o precursor da atual indústria de CAD e desenvolveu o primeiro vídeo-capacete totalmente funcional para gráficos de computador no projeto “The Ultimate Display”. Esse vídeo-capacete permitia ao usuário observar, movimentando a cabeça, os diferentes lados de um cubo representado em uma estrutura fio-de-arama flutuando no espaço [Fisher, 1990; Machover, 1994^b].

Na mesma época em que Sutherland criava seu vídeo-capacete na Universidade de Utah, Myron Krueger experimentava combinar computadores e sistemas de vídeo, criando Realidade Artificial na Universidade de Wisconsin [Pimentel, 1995]. Em 1975, Krueger criou o VIDEOPLACE, no qual uma câmera de vídeo capturava a imagem dos participantes e projetava-a em uma grande tela. Os participantes podiam interagir uns com os outros e com objetos projetados nessa tela, sendo que seus movimentos eram constantemente capturados e processados. Essa técnica tornou-se conhecida como Realidade Virtual de Projeção [Jacobson, 1994].

Em 1982, Thomas Furness demonstrava para a Força Aérea Americana o VCASS (*Visually Coupled Airborne Systems Simulator*), conhecido como “Super Cockpit”. Trata-se de um simulador que usava computadores e vídeo-capacetes interligados para representar o espaço 3D da cabine de um avião (Figuras 2-2 e 2-3). Os vídeo-capacetes integravam as componentes de áudio e vídeo. Assim, os pilotos podiam aprender a voar e lutar em trajetórias com 6 graus de liberdade (6DOF) sem decolar verdadeiramente. O VCASS possuía alta qualidade de resolução nas imagens e era bastante rápido na atualização de imagens complexas. No entanto, o custo representava um problema: milhões de dólares eram necessários apenas para o capacete [Pimentel, 1995].

Com a nova tecnologia de visores de cristal líquido (LCD), Michael McGreevy começou a trabalhar no projeto VIVED (*Virtual Visual Environment Display*) em 1984 na NASA, no qual seriam geradas imagens estereoscópicas. A resolução das imagens era limitada em comparação ao VCASS, mas o custo era bastante atrativo [Rheingold, 1991]. As componentes de áudio e vídeo foram montadas sobre uma máscara de mergulho utilizando dois visores de cristal líquido com pequenos auto-falantes acoplados. Scott Fisher juntou-se a esse projeto em 1985, com o objetivo de incluir nele luvas de dados, reconhecimento de voz, síntese de som 3D, além de dispositivos de *feedback* (resposta) tátil.



Figura 2-1: Foto promocional de um protótipo do Sensorama [Pimentel, 1995].



Figura 2-2: Piloto usando o capacete do projeto “Super Cockpit” de Tom Furness [Pimentel, 1995].

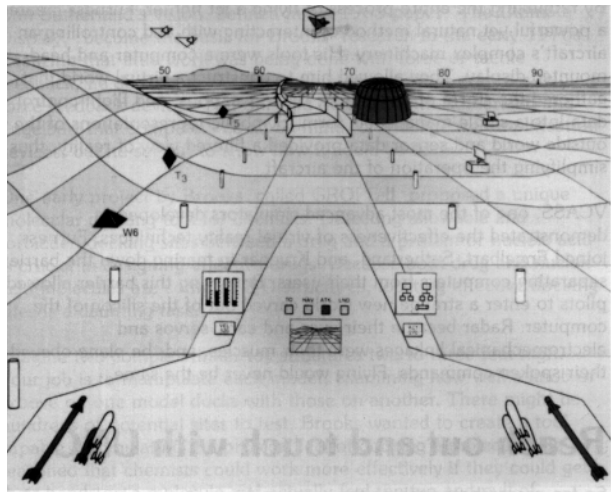


Figura 2-3: Visão do usuário do “Super Cockpit” [Pimentel, 1995].

Em 1985, Thomas Zimmerman e Jaron Lanier fundam a VPL Research, tendo como primeiro produto uma luva de dados, chamada *DataGlove*, desenvolvida por Zimmerman e capaz de captar a movimentação e inclinação dos dedos da mão. No mesmo ano uma dessas luvas foi comprada para o projeto VIVED.

No final de 1986 a equipe da NASA já possuía um ambiente virtual que permitia aos usuários ordenar comandos pela voz, escutar fala sintetizada e som 3D, e manipular objetos virtuais diretamente por meio do movimento das mãos. O mais importante é que esse trabalho permitiu verificar a possibilidade de comercialização de um conjunto de novas tecnologias, tornando mais acessível o preço de aquisição e desenvolvimento. A conscientização de que os empreendimentos da NASA poderiam gerar equipamentos comercializáveis deu início a inúmeros programas de pesquisa em RV no mundo inteiro. Desde firmas de *software* até grandes corporações de informática começaram a desenvolver e a vender produtos e serviços voltados para RV. Em 1989 a *AutoDesk* apresentou o primeiro sistema de RV para computadores pessoais (PC) [Jacobson, 1994].

2.2 Tipos de sistemas de RV

Diversos artigos e livros que abordam os conceitos e definições sobre RV ou ambiente virtual [Kalawsky, 1993; Latta, 1994; Earnshaw, 1995; Vince 1995; Exhibitors, 1997; Brunetti et al., 2000; Valerio Netto 2000]. Como mencionado, há várias definições aceitas, o que é devido, em parte, à natureza interdisciplinar da área e também à sua evolução, pois de uma maneira ou de outra, os sistemas de RV acabaram vindo de sistemas computacionais de mesa, simuladores e sistemas de tele-operação, entre outros [Kirner, 1996].

Os sistemas de RV diferem entre si de acordo com os níveis de imersão e de interatividade proporcionado ao participante. Esses níveis são determinados pelos tipos de dispositivos de entrada e saída de dados do sistema, além da velocidade e potência do computador que o hospeda. Ainda não existe um critério claro de classificação dos sistemas de RV. Shepherd, em [Shepherd, 1993], identifica duas grandes classes: tele-presença, em que um ambiente sintético comum é compartilhado entre várias pessoas como uma extensão ao conceito de trabalho cooperativo suportado por computador, e tele-operação, onde robôs agem sobre um elemento, seja ele um corpo humano ou um produto sendo manufaturado. Entretanto, esses termos sofreram vários desdobramentos e mesmo inversões.

Segundo Araújo [1996], as aplicações de RV, em geral, são classificadas da seguinte forma: tele-colaboração, tele-presença, visualização científica, visualização de dados 3D e outros. Na tele-colaboração, usuários remotos compartilham um ambiente virtual para realizar uma tarefa em comum. Estes sistemas são, na verdade, extensões do conceito de trabalho cooperativo apoiado por computador (*Computer Supported Cooperative Work — CSCW*). Protótipos de sistemas de tele-colaboração implementados permitem aos usuários compartilhar um mesmo espaço e manipular objetos, sentindo o peso dos mesmos por meio de dispositivos de *feedback* de força [Araújo, 1996].

Um sistema de tele-presença, ou tele-existência, estende as capacidades motoras e sensoriais de um operador humano, bem como a suas habilidades de solução de problemas, para um ambiente remoto. Na tele-presença, também referenciada como tele-operação ou tele-robótica, o robô que executa as tarefas está fisicamente separado de seu operador humano. As ações executadas pelo operador são traduzidas em ações executadas pelo robô em seu ambiente remoto, ao mesmo tempo em que é emitido *feedback* sensorial ao operador humano, que se sente como se estivesse realmente presente no ambiente remoto [Araújo, 1996]. A tele-presença pode ser mais claramente vista como uma técnica de visão que realça a função intermediária entre o participante e o ambiente [Latta, 1994].

A Visualização Científica permite que enormes quantidades de dados gerados por simulações computacionais sejam mapeados em representações visuais 3D. Dados podem ser representados como pontos, linhas, curvas, superfícies, volumes, cores, e mesmo como sons. Também podem ser manipulados e observados de vários ângulos e posições, seccionados, etc., permitindo uma ampla exploração das propriedades globais de soluções numéricas. Uma aplicação relacionada que também envolve sistemas complexos e grandes volumes de dados é denominada visualização de informação, ou visualização de dados 3D. É o caso da visualização de *software*, cujo objetivo é o facilitar o desenvolvimento de sistemas altamente complexos e de grande porte, por exemplo, para gerenciamento de redes de telecomunicações, controle de tráfego aéreo, gerenciamento de linhas metroviárias e ferroviárias.

Pimentel em [Pimentel, 1995] considera que sistemas ou estilos de RV podem ser classificados como RV de Simulação, RV de Projeção, *Augmented Reality* (Realidade Realçada ou Aumentada), Tele-presença, *Visually Coupled Displays* (“*Displays* Visualmente Acoplados”) e RV de Mesa.

A RV de Simulação corresponde ao tipo mais antigo, originado com os simuladores de vôo desenvolvidos pelos militares americanos após a Segunda Guerra Mundial [Jacobson, 1994]. Um sistema desse tipo basicamente imita o interior de um carro, avião ou jato, colocando o participante dentro de uma cabine com controles. Na cabine, telas de vídeo e monitores apresentam um mundo virtual que reage aos comandos do usuário. Uma vez que o sistema de RV de Simulação não processa imagens em estéreo, as imagens são geradas de forma bastante rápida. Em alguns sistemas as cabines são montadas sobre plataformas móveis, e os controles oferecem *feedback* tátil e auditivo.

A RV de Projeção também é conhecida como Realidade Artificial, e foi criada nos anos 70 por Myron Krueger. Na RV de Projeção o usuário está fora do mundo virtual, mas pode se comunicar com personagens ou objetos nele contidos. O sistema VIDEOPLACE, criado por Krueger naquela época, capturava a imagem do(s) usuário(s) e projetava-a em uma grande tela que representava um mundo virtual no qual os usuários podiam interagir uns com os outros ou com objetos. Krueger usou o termo Realidade Artificial para descrever o tipo de ambiente criado pelo seu sistema, que não exigia que o participante vestisse ou usasse dispositivos de entrada de dados [Jacobson, 1994].

A Realidade Realçada ou Aumentada (*Augmented Reality*) utiliza dispositivos visuais transparentes presos à cabeça do usuário. Pelo fato desses *displays* serem transparentes, o usuário pode ver dados, diagramas, animações e gráficos 3D sem deixar de enxergar o mundo real, tendo informações geradas por computador sobrepostas ao mundo real. Esses *displays* transparentes são chamados *heads-up-displays* (HUDs). O usuário pode, por exemplo, estar consertando algo e visualizando nos óculos os dados necessários a esta operação.

A Telepresença, como já mencionado, utiliza câmeras de vídeo e microfones remotos para envolver e projetar o usuário profundamente no mundo virtual. Controle de robôs e exploração planetária são exemplos de pesquisas em desenvolvimento. No entanto, existe um grande campo de pesquisa no uso de tele-presença em aplicações médicas. Médicos já utilizam câmeras de vídeo e cabos de fibra óptica em intervenções cirúrgicas para visualizar os corpos de seus pacientes. Através da RV eles podem, literalmente, “entrar” no paciente, indo direto ao ponto de interesse e/ou vistoriar a operação feita por outros.

Os *Displays* Visualmente Acoplados (*Visually Coupled Displays*) correspondem a uma classe de sistemas na qual as imagens são exibidas diretamente ao usuário, que está olhando em um dispositivo que deve acompanhar os movimentos de sua cabeça. Esse dispositivo geralmente permite imagens e sons em estéreo, além de conter sensores especiais que detectam a movimentação da cabeça do usuário e usam essa informação para realimentação da imagem exibida.

A RV de Mesa (*Desktop VR*) é um subconjunto dos sistemas tradicionais de RV em que, ao invés de *head-mounted displays* (HMD) são utilizados grandes monitores ou algum sistema de projeção para apresentação do mundo virtual. Alguns sistemas permitem ao usuário ver imagens 3D no monitor com óculos obturadores, polarizadores ou filtros coloridos.

O conceito de CAVE (*CAVE Automatic Virtual Environment*) surgiu como uma nova proposta de interface para sistemas de RV [Cruz-Neira, 1992]. Um CAVE (ou uma Caverna, em português) consiste de uma sala em que paredes, teto e chão são telas semi-transparentes aonde as imagens são projetadas, permitindo que uma ou mais pessoas fiquem imersas no ambiente virtual. A projeção das imagens é feita por projetores posicionados atrás das telas e pode ser estereoscópica, exigindo dos usuários o uso de óculos obturadores. A grande vantagem de sistemas desse tipo é a total imersão do usuário no ambiente virtual.

Sistemas do tipo CAVE também incorporam projeção acústica tridimensional, dispositivos de rastreamento de posição e de interação. A estrutura computacional envolvida no acionamento de CAVEs é bastante avançada e deve processar os pares estereoscópicos das imagens (em um total de 12 imagens, supondo um CAVE de 6 lados) além de gerenciar os dispositivos de interação, auditivos e projetores. A Figura 2-4 mostra o esquema de um CAVE com o posicionamento dos projetores.

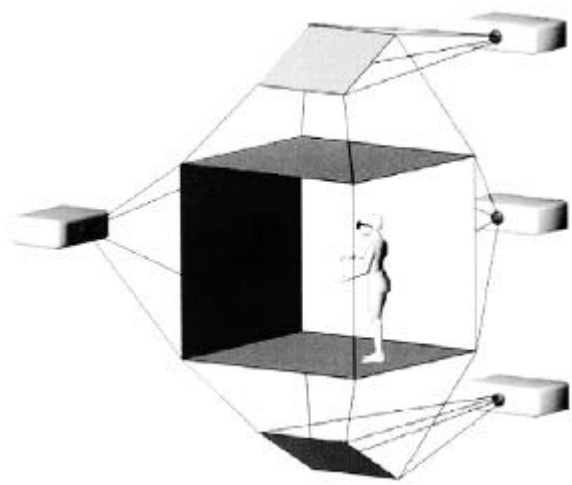


Figura 2-4: Esquema de um CAVE com o posicionamento dos projetores atrás das telas.

2.3 Imersão, interação e envolvimento

A RV também pode ser caracterizada pela coexistência integrada de três idéias básicas: imersão, interação e envolvimento [Morie, 1994]. A idéia de imersão está ligada ao sentimento de fazer parte do ambiente. Normalmente, um sistema imersivo é obtido com o uso de capacete de visualização, ou cavernas; sistemas imersivos baseados em salas com projeções das visões nas paredes, teto, e piso [Cruz-Neira, 1992]. Além do fator visual, dispositivos ligados aos demais sentidos também são importantes para o sentimento de imersão, como o som [Begault, 1994; Gradecki, 1994], o posicionamento automático da pessoa e dos movimentos da cabeça, controles reativos, etc. A visualização de uma cena 3D em um monitor é considerada não imersiva. Dessa forma, tem-se a conceituação de RV imersiva e não imersiva [Leston, 1996].

De modo geral, do ponto de vista da visualização a RV imersiva utiliza capacete ou cavernas, enquanto a RV não imersiva utiliza monitores. Entretanto, dispositivos baseados nos demais sentidos podem introduzir algum grau de imersão à RV que usa monitores [Robertson, 1993]. Os monitores ainda apresentam alguns pontos positivos, como o baixo custo e a facilidade de uso, evitando as limitações técnicas e problemas decorrentes do uso do capacete. Porém, a tendência deve ser a utilização da RV imersiva na grande maioria das aplicações futuras.

A interação está ligada à capacidade do computador detectar as entradas do usuário e modificar instantaneamente o mundo virtual em função das ações efetuadas sobre ele (capacidade reativa). As pessoas são cativadas por uma boa simulação em que as cenas mudam em resposta aos seus comandos, que é característica mais marcante dos *vídeo games*. Para que um sistema de RV pareça mais realista, o ambiente virtual inclui objetos simulados. Outros

artifícios para aumentar o realismo são empregados, por exemplo, a texturização dos objetos do ambiente e a inserção de sons tanto ambientais quanto sons associados a objetos específicos [Araújo, 1996].

A idéia de envolvimento, por sua vez, está ligada ao grau de motivação para o engajamento de uma pessoa em determinada atividade. O envolvimento pode ser passivo, como ler um livro ou assistir televisão, ou ativo, ao participar de um jogo com algum parceiro. A RV tem potencial para os dois tipos de envolvimento ao permitir a exploração de um ambiente virtual e propiciar a interação do usuário com o mundo virtual dinâmico.

Embora a percepção visual seja nosso sentido primário, outros sentidos também devem ser estimulados para proporcionar uma completa imersão; entre os quais o retorno auditivo, o tato e a força de reação.

2.4 RV passiva, exploratória ou interativa

Um aplicativo de RV pode proporcionar uma sessão sob três formas diferentes: Passiva, Exploratória ou Interativa [Adams, 1994]. Uma sessão de RV passiva proporciona ao usuário uma exploração do ambiente automática e sem interferência. A rota e os pontos de observação são explícitos e controlados exclusivamente pelo *software*. O usuário não tem controle algum, exceto talvez, para sair da sessão.

Uma sessão de RV exploratória proporciona uma exploração do ambiente dirigida pelo usuário. O participante pode escolher a rota e os pontos de observação, mas não pode interagir de outra forma com entidades contidas na cena.

Uma sessão de RV interativa proporciona uma exploração do ambiente dirigida pelo usuário e, além disso, as entidades virtuais do ambiente respondem e reagem às ações do participante. Por exemplo, se o usuário move o ponto de observação em direção à porta, esta pode parecer abrir-se, permitindo ao participante passar por ela.

A navegação em ambientes virtuais é controlada pelo posicionamento do observador no mundo virtual, o chamado ponto de observação (*viewpoint*). A navegação é, provavelmente, a forma mais simples de interação encontrada em muitas aplicações de RV. Virtualmente, toda técnica de navegação pode ser deduzida a partir de um único modelo, que assume uma câmera montada em um “carro” virtual que, às vezes, é referenciado como *Flying Carpet model*. Algumas das técnicas de navegação mais usuais são:

- *Point-and-fly*: o usuário move o carro virtual apontando em uma determinada direção com os dispositivos de navegação (por exemplo, uma luva), e faz um certo gesto ou aperta determinado botão. Se a luva estiver sendo usada, a velocidade de movimentação pode ser controlada. Se o rastreador de cabeça estiver ativo, o mesmo controlará a câmera virtual. Essa técnica é uma das mais usadas e sugere um modo mais sofisticado: o usuário aponta para um objeto desejado e o sistema computa o desvio que posicionará o usuário em frente ao objeto; aqui também a velocidade pode ser controlada. Algumas vezes, é desejável restringir o carro a uma certa altura, por exemplo, ao nível dos olhos, e o usuário pode então se mover ao redor da cena, nessa altura fixa;
- *Eye-ball-in-hand*: esse paradigma é implementado pela realimentação do sistema de rastreamento (por exemplo, a posição de um sensor eletro-magnético, ou um BOOM – dispositivo de saída a ser explicado no Capítulo 3), diretamente para o ponto e a direção de observação, enquanto o ponto de observação permanece fixo. Essa técnica é muito apropriada para a análise de um único objeto a partir de diferentes pontos de observação, por exemplo, no projeto de interiores. Em resumo, todas as ações são carregadas/atualizadas a partir do ponto de observação do usuário (Turunem, 2002).
- *Scene-in-hand*: este paradigma é oposto ao anterior (Turunem, 2002). A técnica mapeia os movimentos dos dispositivos de entrada 3D dentro de um mundo virtual, mantendo o ponto de observação do usuário e movendo o mundo em volta. Um mecanismo de “ação das mãos” (*clutch*) (pegar, soltar, etc.) é, normalmente, incluído para ampliar o alcance dos movimentos (Hand, 1997).
- Algumas vezes é necessário controlar o ponto de observação sem o uso das mãos. Nesse caso, o reconhecimento de voz pode ser empregado para mover o carro virtual, proferindo comandos simples como: à esquerda, pare, etc.

Para aumentar a flexibilidade é altamente desejável que diferentes modos de navegação sejam mapeados para diferentes configurações de dispositivos de entrada, já que certas combinações de modos de navegação e

configurações de dispositivos de entrada tendem a ser usadas com mais frequência do que outras. Existem muitos parâmetros que afetam a representação do usuário e a navegação, como velocidade de navegação, tamanho da mão, escala dos movimentos da cabeça (*head motion*) e separação dos olhos.

2.5 Requisitos necessários para um sistema de RV

É necessário ter bem claro quais são as condições necessárias para que um sistema seja considerado como de RV. Na nossa visão, características que devem estar presentes são descritas a seguir. Um sistema não precisa necessariamente explorar ao máximo todas estas características, mas a ausência total de um desses itens pode comprometer a classificação do sistema como sendo de RV.

- a) Interface de alta qualidade: a RV é utilizada como a interface de mais alto nível entre o ser humano e a máquina, pois permite que ambos interajam de uma maneira intuitiva para a pessoa, por imitar o que acontece na interação desta com o mundo real.
- b) Alta interatividade: O ambiente deve reagir de maneira adequada às ações do usuário e permitir o maior número possível de ações.
- c) Imersão: o conceito de imersão aqui não está inteiramente ligado à RV imersiva. O que se quer dizer com imersão é que um sistema de RV deve permitir que o usuário sinta-se “dentro” do mundo virtual, seja com o seu corpo físico ou com uma representação qualquer (avatar², vídeo, simulação de cabine, etc.). É importante que, de alguma forma, o usuário seja “envolvido” pelo ambiente.
- d) Uso da Intuição/Envolvimento: o sistema deve explorar a intuição do usuário “envolvido” pelo ambiente e, assim, proporcionar novas formas de interação. Por exemplo, o projetista de um sistema de simulação de veículo que inclua um volante, marcha e pedais tem muito mais liberdade de projetar ações do que projetista de um sistema equivalente em que o usuário tem que ficar em pé e utilizar um *joystick*. No primeiro caso, o projetista sabe que o usuário já está habituado a certas ações, por sua experiência no mundo real.
- e) Analogia/Ampliação do Mundo Real: O fato de criar envolvimento e utilizar a intuição faz com que o sistema de RV atue como uma transferência do mundo real, capturando tudo de proveitoso que pode vir do fato de o usuário já ter uma “noção” do que deve fazer e como fazer, mas acrescentando aspectos que não existem no mundo real. Por exemplo, um sistema de busca bibliográfica pode utilizar, de alguma forma, a habilidade do usuário se locomover em uma biblioteca e olhar as estantes, mas a biblioteca “virtual” pode destacar visualmente volumes que possam ser do interesse do usuário.

3. DISPOSITIVOS DE SAÍDA

A maioria das aplicações de RV é baseada no isolamento dos sentidos. O *hardware* de RV estimula principalmente a visão e a audição, e o sentido do tato está começando a ser explorado.

3.1 Dispositivos visuais

Os dispositivos visuais e a qualidade de imagem gerada influenciam fortemente a percepção do nível de imersão de um sistema de RV. Alguns autores chegam a dividir ou classificar as pesquisas sobre RV de acordo com os dispositivos de visualização empregados [Cruz-Neira, 1992]. Os sistemas de RV podem ser monoscópicos ou estereoscópicos: no primeiro caso, uma única imagem é “renderizada” e exibida para os dois olhos; no segundo cada olho observa uma imagem ligeiramente diferente, cada qual “renderizada” separadamente [Pimentel, 1995].

Um fator importante no resultado visual é o número de quadros por segundo que podem ser exibidos, ou seja, a velocidade da simulação. Filmes projetados para o cinema apresentam aproximadamente 24 quadros por segundo,

² São representações visuais de usuários ou agentes autônomos dentro do mundo virtual que são controlados; podem ser imagens tridimensionais ou vídeos que servem como entrada padrão para o usuário que o controla.

enquanto que os projetados para TV apresentam aproximadamente 30 quadros por segundo [Foley, 1990]. Em RV, busca-se entre 15 e 22 quadros por segundo [Jacobson, 1994].

Existem duas classes de dispositivos visuais, a primeira composta pelos vídeo-capacetes (HMDs) e *head-coupled displays* (dispositivos que utilizam braços mecânicos para permanecer posicionados diante do usuário); a segunda composta pelos monitores de computador e sistemas de projeção. O que diferencia essas duas classes é que, na primeira, o dispositivo possui sensores para detectar os movimentos do usuário, enquanto que na segunda isso não ocorre, e o rastreamento depende dos comandos do usuário via outro dispositivo de entrada.

3.1.1 HMD e BOOM

O vídeo-capacete (*Head-Mounted Display*, HMD) é um dos dispositivos de interface para RV mais populares (Figuras 3-1 e 3-2), por tratar-se do dispositivo de saída de dados que mais isola o usuário do mundo real. Ele é constituído basicamente de duas minúsculas telas de TV e um conjunto de lentes especiais. As lentes ajudam a focalizar imagens que estão a alguns milímetros dos olhos do usuário, ajudando também a ampliar o campo de visão do vídeo. O vídeo-capacete funciona também como um dispositivo de entrada de dados, porque contém sensores de rastreamento que medem a posição e orientação da cabeça, transmitindo esses dados para o computador. Consequentemente, o computador gera uma sequência de imagens por quadro correspondente às ações e perspectivas do usuário [Gradeski, 1994; Delaney, 1996].



Figura 3-1: HMD desenvolvido na primeira geração de HMDs da NASA [Kalawski, 1993].



Figura 3-2: No HMD existem sensores (parte de trás do equipamento) que captam os movimentos da cabeça do usuário permitindo que o computador gere a imagem apropriada.

O *Head-Coupled Display*, conhecido como BOOM (*Binocular Omni-Oriented Monitor*), consiste de um *display* montado sobre um braço mecânico com um contra-peso, fazendo com que o *display* possua “peso zero”. Sensores ligados ao braço mecânico e controles próximos ao *display* permitem movimentos em até 6 graus de liberdade [Bolas, 1994; Araújo, 1996].

O formato do *head-coupled display* permite uma transição fácil entre a visualização do mundo virtual e a interação com teclados, monitores e outros dispositivos que possam estar controlando a simulação. Devido a essa e outras características, inclusive o preço inferior ao dos HMDs, os *head-coupled displays* são bastante populares na comunidade científica (Figura 3-3). A Figura 3-4 mostra os componentes básicos de um *head-coupled display*.



Figura 3-3: O sistema de *display* estereoscópico BOOM utilizado com uma *workstation* de alta resolução. Montado sobre um braço articulado com contra-peso, o *display* permite movimentos com 6DOF [Bolas, 1994].

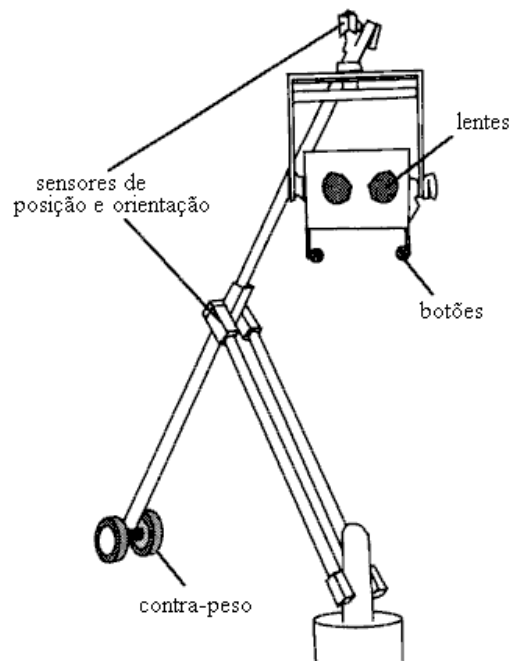


Figura 3-4: Esquema com os elementos básicos de um sistema de *head-coupled display* suspenso [Pimentel, 1995].

3.1.2 Monitores e sistemas de projeção

Nos sistemas de RV baseados em monitores ou sistemas de projeção o usuário precisa estar constantemente olhando para o monitor ou tela, e utilizar algum dispositivo de entrada para controlar sua movimentação pelo mundo virtual. Isso não significa, entretanto, que as imagens não possam ser vistas em estéreo. Uma técnica básica utiliza óculos obturadores (*shutter glasses*) (figuras 3-5) para filtrar as duplas de imagens geradas pelo computador. Ou seja, o computador exibe alternadamente as imagens direita e esquerda sincronizadas com óculos que bloqueiam cada um dos olhos, permitindo que o usuário visualize uma imagem que “sai” da tela.



Figura 3-5: Exemplo de um *shutter glasses*.

Outra técnica utiliza filtros coloridos, em que as imagens de cada olho são exibidas em cores complementares, como vermelho e azul (ou vermelho e verde). As imagens são observadas com óculos que tem a mesma correspondência de cores (são os filtros), permitindo a cada olho ver a sua respectiva imagem. No entanto, esses óculos cansam os olhos após algum tempo de uso, e só podem ser usados com monitores coloridos [Vince, 1995]. Uma vantagem dos óculos é que eles permitem que várias pessoas participem da experiência de RV, além do custo ser inferior ao de um HMD.

Um dispositivo antigamente utilizado foi o chamado “capuz” de visualização: uma peça plástica anexada à superfície frontal do monitor. Nesse sistema o computador exibe as imagens esquerda e direita simultaneamente (lado a lado) no monitor, sendo que o “capuz” separa e reflete a dupla de imagens de forma que o usuário perceba um único objeto flutuando à sua frente (Figura 3-6) [Jacobson, 1994].



Figura 3-6: Capuz de visualização Cyberhood preso a um monitor convencional [King, 1993].

3.2 Dispositivos auditivos

Os dois ouvidos captam ondas sonoras provenientes de todas as direções. O formato de concha do ouvido externo capacita-o para o trabalho de coletar ondas sonoras e direcioná-las aos vários caminhos do canal auditivo. O cérebro recebe e processa as características desse som para localizar o local da fonte sonora. Os sistemas de som 3D duplicam artificialmente os ativadores naturais que auxiliam o cérebro a localizar o som, além de recriarem eletronicamente esses efeitos em tempo real [Jacobson, 1994].

Existem diversas placas de som projetadas para trabalhar com conjuntos de ferramentas que constroem mundos virtuais. Algumas delas permitem trabalhar com diversas fontes de som simultâneas [Schweber, 1995]. Um método bastante popular para criar e controlar sons é o MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*).

3.3 Dispositivos hápticos

Os dispositivos hápticos ou para muitos especialistas da área, dispositivos de reação tátil (uma vez que a palavra háptico não existe no Português e, mesmo, no Inglês trata-se de um jargão), procuram estimular sensações como o tato, tensão muscular e temperatura [Gradecki, 1995]. Diferentemente dos dispositivos de saída de visão e audição, os dispositivos hápticos requerem uma sofisticada interação eletromecânica com o corpo do usuário. A utilização de dispositivos hápticos em sistemas de RV envolve a utilização de sistemas computacionais potentes e dispositivos de entrada e saída específicos. Estes dispositivos são especialmente úteis em simulações em que não existe informação visual, como por exemplo, um leitor de códigos em braille. Destacamos, aqui, duas diferentes classes de dispositivos hápticos: reação tátil e reação de força.

Os sistemas de reação tátil transmitem sensações que atuam sobre a pele. Sistemas de reação tátil podem incluir não apenas a sensação do toque, mas também a percepção de geometria, rugosidade, temperatura e características de atrito de superfície associadas ao objeto tocado [Burdea, 1996]. Geralmente, estes dispositivos também englobam reação de força.

Sistemas que transmitem as sensações de pressão ou peso oferecem *feedback* de força. Uma maneira de construir um sistema desse tipo seria por uma espécie de exoesqueleto mecânico que se encaixa no corpo do usuário, fazendo com que determinados movimentos permitam-lhe sentir o peso ou a resistência do material de um objeto no mundo virtual. Alguns sistemas transmitem reação de força apenas para as mãos e braços (Figura 3-7). Pelo uso de pistões, por exemplo, é possível controlar a quantidade de resistência do braço e/ou da mão do usuário [Gradecki, 1995].

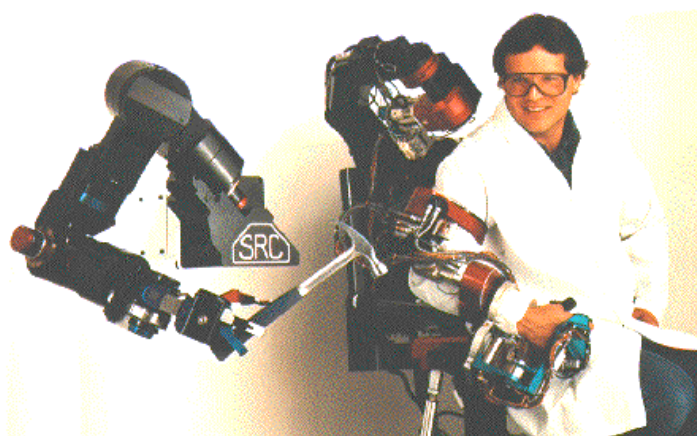


Figura 3-7: O usuário pode “sentir” o peso e o cabo do martelo, enquanto um braço mecânico executa a mesma ação com o martelo real [Pimentel, 1995].

Já estão disponíveis comercialmente diversos dispositivos hápticos, como o *Phantom* da *Sensable* (Figura 3-8), concebido para permitir movimentos e reação tátil e de força para a mão do usuário.



Figura 3-8: Dispositivo háptico Phantom da Sensable [Sensable, 2002].

As plataformas móveis também são consideradas dispositivos hápticos, pois distribuem as reações de força pelo corpo do usuário [Burdea, 1996]. Normalmente, são utilizadas em vídeo games, simuladores de voo e simuladores de movimento.

4. DISPOSITIVOS DE ENTRADA

O participante da experiência de RV pode “entrar” no mundo virtual por intermédio dos dispositivos de saída de dados. Os dispositivos de entrada, por outro lado, permitem a movimentação do usuário e sua interação com o mundo virtual. Sem um dispositivo de entrada de dados adequado o usuário participa da experiência de RV de forma passiva.

Pimentel, em [Pimentel,1995], divide os dispositivos de entrada em duas categorias: dispositivos de interação e dispositivos de trajetória. Os dispositivos de interação permitem ao usuário a movimentação e manipulação de objetos no mundo virtual. Os dispositivos de trajetória, por sua vez, monitoram partes do corpo do usuário, detectando seus movimentos e criando a sensação de presença no mundo virtual.

4.1 Dispositivos de interação

Existem diferentes dispositivos de interação com diferentes finalidades: é importante escolher o mais adequado para a aplicação de RV em questão. Essa escolha deve considerar a finalidade do sistema e também o *software* utilizado, pois a eficiência do sistema vai depender da sua capacidade de aproveitar as características do dispositivo. Muitos dispositivos de interação estão disponíveis atualmente, variando desde luvas de dados até os chamados sensores biológicos.

4.1.1 Dataglove

A *dataglove* (luva de dados) permite ao sistema de RV reconhecer os movimentos da mão do usuário que veste a luva [Sturman e Zeltzer, 1994]. Para determinar os movimentos dos dedos são utilizados, na maioria dos projetos, sensores mecânicos ou de fibra ótica. Os sensores de fibra ótica são utilizados atualmente nas versões mais populares de luvas de dados, e consistem em um fio de fibra ótica com junções. Quando a junta é movida o cabo dobra-se, reduzindo a passagem de luz por ele. Essas variações de luz são resumidas e transmitidas para o computador. O esquema básico desse tipo de luva é apresentado na Figura 4-1.

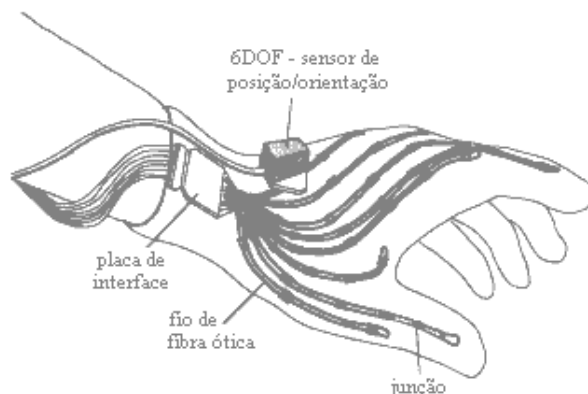


Figura 4-1: Esquema de uma luva de dados baseada em fibra ótica [Pimentel, 1995].

4.1.2 Dispositivos com graus de liberdade

Os dispositivos de interação com 6DOF permitem uma movimentação bastante ampla. Os dispositivos isométricos, ou bolas isométricas, são bastante fáceis de manipular. Em geral, consistem de uma bola sobre uma plataforma com botões que são configurados via *software*.

A Figura 5-2 ilustra este tipo de dispositivo. Algumas empresas modificaram o projeto do mouse padrão para que ele funcione com sensores de trajetória de 6DOF ou 3DOF. Esses *mouses* (o plural correto seria *mice*) passam, então, a utilizar dispositivos de rastreamento, e sua eficiência fica dependente da qualidade do sistema de rastreamento dos movimentos.

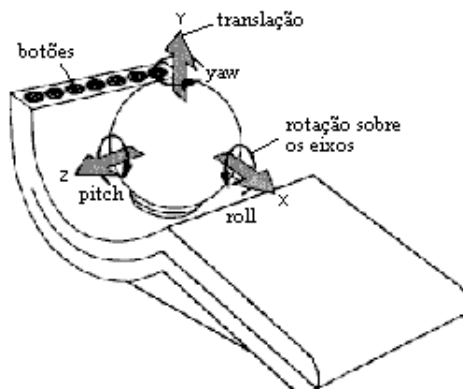


Figura 4-2: Esquema de uma bola isométrica [Pimentel, 1995].

Interagir com um mundo virtual nem sempre requer o uso de um dispositivo complicado e/ou caro. Muitas tarefas podem ser executadas com dispositivos simples com 2DOF, como um *mouse* ou um *joystick*. Apesar de limitar as possibilidades de movimento, tais dispositivos reduzem o tempo de latência e são de fácil utilização.

4.1.3 Sensores de entrada biológicos

Sensores de entrada biológicos processam atividades denominadas indiretas, como comando de voz e sinais elétricos musculares. Estudos sobre reconhecimento de voz existem há mais de vinte anos. Em sistemas de RV o reconhecimento de comandos de voz pode facilitar a execução de tarefas no mundo virtual, principalmente quando as mãos estiverem ocupadas em outra tarefa e impossibilitadas de acessar o teclado. Já os dispositivos que utilizam

sinais elétricos musculares detectam a atividade muscular por meio de eletrodos colocados sobre a pele, permitindo ao usuário movimentar-se no mundo virtual pelo simples movimento dos olhos, por exemplo.

4.2 Dispositivos de trajetória

Muitos dos dispositivos de interação mencionados acima contam com um dispositivo responsável pela detecção ou rastreamento da trajetória, conhecido como dispositivo de trajetória, ou *tracking*. Os dispositivos de trajetória operam baseados na diferença de posição ou orientação em relação a um ponto ou estado de referência. Basicamente, existe uma fonte que emite o sinal, um sensor que recebe este sinal, e uma caixa controladora que processa o sinal e faz a comunicação com o computador [Pimentel, 1995]. A Figura 4-3 ilustra um sistema de *tracking*.

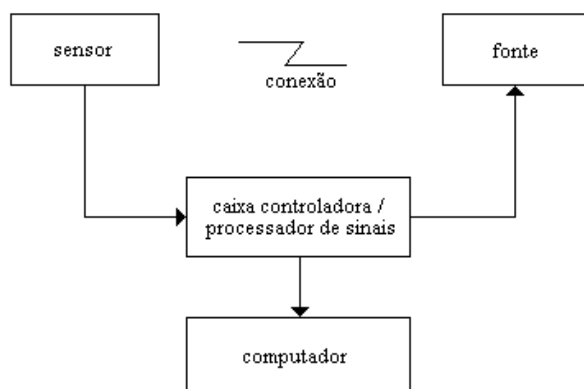


Figura 4-3: Diagrama de bloco de um sistema de detecção de trajetória típico.

A maioria das aplicações que utilizam detecção de trajetória faz uso de pequenos sensores colocados sobre as partes do corpo ou sobre o objeto (se for o caso), técnica conhecida como *tracking* ativo. Dispositivos de trajetória associados a dispositivos de interação com 6DOF utilizam técnicas eletromagnéticas, ultra-sônicas, mecânicas ou óticas para medir os movimentos. Como alternativa, o *tracking* passivo utiliza câmeras ou sensores óticos para “observar” o objeto e determinar sua posição e orientação. Diferentemente dos dispositivos que utilizam *tracking* ativo, os dispositivos de *tracking* passivo utilizam apenas um sensor para rastrear o objeto [Pimentel, 1995].

5. ÁREAS AFINS À REALIDADE VIRTUAL

As áreas aqui apresentadas têm como objetivo comum integrar os mundos real e virtual dispondo de diferentes técnicas e visando as mais diversas aplicações.

5.1 Realidade aumentada e melhorada

Realidade Virtual Aumentada (RA, *Augmented Reality*) e Realidade Virtual Melhorada (RM, *Enhanced Reality*) são duas áreas da RV que utilizam tecnologias específicas para aumentar o desempenho humano na realização de tarefas. A RA permite combinar imagens geradas no mundo virtual com imagens do mundo real por meio de um capacete parcialmente transparente provido de sensores. O objetivo é suplementar um cenário real com informações geradas pelo computador (Figuras 5-1 e 5-2). Segundo Bajura [1995] os sistemas de RA devem registrar as imagens com precisão de forma a levar o usuário a crer que os mundos real e virtual ocupam o mesmo espaço.

“Acreditamos que um dos pontos mais importantes dos usos de mundos virtuais não é para substituir o mundo real, mas sim completar a visão do usuário no mundo real” [Albuquerque, 1999]. Esta idéia, introduzida no trabalho pioneiro de Ivan Sutherland [Sutherland, 1968] sobre *head-mounted displays*, é hoje referenciada como Realidade Aumentada. Um sistema de RA gera uma imagem resultante de uma combinação de uma cena real com uma cena

virtual, gerada por computador, para enriquecer a cena final com informação adicional. Nas diferentes aplicações possíveis, a RA apresentada ao usuário pode melhorar seu desempenho na execução de tarefas por estender sua percepção do mundo que observa [Albuquerque, 1999].

Assim como a RV, a RA requer o uso de dispositivos ópticos pelo usuário, mas com o objetivo principal de sobrepor as imagens sintéticas a imagens do mundo real. Com transparência parcial dos *displays* o usuário pode simultaneamente ver o mundo real e as imagens geradas por computador. É de extrema importância que a composição de imagens seja feita com precisão.



Figura 5-1: Exemplo de uma aplicação em realidade aumentada [Microvision, 2002].

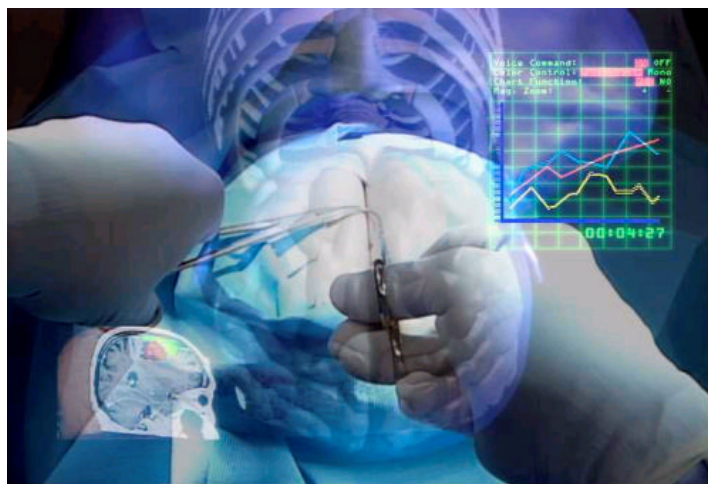


Figura 5-2: Aplicação em realidade aumentada para área médica [Microvision, 2002].

A RM explora a convergência das tecnologias de visão de máquina e computação gráfica para gerar uma forma intermediária entre o mundo real e o mundo da ficção. Segundo Bowskill [1995] a RM é uma alternativa de curto prazo, em termos tecnológicos, de oferecer aos usuários um ambiente virtual próximo do real, gerado por meio de técnicas de processamento de imagens e de visão de máquina. A chave para esta tecnologia, segundo os autores, é a idéia da anotação visual, em que a imagem em vídeo do ambiente que envolve o usuário é melhorada por gráficos gerados pelo computador. Neste caso, imagens ao vivo são sobrepostas a imagens anotadas produzidas por técnicas de processamento de imagens e apresentadas visualmente ao usuário em tempo real (Figuras 5-3 e 5-4).

Basicamente, a diferença entre RA e RM é que, na primeira, a realidade é suplementada por ambientes sintetizados pelo computador, enquanto que na segunda a realidade é suplementada por ambientes gerados por meio de uma combinação de vídeo e computação gráfica [Araújo, 1996]. Existem muitas semelhanças entre sistemas de

RV e de RA ou RM, particularmente nas necessidades de processamento em tempo real e de controle da posição do usuário.

Entretanto, uma visível diferença está na forma de imersão. Na RV tenta-se gerar um ambiente totalmente imersível. Os sentidos visual, tátil e, em alguns sistemas, auditivo, ficam sob o controle do sistema. Ao contrário, em um sistema de RA ou RM deseja-se enriquecer a cena do mundo real, o que requer que o usuário mantenha o sentimento de presença no mundo real e, portanto, ele não pode ficar totalmente imerso.

As imagens reais e virtuais são misturadas para gerar uma imagem mais completa [Albuquerque, 1999], o que demanda características inexistentes em um sistema de RV. Desenvolver tecnologia para fazer esta combinação constitui uma nova área de pesquisa.



Figura 5-3: Aplicação em Realidade Melhorada para auxiliar remoção de tumores cerebrais [Bras, 2001].



Figura 5-4: Modelo 3D obtido a partir da RM é projetado no cérebro do paciente deitado na sala de operações [Bras, 2001].

5.2 Ambientes virtuais colaborativos

O que caracteriza a área de ambientes Virtuais Colaborativos (do inglês *Collaborative Virtual Environments* - CVE) é a interação de uma pessoa com um mundo virtual 3D, o que coincide até aqui com a RV, diferindo no contexto de coletividade. Neste caso, pretende-se integrar várias pessoas distantes fisicamente ao mesmo mundo artificial, querendo torná-lo o mais natural possível e vencendo a barreira da distância por meio da comunicação em rede.

O CVE é uma área de pesquisa e desenvolvimento em que existem grandes expectativas para o suporte de comunidades virtuais, conforme descrito por Gouveia [2000]. Um Ambiente Virtual Colaborativo usa a tecnologia de RV distribuída para suportar o trabalho em grupo. Um CVE deve oferecer acesso simultâneo multi-usuário a um sistema de RV que permita realizar trabalho cooperativo. Igualmente, o sistema deve suportar as necessidades dos

usuários que pretendam trabalhar em conjunto dentro do espaço virtual partilhado onde interagem entre si e com os recursos de informação disponíveis [Benford, 1997].

Alguns dos projetos desenvolvidos nesta área são [Albuquerque, 1999]:

- *The GreenSpace Project, University of Washington*. O projeto GreenSpace teve início em Abril de 1993, sendo desenvolvido no Human Interface Technology Laboratory em colaboração com o Fujitsu Research Institute (FRI) de Tokyo. Os objetivos do projeto são desenvolver e demonstrar uma mídia de comunicação imersiva onde participantes distantes usufruam de um sentimento de presença num ambiente virtual compartilhado. O projeto pretende promover a colaboração à distância entre 100 ou mais participantes em redes de banda larga tais como SONET/ATM, imersos num ambiente rico em acuidades visual, auditiva e tátil [Mandeville, 1995].
- *I-WAY Project, Electronic Visualization Laboratory (EVL)*. Desde 1993 EVL vem trabalhando em resultados envolvendo o desenvolvimento de redes de banda larga e baixa latência, capazes de suportar dados suficientes para integrar super-computadores e dispositivos de RV espalhados pelo país. Estes *links* entre supercomputadores, CAVEs e I-DESKs criam laboratórios virtuais, que maximizam o uso eficiente de recursos e permitem cientistas, *designers*, engenheiros, artistas e educadores trabalharem de maneira integrada em projetos a longa distância [DeFanti, 1996].
- *The Virtual Society Project, Sony Computer Science Laboratory Inc.* O objetivo do projeto é investigar como a comunidade futura *online* irá evoluir. A equipe do projeto acredita que futuros sistemas *online* serão caracterizados por um alto grau de interação, hábeis para suportar multimídia e, principalmente, hábeis para suportar espaços 3D compartilhados. Usuários não terão foruns de conversas baseados apenas em texto, mas irão adentrar ambientes 3D, aonde poderão interagir com esse mundo e com outros usuários dentro deste mundo. O conceito do *Virtual Society* é simples e intuitivo: prover um ambiente 3D compartilhado no qual “modeladores de mundo” possam construir mundos 3D e popular esses mundos com serviços. Mais do que construir modelos 3D sem vida, eles querem construir mundos nos quais pessoas possam participar. Por exemplo, fazer compras ou ver um filme juntas, mesmo estando em países distantes [Albuquerque, 1999].

5.3 Cenários virtuais

A produção de efeitos especiais por computador contribuí muito com a evolução da indústria cinematográfica e de televisão, mas o reconhecimento de Cenários Virtuais como uma área da Computação Gráfica é um conceito novo [Albuquerque, 1999]. Existem alguns *softwares* comerciais para este fim e poucos trabalhos na área acadêmica, consequentemente, pouca informação técnica disponível.

O consumidor direto destes sistemas são as empresas de televisão. A Rede Globo de Televisão tem usado constantemente esta tecnologia em suas transmissões, com um sistema adquirido da *Orad's Virtual Sets*. Um exemplo foi a transmissão da Copa 98 direto da França usando um estúdio improvisado em uma sala e apresentando um cenário sofisticado e virtual.

No processo de cenários virtuais tem-se, de forma genérica, uma imagem filmada por uma câmera em um cenário real composta com uma imagem gerada por computação gráfica, para criar a imagem final. Tradicionalmente, os termos *foreground* e *background* eram usados para referenciar a imagem de frente e a imagem de fundo, respectivamente. Em cenários virtuais este conceito muda um pouco, porque pretende-se “inserir” o ator em um ambiente virtual 3D; portanto, o ator pode ficar atrás de elementos virtuais do cenário. Os termos passam a ter, então, o seguinte significado: *foreground* - para a imagem real, filmada no estúdio e *background* - para o cenário sintético, admitindo-se sobreposições das duas imagens em qualquer ordem.

Existem, de uma maneira genérica, duas principais abordagens:

- Produzir esta interação como uma pós-produção, podendo-se para isso aplicar diversas técnicas de composição para obter os efeitos desejados;
- Produzir esta interação em tempo real, utilizando-se estes recursos para transmissões ao vivo.

O objetivo principal é tornar a interação *foreground-background* cada vez mais realista para o telespectador. Em ambas as abordagens citadas a captura dos parâmetros da câmera real constitui um sério problema e na maioria dos sistemas desenvolvidos, utilizou-se sensores ou câmeras robotizadas. Estes equipamentos são de alto custo limitando, sob este aspecto, o uso destas técnicas.

Para produções em tempo real, o principal desafio é permitir que o ator possa mover-se livremente no cenário dando a certeza de que ele está imerso no ambiente virtual. Para resultados mais realistas é preciso controlar três tipos de movimentos de maneira sincronizada: movimento da câmera, movimento dos atores e movimento de elementos do cenário virtual. Conciliar estes três movimentos acarreta uma grande complexidade de estudos de caso para a geração de um sistema. Como as imagens são geradas de modo separado e depois combinadas, esses movimentos relativos causam sérios problemas de registro (alinhamento) para composição. Conciliar ampla liberdade para cada elemento acima já não é trivial e envolve vários problemas ainda em aberto. Para os três elementos simultaneamente é muito difícil e, no entanto as soluções são indispensáveis de modo a não limitar a criatividade na direção de uma cena. Relacionados a este novo domínio surgem, portanto, problemas específicos a serem tratados.

6. APLICAÇÕES EM REALIDADE VIRTUAL

Para Jean Leston [1996] empresas têm utilizado a RV em campos como automação de projetos, venda e *marketing*, planejamento e manutenção, treinamento e simulação, e concepção e visualização de dados. Entretanto, a todo momento surgem novas aplicações nas mais variadas áreas do conhecimento e de maneira bastante diversificada, em função da demanda e da capacidade criativa das pessoas. Em muitos casos, a RV vem revolucionando a forma de interação das pessoas com sistemas complexos, propiciando melhor desempenho e economizando custos.

Um exemplo de aplicação é na elaboração e visualização de projetos arquitetônicos [Informática Exame, 1995]. Um arquiteto já pode montar seus próprios ambientes virtuais utilizando apenas micros de mesa e programas simples de desenvolvimento. Na elaboração do projeto de um escritório é possível visualizar o ambiente sob diversos pontos de vista, permitindo que projetistas e possíveis clientes passem por entre móveis e detalhes da construção antes mesmo que a primeira parede seja levantada [Penteado, 1995]. Outro exemplo é o *software* desenvolvido pela Matsushita no Japão, que auxilia as pessoas a trocarem utensílios e móveis das cozinhas relativamente pequenas existentes naquele país [Kahaner, 1994; Ellis, 1994; Ressler, 1997].

Estas “maquetes eletrônicas” são, hoje, um instrumento incontestável de venda, tanto para os arquitetos quanto para as incorporações de imóveis. É por esse motivo que, além dos arquitetos que desenvolvem modelos 3D para uso próprio, visando facilitar a criação dos projetos e, posteriormente, para apresentação aos clientes, multiplicam-se pelo mundo os escritórios especializados no serviço de desenvolvimento de “maquetes eletrônicas”.

A arquitetura não é, no entanto, a única beneficiária dos novos recursos virtuais. Na área militar, uma aplicação típica é a simulação de uma cabine de avião de combate, desenvolvida pela *British Aerospace Real* para treinamento dos cadetes britânicos [Kalawsky, 1993]. Outro trabalho na área de simulação e treinamento em aviões de combate é citado por McCarty [1994]. A RV também é usada para treinar operadores de radares que rastreiam trajetórias de aeronaves [Sense8, 1996], no treinamento de marinheiros para a prática de navegação em submarinos [VRAIS'96, 1996] e na simulação de um tanque de guerra para treinamento. Este último trabalho é vinculado ao projeto SIMNET desenvolvido pelo DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*, USA) que viabiliza um ambiente virtual distribuído em que vários simuladores virtuais remotos são interligados, trocando informações e mantendo atualizada a descrição deste mundo [Moshell, 1994; Ellis, 1994].

A RV também vem sendo empregada em projetos relacionados ao programa espacial de vários países; por exemplo, a *European Space Agency* (ESA) a utiliza para projetar e desenvolver sistemas de simulação para treinamento dos astronautas [Bagiana, 1993; Encarnação, 1994]. A NASA criou ambientes virtuais para treinamento do grupo encarregado de fazer a manutenção e os reparos necessários no telescópio espacial *Hubble* [Loftin, 1995], e para o desenvolvimento de técnicas de programação de robôs por meio da simulação de ambientes de tarefa remotos [Ellis, 1994]. Mais recentemente, a RV foi utilizada no projeto de exploração ao planeta Marte [Sense8, 1997].

Exemplos de ambientes virtuais na Visualização Científica são apresentados com frequência [Ribarsky, 1994; Taubes, 1994; Encarnação, 1994; Earnshaw, 1995; Bryson, 1996; VRAIS'96, 1996]. A Visualização Científica é o uso da Computação Gráfica na investigação de fenômenos científicos, permitindo aos pesquisadores entender a estrutura qualitativa de um fenômeno por meio de modelos gráficos detalhados e interativos. A Computação Gráfica interativa permite um controle em tempo real sobre o processo de geração dos gráficos, aumentando a habilidade dos pesquisadores explorarem o fenômeno por meio de sua representação computacional [Bryson, 1993]. Os ambientes virtuais viabilizam uma total interação com interfaces 3D para exibição e controle interativo dos modelos visualização [Bryson, 1991].

A aplicação pioneira nesta área foi o projeto WINDTUNNEL (Figura 6-1), desenvolvido pela *NASA Ames Research Center* [Ressler, 1997; Machover, 1994]. Trata-se de um túnel de vento criado num ambiente virtual com todas as características técnicas de um modelo similar real. O mesmo foi projetado para permitir a visualização e a simulação 3D de fluxos de fluidos instáveis, a partir valores calculados de velocidade, energia e pressão [Bryson, 1993].

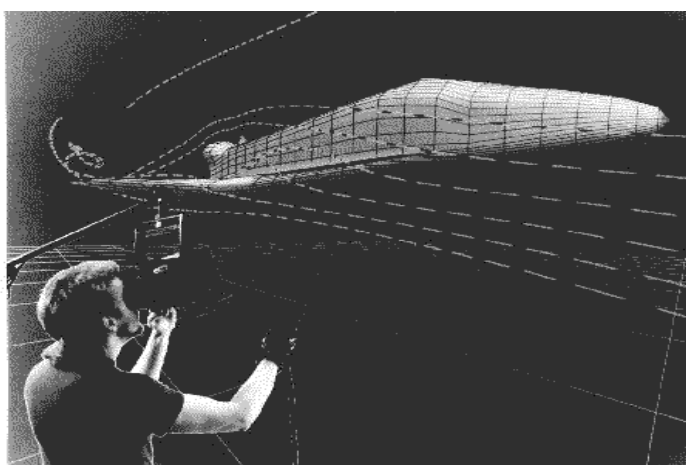


Figura 6-1: WINDTUNNEL desenvolvido pela NASA [Ressler, 1997].

Na área da educação, o Departamento de Computação da UFSCar (Universidade Federal de São Carlos, SP) vem desenvolvendo um trabalho que enfoca o uso conjugado de RV e visualização científica, visando a criação de ferramentas e programas computacionais aplicados ao ensino fundamental do primeiro grau [Visioli, 1997].

O Ministério da Educação do Egito também possui um projeto de criação de quatro diferentes mundos virtuais (corpo humano, modelagem de moléculas, geografia mundial e civilizações antigas) a serem utilizados na orientação e ensino de estudantes [Sense8, 1996]. Bayarri [1996] propõe um simulador em ambiente virtual para a aprendizagem e aperfeiçoamento de direção urbana (dirigir um carro na cidade) em tempo real, para uso comercial. A *Haywood Community College* (Waynesville, NC) utiliza RV para que seus estudantes tenham uma melhor visualização e interação com modelos geométricos criados no *software* AutoCAD [Sense8, 1996].

O uso de RV é totalmente justificado em aplicações científicas e educacionais faz muitos anos [Trowbridge, 1980; Rosenquist, 1987; Yam, 1993; Trindade, 1999].

Nas áreas de tele-presença e robótica, o laboratório de pesquisas da *Nippon Electric Company* (NEC) desenvolveu um sistema de RV para que os operadores usem os movimentos de suas mãos (por meio de *datagloves*) para manipular modelos de CAD [Kahaner, 1994]. A empresa Fujita (Tsukuba, Japão) aplica a tecnologia na construção e controle de robôs. A meta é desenvolver sistemas de controle remotos que permitam a manipulação dos robôs por cursores ou ponteiros exibidos em interfaces gráficas. A *Tokyu Construction* desenvolve sistemas para possibilitar o controle remoto de *deep-foundation work robots*. Quando a abertura é muito pequena para permitir a entrada de equipamentos pesados de construção, os operários trabalham arduamente para escavar os buracos e colocar as fundações no lugar, o que é chamado *deep-foundation*. Robôs têm sido desenvolvidos para substituir os humanos neste tipo de trabalho. Os pesquisadores da Tokyu buscam controlar a construção desses robôs e,

posteriormente comandá-los por meio de imagens 3D e movimentos das mãos. Esta técnica é denominada tele-existência [Kahaner, 1993].

A medicina tem sido um dos principais focos de atenção dos desenvolvedores de RV, sendo que estudantes de medicina já estão treinando suas primeiras cirurgias em ambientes virtuais [Penteado, 1995]. No *National Rehabilitation Hospital* em Washington, EUA, a RV é utilizada como ferramenta de terapia para reabilitação e avaliação neuro-psíquica de pacientes [Sense8, 1996].

Ainda no campo da terapia, a RV é utilizada no tratamento de pessoas que possuem algum tipo de fobia [Vince, 1995], por exemplo, o medo de voar em aviões [VRAIS'96, 1996] e o medo de altura. Aplicações desse tipo buscam inserir o usuário, por meio de HMDs e um dispositivo de entrada de dados, em um mundo virtual que simula as situações de fobia. No caso do medo de altura, a situação simulada pode ser um elevador sem paredes, chão e teto visíveis. O elevador sobe gradativamente a cada sessão de terapia [Hodges, 1995] e, durante a sessão, o médico monitora os batimentos cardíacos e a pressão arterial do paciente. As aplicações de terapia virtual mostram elevadas taxas de recuperação dos pacientes, sendo que o desconforto (medo) sentido pelos pacientes nas sessões iniciais praticamente desaparece nas últimas sessões [Mahoney, 1995].

Outras aplicações são no treinamento de cirurgia laparoscópica, que requer uma habilidade difícil de adquirir, sendo que várias empresas estão desenvolvendo simuladores virtuais laparoscópicos [Chinnock, 1995; Vince, 1995]; e a consulta médica remota. Nesse caso, um médico localizado remotamente recomenda a outro médico que está ao lado do paciente como proceder com o diagnóstico [Araújo, 1996].

A RV também é empregada em neurocirurgias para guiar com precisão as ferramentas cirúrgicas através do tecido cerebral até o local de um tumor [Chinnock, 1995]; no desenvolvimento rápido de novas drogas medicinais [Dupont, 1994]; e na visualização e manipulação de imagens médicas detalhadas com ênfase em técnicas de interação [Poston, 1996]. Também foi desenvolvido um equipamento de ultra-som que permite visualizar imagens de órgãos internos em três dimensões, e compõe imagens sintéticas virtuais com imagens reais obtidas com o ultra-som convencional [Bajura, 1992; Hand, 1994].

Vários artigos [Intelligent Manufacturing, 1995; Kreitler, 1995; Simulation, 1997; Brunetti, 2000; Vilela, 2000] citam as vantagens e facilidades da utilização da RV na indústria, principalmente na área da manufatura. Por exemplo, a RV pode ser utilizada para [Exhibitors, 1997]:

- Projetar máquinas que podem ter suas propriedades estruturais e funcionais avaliadas e testadas;
- Desenvolver uma ergonomia funcional e confiável sem a necessidade de construir um modelo em escala real;
- Projetar produtos que possuam *design* estético segundo as preferências de cada cliente;
- Garantir que os equipamentos fabricados estejam dentro das normas estabelecidas por órgãos governamentais;
- Facilitar operações remotas e controle de equipamentos (tele-manufatura e tele-robótica);
- Desenvolver e avaliar processos que assegurem a manufaturabilidade, sem produzir de fato o produto em escala comercial;
- Desenvolver planos de produção e itinerários e simular se esses estão corretos;
- Educar empregados em técnicas avançadas de manufatura, com ênfase, principalmente, em segurança no trabalho.

Diversas instituições de pesquisa trabalham para validar novas aplicações da RV em manufatura, produção e engenharia mecânica, como é o caso, por exemplo, do *Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation* (IPA), que aplica a RV para a automação da produção flexível e para o planejamento de células industriais robotizadas (simulação) [Encarnação, 1994], e do *Industrial Virtual Reality Institute* (IVRI) da *University of Illinois at Chicago*, que pesquisa ambientes virtuais para modelamento de *layout* de fábrica, planejamento de processos e eventos discretos, tele-colaboração e etc. [Banerjee, 1997; Exhibitors, 1997].

Outra área a se beneficiar com a aplicação da RV é a simulação. O objetivo principal do estudo da simulação é melhorar a qualidade das decisões administrativas [Shannon, 1975], sendo que uma característica desejável da simulação, especialmente para modelagem de processos de manufatura, é a animação gráfica, [Law, 1989]. A animação oferece um excelente meio de estabelecer a credibilidade do modelo simulado [Seevers, 1988]. Segundo Van Norman [1992], a RV é uma das principais ferramentas visuais a serem utilizadas no futuro para simulação de

manufatura. Outro autor [Jones, 1993] expõe como a RV pode ser agregada a *software* comerciais de simulação de manufatura e conclui que a implementação de uma interface em RV é comercialmente viável, fornecendo um maior suporte para o apoio à decisão e aprofundando o entendimento do modelo de simulação. Na área de simulação de chão de fábrica existe um esforço por empresas de simulação e universidades voltado para o desenvolvimento de ambientes para estudo dos vários aspectos de um modelo imersivo baseado em técnicas de modelagem em RV. Os participantes deste empreendimento já desenvolveram um modelo de fábrica de engrenagens utilizando um *software* avançado de RV e uma plataforma CAVE [Banerjee, 1995; Banerjee, 1997]. No ramo de alimentos, a Nabisco, por exemplo, utiliza soluções em RV para treinar seu pessoal em manutenção e serviço para as linhas de produção.

Ambientes virtuais também são aplicados para prototipação, auxiliando assim o ciclo de desenvolvimento do produto. A partir de informações sobre a geometria e topologia do projeto, os resultados da simulação obtidos por ferramentas de modelagem combinadas com cálculos de cinemática, o material, a tolerância e outros dados disponíveis sobre o produto, é possível gerar protótipos realistas no computador, diminuindo os custos com protótipos reais e os tempos de disponibilização para testes [Rix, 1995]. Um protótipo virtual permite, ainda, interações com o produto mesmo nos estágios iniciais de desenvolvimento.

Para Leston [1996], a prototipação virtual é uma das áreas mais importantes da automação de projetos utilizando recursos de RV. Alguns artigos [Teresko, 1995; Dupont, 1996; Dvorak, 1997; Kent, 1997; Brunetti, 2000] expõem as justificativas do uso da prototipação virtual, principalmente na área automobilística [Mahoney, 1995]. Com os ambientes virtuais para prototipação, os pesquisadores podem realizar uma avaliação muito mais rápida dos novos projetos, pois podem operar o equipamento e avaliar a montagem e as obstruções sem construir um protótipo físico. Isto reduz os custos, já que não há gastos com peças e horas de montagem dos protótipos mecânicos. O sistema também permite diminuir o tempo de análise da concepção do novo projeto e incorporá-lo mais rapidamente ao processo de produção [Ressler, 1997].

A Volvo reconstruiu em laboratório um trecho de sete quilômetros de uma estrada local no qual um *test-driver* recolhe informações sobre o comportamento do novo automóvel em situações reais antes do lançamento de qualquer veículo no mercado [Penteado, 1995]. A Volvo também possui um ambiente virtual para simular colisões dos seus veículos com diversas barreiras e obstáculos, e posteriormente fazer uma análise dos sistemas de proteção contra este tipo de situação [Dupont, 1994; Vince, 1995].

Seguindo a mesma idéia de testar o produto antes da sua fabricação, a Renault simulou o desempenho do protótipo de um de seus carros, o Racoon, utilizando uma técnica de filmagem que combina ambientes reais e objetos virtuais [Thalmann, 1993; Augusto, 1995].

Os engenheiros da Chrysler-Jeep utilizam a RV para desenvolver modelos dinâmicos de seus veículos. Tais modelos passam por uma rigorosa análise dos possíveis potenciais problemas que só poderiam ser gerados e duplicados em grandes terrenos ao ar livre, utilizando vários protótipos dos veículos a serem testados [Dvorak, 1997].

A fábrica da Ford Motors em Dearborn, Michigan, criou um dos mais sofisticados ambientes tecnológicos virtuais para projeto e engenharia de automóveis, a divisão CAVSE (*Core & Advanced Vehicle System Engineering*). Essa divisão utiliza a RV para simulação e prototipação virtual, tendo como principais pontos de pesquisa a aerodinâmica, a ergonomia e o modelo da superfície do protótipo do veículo a ser construído [Blanchard, 1995]. A Ford também tem utilizado simuladores em RV para avaliar novos arranjos do painel de instrumentos de seus automóveis [Chinnock, 1996] e para analisar o fluxo de ar existente sobre o pára-choque do veículo e dentro do compartimento do motor. Isto auxilia os engenheiros na análise dos efeitos do resfriamento dos componentes do motor [Mahoney, 1995]. Outro projeto que utiliza ambientes virtuais está na montagem automotiva. As peças do veículo são representadas em um sistema CAD e, posteriormente, transferidas para o sistema de RV. O usuário manipula as peças na tentativa de montagem do veículo virtual, enquanto o sistema monitora a interferência e a colisão entre as peças que estão sendo inseridas e o veículo. O sistema também faz uma avaliação ergonômica das várias operações de montagem [Ressler, 1997].

A General Motors possui um projeto que utiliza um sistema CAVE, denominado VirtualEye, para facilitar o desenvolvimento de novos modelos de veículos [Mahoney, 1995; Exhibitors, 1997]. Sua unidade de montagem de caminhões (Detroit, Michigan) utiliza *software* da empresa Delmia [Delmia Systems, 2000] para prototipação e avaliação da montagem de seus veículos. Acredita-se que a prototipação virtual e as técnicas de manufatura virtual

reduzem os custos de desenvolvimento do ferramental empregado, otimizam as operações de manufatura envolvidas e diminuem o *time-to-market* [Intelligent Manufacturing, 1995].

A fábrica de automóveis da Land Rover utiliza RV para projetar e validar prototipagens rápidas dos seus novos modelos de veículos e para auxiliar na ampliação de sua fábrica. O supervisor do projeto enfatiza que o sistema permite evitar erros de custos na criação dos processos de fabricação, bem como comunicar mais facilmente todos os estágios de desenvolvimento do projeto, seu *layout* e o seu funcionamento, para todos os funcionários, fornecedores e administradores envolvidos [Templeman, 1996].

A Caterpillar, fabricante de tratores, juntamente com a Universidade de Illinois, desenvolveram um ambiente virtual para testes de novos projetos e melhoria dos processos de montagem de equipamentos pesados [Mahoney, 1995; Folks, 1997]. Esses testes são para avaliar o *design* do veículo e determinar a visibilidade proveniente da cabine de comando do trator [Blanchard, 1995]. Neste projeto, o operador senta-se em uma plataforma equipada com os mesmos controles de uma cabine real de um trator. Esta plataforma está localizada em um CAVE (Figura 6-2).



Figura 6-2: Test-drive dos novos projetos de tratores [Ressler, 1997].

A BMW, em cooperação com a universidade de Erlangen, criou em Munique um centro de simulação em RV para testes de colisão, desempenho do equipamento, adequação do *design* e análise dos processos de engenharia de construção de seus veículos [Beardsley, 1997].

No campo da indústria de aviões, a RV tem sido utilizada na pré-produção de uma linha de montagem digital de aeronaves. Este trabalho de pré-produção foi realizado pela empresa Northrop (Hawthorne, CA) com o intuito de reduzir os custos de produção e melhorar os prazos de entrega dos projetos aos clientes [Blanchard, 1995].

A companhia de aviação McDonnell Douglas utiliza um sistema de simulação virtual para determinar o tamanho da cabine de passageiros de vôos comerciais para que elas comportem passageiros de diversos tamanhos com maior conforto, facilitem seus movimentos dentro da mesma [Deitz, 1995]. A companhia também projetou uma célula de polimento de painéis de cobertura de avião usando um simulador em RV desenvolvido pela empresa Silma Inc. [Silma Inc., 2000]. Esta simulação permitiu à empresa descobrir que seu antigo sistema de polimento não alcançava toda a área dos 777 painéis na cobertura do avião. A simulação também possibilitou gerar uma nova programação off-line para o controle dos robôs existentes na célula em menos de oito horas, um trabalho que necessitava anteriormente de dois programadores por um período de um mês [Owen, 1995].

A companhia de aviação Boeing utiliza o conceito de realidade aumentada, que combina uma visão do ambiente real com o ambiente virtual. Este sistema usa luzes para guiar o trabalhador que monta painéis manualmente, indicando as conexões a serem efetuadas entre as peças, e a ordem em que elas devem ser feitas [Ressler, 1997]. A Boeing também tem utilizado interfaces de RV para sistemas CAD 3D para avaliar as facilidades de acesso dos funcionários que fazem manutenção nas cabines das aeronaves.

A Motorola, fabricante de componentes e aparelhos eletrônicos, tem utilizado a RV desde 1994 para treinar seus funcionários no próprio local de trabalho. Isto permitiu à companhia economizar milhões de dólares com custos de treinamento e viagens. A Motorola também desenvolveu, em conjunto com a Superscape [Superscape Inc., 1999],

um sistema com recursos de RV para treinamento de funcionários que atuam na linha de montagem de *paggers*. Eles concluíram que o treinamento utilizando o sistema virtual tem custos menores, é flexível, isto é, o sistema simulador pode ser facilmente transportado e/ou modificado, e os operadores treinados por este sistema desempenham suas funções melhores do que aqueles treinados no sistema convencional [Kent, 1997].

Na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) foi desenvolvido um ambiente para simulação virtual chamado *Virtual Reality Simulation* (VR-Sim) cujo objetivo é modelar e validar sistemas de tempo real. O *software* é uma ferramenta de simulação que incorpora uma biblioteca de RV e tem o propósito de suportar a validação de sistemas de tempo real (*Real-Time Systems* - RTS), incluindo a detecção de falhas no comportamento do sistema [Gimenez, 1997].

Na Universidade de São Paulo (USP) um projeto na área de prototipação virtual envolveu o desenvolvimento de um procedimento para a implementação de um protótipo de um torno CNC. Para isso, foi utilizado um *software* específico para o desenvolvimento de ambientes virtuais, sendo que o ambiente enfatizou o sistema de intertravamento (funcionalidade) e o modelo geométrico (*design* físico) do torno (Figura 6-3). Este trabalho permitiu verificar as potencialidades e as limitações desta tecnologia diante da complexidade dos dados necessários para a prototipação de um produto de manufatura ou montagem, como discutido por Valerio Netto [2000].



Figura 6-3: Torno CNC Virtual com a porta de segurança aberta [Valerio Netto, 2000].

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As aplicações de RV evoluíram bastante em relação as primeiras aplicações surgidas nos anos 50. A evolução dos dispositivos de entrada e saída de dados, aliada à grande evolução dos computadores digitais, colaborou para a criação de aplicações de RV mais robustas e dirigidas para diversas áreas. Apesar da evolução do *hardware*, sistemas de RV que fazem uso de dispositivos de visualização estereoscópios e mundos virtuais complexos ainda exibem um intervalo de tempo significativo entre a ação do usuário e a resposta do sistema. Já existem sistemas que utilizam processadores separados para o *rendering* das imagens referentes a cada olho, para diminuir este intervalo de tempo.

Ainda é altamente improvável que a interação com um modelo virtual consiga reproduzir exatamente as sensações geradas pelo cérebro e o sistema visual no contato com um objeto real, a ponto de tornar impossível distinguir uma projeção de um mundo virtual e uma imagem do mundo real. Existe uma grande lacuna entre a visão gerada no ambiente virtual e a realidade, e a implementação ambientes virtuais eficazes é dificultada por vários fatores, incluindo limitações tecnológicas, a ausência de um melhor entendimento de aspectos humanos envolvidos na percepção sensorial dos ambientes reais e virtuais, e a carência de experiências de criação e utilização dos novos conceitos tridimensionais possibilitados pela RV. Ainda assim, os investimentos realizados têm permitido uma modificação gradual deste quadro, e o avanço das pesquisas na área vem proporcionando ferramentas de *hardware* e *software* mais sofisticados e com mais recursos, a um menor custo.

Nesse cenário, apesar da RV estar despertando um crescente interesse do setor industrial no Brasil, a indústria, de modo geral, ainda vê com restrições a utilização dessa nova ferramenta. Isso se deve a vários fatores, sendo que um dos principais é o alto custo inicial. A implantação dessa tecnologia requer a aquisição de equipamentos e *software* adequados para o desenvolvimento de ambientes virtuais, bem como o treinamento e contratação de mão de obra especializada. A falta de literatura específica sobre o tema e a pouca divulgação de aplicações práticas, associadas à inexistência de uma pesquisa aprofundada que compare objetivamente o desempenho de sistemas virtuais em relação aos sistemas convencionais, são fatores que contribuem para inibir maiores investimentos da indústria. Características como estereoscopia, interatividade, uso de dispositivos de resposta tátil, HMD, etc., influenciam no nível de imersão do usuário. Tais características encarecem o sistema e, portanto, exigem uma análise de custo-benefício.

Por fim, é importante salientar que a busca por vantagens competitivas acarreta uma modernização do sistema produtivo das empresas, e o emprego cada vez mais amplo de equipamentos mais modernos e sofisticados. Tais equipamentos exigem mão-de-obra mais especializada, especialização que questiona os métodos tradicionais de ensino e treinamento, já que demanda a transferência de uma quantidade maior e mais complexa de conhecimento, de uma forma mais eficiente e em um intervalo de tempo menor. Vários autores [McCarty, 1994; Moshell, 1994; Rosenblum, 1995] relatam o uso da RV para ensino e treinamento nesse contexto. Kozak e Wittenberg [Kosak, 1993; Wittenberg, 1995] apresentam estudos nos quais os resultados obtidos do treinamento com o uso de RV são claramente superiores àqueles obtidos utilizando-se sistemas reais.

Para visualizar a forma, a cor, ou até mesmo o tamanho de um objeto, existem *softwares* CAD ou de animação 3D que proporcionam praticamente os mesmos resultados que um ambiente virtual. Porém, eles não permitem que o projetista manipule este protótipo. Muitas vezes, olhar não é o suficiente, faz-se necessário interagir com o protótipo para obter informações necessárias para a melhoria e avaliação do produto ou do ambiente em questão.

O *software* e *hardware* para ambientes virtuais de baixo custo existentes hoje no mercado ainda não permitem ao usuário, obter sensações como o peso de um objeto ou tratar as propriedades e a resistência dos materiais de que são feito os protótipos, isto é, verificar se o protótipo pode resistir a ambientes com baixa ou alta temperatura ou mesmo suportar uma queda ou batida em seu casco. É impossível, por exemplo, simular a funcionalidade de uma lente de um microscópio (embora seja possível exibir imagens pré-computadas do que poderia vir a ser observado no microscópio), ou simular propriedades físicas ou químicas de objetos [Valerio Netto, 1998]. Dessa forma, ainda não é possível definir um modelo que forneça toda a flexibilidade e generalização que exige um ambiente real. No momento, só é possível modelar partes dessa realidade com restrições e particularidades. Assim, o uso da RV ainda é restrito a alguns tipos de projetos funcionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Adams, 1994] Adams, L. *Visualização e realidade virtual*, Ed. Makron Books, pp. 255-259, São Paulo, 1994.
- [Albuquerque, 1999] Albuquerque, A. L. P. *Cenários virtuais com um estudo de sincronismo de câmera*, abril, 95 Pp., Dissertação (Mestrado), Departamento de Informática, PUC- RIO, 1999.
- [Araujo, 1996] Araújo, R. B. *Especificação e análise de um sistema distribuído de realidade virtual*, São Paulo, Junho, 144 Pp., Tese (Doutorado), Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996.
- [Augusto, 1995] Augusto, A. A realidade virtual já é uma realidade, *Byte*, pp. 23, vol. 4, n. 1, Janeiro, 1995.
- [Aukstakalnis, 1992] Aukstakalnis, S. & Blatner, D. *Silicon mirage: the art and science of virtual reality*, Berkeley, CA, 1992.
- [Bagiana, 1993] Bagiana, F. Tomorrow's space: journey to the virtual worlds, *Computer & Graphics*, pp. 687-690, v.17, n. 6, 1993.
- [Bajura, 1992] Bajura, M. et al. Merging virtual objects with the real world, *Computer Graphics SIGGRAPH'92*, Chicago, pp. 203-210, July, 1992.
- [Bajura, 1995] Bajura, M. & Neumann, U. Dynamic registration correction in video-based augmented reality systems, *IEEE Computer Graphics and Application*, n. 9, September, 1995.

- [Banerjee, 1997] Banerjee, A. et al. (1997). *Factory Models using virtual reality: Immersive Display Models of factory floor*. <http://zenith2.me.vic.edu/ivri/fmur.htm> (Agosto).
- [Banerjee, 1995] Banerjee, a. & Mehrotra, S. Prototype architecture for manufacturing system layout design decision uses virtual reality, *Proc. NFS Des. & Manuf. Gratees Conference*, pp. 235-236, San Diego, CA, 1995.
- [Bayarri, 1996] Bayarri, S. et al. Virtual reality for driving simulation, *Communications of the ACM*, pp. 72-76, vol. 39, n. 5, May, 1996.
- [Bras, 2001] Bras, J. Realidade Aumentada: Uma visão e duas metodologias de realidade melhorada. http://planeta.clix.pt/jbraz_home/docs/Projectos.htm (Agosto), 2001.
- [Beardsley, 1997] Beardsley, D. BMW enter the world of VR, *Sense 8 Universe Journal*, pp. 3, Winter, 1997.
- [Begault, 1994] Begault, D. R. *3-D Sound for virtual reality and multimedia*, Academic Press, Cambridge, MA, 1994.
- [Benford, 1997] Benford, S. & Greenhalgh, C. *Collaborative virtual environments*, tutorial 6. ECSCW'97, 5th ECSCW Conference, Lancaster, UK, 7 September, 1997.
- [Bishop, 1992] Bishop, G. et al. Research directions in VR environments, *Computer Graphics - ACM*, 26(3):153-177, Aug, 1992.
- [Blanchard, 1995] Blanchard, D. The reality of virtual manufacturing, *Intelligent manufacturing*, <http://lionhrtpub.com/IM6-Reality.html> (Junho), 1995.
- [Bolas, 1994] Bolas, M. T. Human factors in the design of an immersive display, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 55-59, January, 1994.
- [Bowskill, 1995] Bowskill, J. & Downie, J. Extending the capabilities of the human visual system an introduction to enhanced reality, *Computer Graphics*, pp. 61-65, v. 29, n. 2, May, 1995.
- [Brunetti et al., 2000] Brunetti, G. et al. Virtual reality techniques supporting the product and process development, *5º Seminário Internacional de Alta Tecnologia*, UNIMEP, Santa Barbara d'oeste, pp. 83-98, Outubro, 2000.
- [Bryson, 1991] Bryson, S. & Levit, C. The virtual windtunnel: an environment for the exploration of three-dimensional unsteady fluid flows, *Proceedings of IEEE Visualization'91*, San Diego, 1991.
- [Bryson, 1993] Bryson, S. Virtual reality in scientific visualization, *Computer & Graphics*, pp. 679-685, vol. 17, n. 6, 1993.
- [Bryson, 1996] Bryson, S. Virtual reality in scientific visualization, *Communications of the ACM*, pp. 62-71, vol. 39, n. 5, May, 1996.
- [Burdea, 1994] Burdea, G. & Coiffet, P. *Virtual reality technology*, John Wiley & Sons, New York, N.Y., 1994.
- [Burdea, 1996] Burdea, G. *Force and touch feedback for virtual reality*, John Wiley & Sons, New York, N.Y., 1996.
- [Chinnock, 1995] Chinnock, C. Realidade virtual faz bem à saúde, *Byte*, pp. 26, v. 4, n. 6, Junho, 1995.
- [Chinnock, 1996] Chinnock, C. A realidade virtual vai ao trabalho, *Byte*, pp. 16-17, v. 5, n. 3, Março, 1996.
- [Comeau, 1961] Comeau, C. P. & Bryan, J. S. Headsight television system provides remote surveillance, *Electronics*, pp. 86-90, November, 1961.
- [Cruz-Neira, 1992] Cruz-Neira, C. et al. The CAVE audio visual experience automatic virtual environment, *Communication of the ACM*, 35(6):64-72, June, 1992.
- [Defanti, 1996] Defanti, T. et al. Overview of the I-WAY: Wide Area Visual Supercomputing. International Journal of Supercomputing Applications, 10(2) - <http://evlweb.eecs.uic.edu/EVL/RESEARCH/PAPERS/PAPKA/intro.html>, 1996.
- [Delmia Systems, 2000] Delmia Systems. *The simulation and analysis tool for machine tools and machining operations*. <http://www.delmia.com/> (Agosto), 2000.
- [Dupont, 1994] Dupont, P. Whiter virtual reality?, *Computer Bulletin*, pp. 14-17, October, 1994.
- [Dupont, 1996] Dupont, P. Virtual reality today, *Computer Bulletin*, pp. 14-15, June, 1996.
- [Dvorak, 1997] Dvorak, P. Engineering puts virtual reality to work, *Machine Design*, pp. 69-73, February, 1997.
- [Earnshaw, 1995] Earnshaw, R. A. et al. *Virtual Reality applications*, Academic Press, 328 Pp., London, 1995.
- [Ellis, 1994] Ellis, S. R. What are virtual environments?, *IEEE Computer Graphics and Application*,

- pp. 17-22, January, 1994.
- [Encarnação, 1994] Encarnação, J. et al. European activities in virtual reality, *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp. 66-74, January, 1994.
- [Exhibitors, 1997] Exhibitors *Virtual reality in manufacturing research and education*. http://www_ivri.me.uic.edu/symp96/preface.html (Agosto), 1997.
- [Fisher, 1990] Fisher, S. S. & Tazelaar, J. M. Living in a virtual world, *Byte*, pp. 215-221, July, 1990.
- [Foley, 1990] Foley, J. D. et al. *Computer graphics, principles and practice*. 2.ed. New York, Addison Wesley, 1990.
- [Folks, 1997] Folks. They're taking h-i-t-l virtual prototyping to max, *Published for Caterpillar*, pp.1 e 3, March, 1997.
- [Gibson, 1984] Gibson, W. *Neuromancer*. New York, ACE Books, 1984.
- [Gimenez, 1997] Gimenez, A. M. & Kirner, T. G. Validation of real-time systems using a virtual reality simulation tool, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Florida – USA, 1997.
- [Gouveia, 2000] Gouveia, L. M. B. *Ambientes virtuais colaborativos: a procura de formas alternativas de interação*. www.ufp.pt/~lmbg/com/pdfs/rev_ispgaya20000.pdf (Novembro), 2000.
- [Gradecki, 1995] Gradecki, J. *The virtual reality construction kit*, John Wiley & Sons, 340 Pp., 1995.
- [Hancock, 1995] Hancock, D. Viewpoint: virtual reality in search of middle ground, *IEEE Spectrum*, 32(1):68, January, 1995.
- [Hand, 1994] Hand, C. Other faces of virtual reality, *First International Conference MHVR'94 - Lecture Notes in Computer Science n.1077*, pp. 107-116, Ed. Springer, Moscow, Russia, September, 1994.
- [Hand, 1997] Hand, C. *A Survey of 3D Interaction Techniques*. <http://www.cms.dmu.ac.uk/~cph/Publications/CGF97/3dint.ps.gz> (Janeiro), 1997.
- [Hodges, 1995] Hodges, L.F. et al. Virtual environments for treating the fear of heights. *IEEE Computer*, (7):27-34, July, 1995.
- [Informática, 1995] Informática Exame A vez da realidade virtual, pp. 14, ano 10, n. 110, Maio, 1995.
- [Intelligent, 1995] Intelligent Manufacturing *Virtual Reality is for real*, vol. 1, n. 12. <http://lionhrtpub.com/IM/IM-12-95/IM-12-vr.html> (Dezembro), 1995.
- [Jacobson, 1991] Jacobson, L. *Virtual reality: A status report*, AI Expert, pp. 26—33, August, 1991.
- [Jacobson, 1994] Jacobson, L. *Realidade virtual em casa*. Rio de Janeiro, Berkeley, 1994.
- [Jacobson, 1993] Jacobson, R. After the virtual reality gold rush: the virtual world paradigm, *Comput & Graphics*, pp. 695-698, v.17, n. 6, 1993.
- [Jones, 1993] Jones, K & Cygnus, M. W. Virtual reality for manufacturing simulation, *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, IEEE Computer Society Press, pp. 882-887, New York, 1993.
- [Josefsson, 1998] Josefsson, D. An interview with William Gibson. <http://algonet.se/%7Edanj/gibson1.html> (18 Junho), 1998.
- [Kahaner, 1993] Kahaner, D. Virtual reality in Japan, *IEEE Micro*, pp. 66-73, April, 1993.
- [Kahaner, 1994] Kahaner, D. Japanese Activities in virtual reality, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 75-78, January, 1994.
- [Kalawsky, 1993] Kalawsky, R. S. *The science of virtual reality and virtual environments*, Ed. Addison-Wesley, 405 Pp., 1993.
- [Kent, 1997] Kent, E. *Summary of panel discussion on role of virtual reality in manufacturing research and education*. http://www_ivri.me.uic.edu/symp96/panel.html (Agosto), 1997.
- [Kirner, 1996] Kirner, C. *Apostila do ciclo de palestras de realidade virtual*, Atividade do Projeto AVVIC- CNPq (Protem - CC - fase III) - DC/UFSCar, São Carlos, pp. 1-10, Out., 1996.
- [King, 1993] King, D. Heads up. *Computer Graphics World*, (11): 41-46, Nov., 1993.
- [Kreitler, 1995] Kreitler, M. et al. Virtual environments for design and analysis of production facilities, *IFIP WG 5.7 Working Conference on Managing Concurrency Manufacturing to Improve Industrial Performance*, Washington - USA. <http://weber.u.washington.edu/~jheim/VirtualManufacturing/vrPaperIFIPS.html> (Setembro), 1995.
- [Kosak, 1993] Kosak, J. J. et al. Transfer of training from virtual reality, *Ergonomics*, pp. 777-784, vol. 36, n. 7, 1993.
- [Krueger, 1991] Krueger, M. W. *Artificial reality II*, Addison-Wesley, Reading, MA, USA, 1991.

- [Latta, 1994] Latta, J. N. & Oberg, D. J. A conceptual virtual reality model, *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp. 23-29, Jan., 1994.
- [Law, 1989] Law, A. M. & Hider, S. W. *Selecting simulation software for manufacturing applications: practical guidelines & software survey*, Industrial Engineering, pp. 33-46, May, 1989.
- [Leston, 1996] Leston, J. Virtual reality: the it perspective, *Computer Bulletin*, pp. 12-13, June, 1996.
- [Loftin, 1995] Loftin, R. B. & Kenney, P. J. Training the Hubble space telescope flight team, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 31-37, September, 1995.
- [Machado, 1995] Machado, L. S. Conceitos básicos da realidade virtual, Monografia, INPE-5975-PUD/025, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos/SP, novembro. Disponível on-line em: <http://www.lsi.usp.br/~liliane/conceitosrv.html>, 1995.
- [Machover, 1994^a] Machover, C., S. E. Virtual reality, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 15-16, January, 1994.
- [Machover, 1994^b] Machover, C. Four decades of computer graphics, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 14-19, November, 1994.
- [Mandeville, 1995] Mandeville, J. et al. GreenSpace: creating a distributed virtual environment for global applications. *IEEE Proceedings of the Networked Reality Workshop*, 1995.
- [Mahoney, 1995] Mahoney, D. P. Driving VR, *Computer Graphics World*, pp. 22-33, May, 1995.
- [Mccarty, 1994] Mccarty, W. D. et al. A virtual cockpit for a distributed interactive simulation, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 49-54, January, 1994.
- [Microvision, 2002] Microvision. *Augmented Reality*. <http://www.mvis.com> (Janeiro), 2002.
- [Morie, 1994] Morie, J. F. Inspiring the future: merging mass communication, art, entertainment and virtual environment, *Computer Graphics*, 28(2):135-138, May, 1994.
- [Moshell, 1994] Moshell, J. M. et al. Dynamic terrain, *Simulation*, pp. 29-40, vol. 62, n. 1, January, 1994.
- [Norman, 1992] Norman, V. B. Future directions in manufacturing simulation, *Industrial Engineering*, pp. 36-37, May, 1992.
- [Owen, 1995] Owen, J. V. Simulation: art and science, *Manufacturing Engineering*, pp. 61-63, February, 1995.
- [Penteado, 1995] Penteado, S. O mundo da quinta dimensão, *Informática Exame*, pp. 55-60, n. 111, junho, 1995.
- [Pimentel, 1994] Pimentel, K. & Blau, B. Teaching your system to share, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 60-65, January, 1994.
- [Pimentel, 1995] Pimentel, K. & Teixeira, K. *Virtual reality - through the new looking glass*. 2.ed. New York, McGraw-Hill, 1995.
- [Poston, 1996] Poston, T. & Serra, L. Dextrous virtual work, *Communications of the ACM*, pp. 37-45, v. 39, n. 5, May, 1996.
- [Rheingold, 1991] Rheingold, H. *Virtual reality*. New York, Touchstone, 1991.
- [Ressler, 1997] Ressler, S. *Virtual reality for manufacturing - case studies*, National Institute of Standards and Technology. <http://www.nist.gov/itl/div894/ovrt/projects/mfg/mfgVRcases.html> (Setembro), 1997.
- [Rix, 1995] Rix, J. et al. *Virtual prototyping - virtual environments and the product design process*, IFIP Chapman & Hall, 348 Pp., 1995.
- [Ribarsky, 1994] Ribarsky, W. et al. Visualization and analysis using virtual reality, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 10-12, January, 1994.
- [Robertson, 1993] Robertson, G. G. et al. Non-immersive virtual reality, *IEEE Computer*, pp. 81-83, Feb., 1993.
- [Rosenquist, 1987] Rosenquist, M. L. & Mcdermott, L. C. A conceptual approach to teaching kinematics, *American Journal of Physics*, n. 55, 1987.
- [Schweber, 1995] Schweber, L. Realidade virtual. *PC Magazine Brasil* 5(6):50-72, Junho, 1995.
- [Seevers, 1988] Seevers, C. Simulation before automation, *Proceedings of the 4th International Conference on Simulation in Manufacturing*, pp. 217-244, November, 1988.
- [Sensable, 2002] Sensable. Dispositivos hápticos. <http://www.sensable.com> (Janeiro), 2002.
- [Sense8, 1996] Sense8. *Customer applications: information management, analysis, training, simulation, research, education and development*, Sense8 corporation, Sausalito, CA. <http://www.sense8.com/> (Setembro), 1996.

- [Shepherd, 1993] Shepherd, B. J. Rationale and strategy for VR standards, *Proceedings of the IEEE Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS'93)*, Seattle, Washington, 18-22 September, pp. 41-46, 1993.
- [Silma, 2000] Silma INC. *Virtual soft machines*, Cupertino. <http://www.silma.com/> (Agosto), 2000.
- [Simulation, 1997] Simulation Based Design. Simulation based design & virtual reality center. <http://www.luorc.edu/sbd-gcrmtc/sbd.html> (Março), 1997.
- [Shannon, 1975] Shannon, R. E. *System simulation: the art and the science*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1975.
- [Sturman, 1994] Sturman, D. J. & Zeltzer, D. A survey of glove-based input, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 30-39, January, 1994.
- [Sutherland, 1968] Sutherland, I. A Head-Mounted three-dimensional Display. *AFIPS Conference Proceedings*, Vol. 33, Part I, pp. 757-764, 1968.
- [Superscape, 1997] Superscape Inc. *VRT - the most popular VR authoring suite available on the PC*. <http://www.superscape.com> (Agosto), 1997.
- [Taubes, 1994] Taubes, G. et al. Taking the data in hand - literally - with virtual reality, *Science*, pp. 884-886, v. 265, August, 1994.
- [Templeman, 1996] Templeman, M. VR is the business for land rover, *Computer Bulletin*, pp. 16-18, June, 1996.
- [Teresko, 1995] Teresko, J. Customers transform virtual prototyping, *IW Electronics & Technology*, pp. 35-37, May, 1995.
- [Thalmann, 1993] Thalmann, N. M & Thalmann, D. *Mundos virtuais e multimídia*, Ed. LTC, pp. 141-148, Rio de Janeiro, 1993.
- [Trindade, 1999] Trindade, J. A. *A realidade virtual no ensino e na aprendizagem da física e da química*. http://nautilus.fis.uc.pt/Read_c/RV/Ensino/artigo.htm (Outubro), 1999.
- [Trowbridge, 1980] Trowbridge, D. E. & McDermott, L. C. *Investigation of Student Understanding of the Concept of Velocity in One Dimension*, American Journal of Physics, no. 48, 1980.
- [Turunem, 2002] Turunem, M. *Error Handling in Speech User Interfaces in the Context of Virtual Worlds*, http://www.cs.uta.fi/~mturunen/error_handling/error_handling.html (Janeiro), 2002.
- [Valerio Netto, 1998] Valerio Netto, A. et al. Realidade virtual e suas aplicações na área de manufatura, treinamento, simulação e desenvolvimento de produto, *Revista Gestão & Produção*, São Carlos, Agosto, 1998.
- [Valerio Netto, 2000] Valerio Netto, A. Prototipação em ambientes virtuais para o desenvolvimento de máquinas-ferramenta, *Revista PESQUISA & TECNOLOGIA* - Publicação da FEI, n. 19, pp. 19- 23, Abril, 2000.
- [Vilela, 2000] Vilela, J. B. et al. Desenvolvimento virtual de produto, *II Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto*, São Carlos, SP, pp. 187-190, Agosto, 2000.
- [Vince, 1995] Vince, J. *Virtual Reality Systems*, Addison-Wesley, Reading, MA, USA, 1995.
- [Visioli, 1997] Visioli, A. C. & Bugatti, I. G. *Um ambiente de desenvolvimento de ferramentas didáticas e programas computacionais para o ensino fundamental*, Grupo de Realidade Virtual - DC/UFSCar. <http://www.dc.ufscar.br/grv/bolsas.htm> (Janeiro), 1997.
- [Von Schweber, 1995] Von Schweber, L. & Von Schweber, E. Cover story: realidade virtual, *PC Magazine Brasil*, pp. 50-73, v. 5, n. 6, junho, 1995.
- [Vrais'96, 1996] Vrais'96. Abstracts of proceedings of the virtual reality annual international symposium, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. <http://www.computer.org/conferen/proceed/vrais96/abstract.htm> (Julho), 1996.
- [Wexelblat, 1993] Wexelblat, A. *Virtual reality applications and explorations*, Academic Press Professional, 245 Pp., 1993.
- [Yam, 1993] Yam, P. Surreal Science - virtual reality finds a place in the classroom, *Scientific American*, no. 268, pp. 103, 1993.