

RENATO CESAR POMPEU

UM ESTUDO SOBRE AMBIENTES VIRTUAIS DE APOIO AO ENSINO E
APRENDIZAGEM DE RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção
do grau de Mestre
Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em
Engenharia, Setor de Tecnologia,
Universidade Federal do Paraná
Orientador: Prof. Sergio Scheer

CURITIBA

1999

RENATO CESAR POMPEU

**UM ESTUDO SOBRE AMBIENTES VIRTUAIS DE APOIO AO ENSINO E
APRENDIZAGEM DE RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS.**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção
do grau de Mestre.
Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em
Engenharia, Setor de Tecnologia,
Universidade Federal do Paraná.
Orientador: Prof. Sergio Scheer

CURITIBA

1999

SUMÁRIO

Resumo	vii
Abstract	viii
1 Introdução	1
2 Visualização e Realidade Virtual	3
2.1 Visualização e Comunicação	3
2.2 O que é visualização?	3
2.3 Terminologia	4
2.4 Exemplos de visualização	4
2.5 Breve histórico da Realidade Virtual	7
2.6 O que é a Realidade Virtual	11
2.7 Estilos de Realidade Virtual	13
2.7.1 Realidade virtual passiva	13
2.7.2 Realidade virtual exploratória	13
2.7.3 Realidade virtual interativa	14
2.8 Tipos de Sistemas de Realidade Virtual	14
2.8.1 <i>Window on World Systems</i>	14
2.8.2 Mapeamento de Vídeo	14
2.8.3 Sistemas Imersivos	15
2.8.4 Telepresença	15
2.8.5 Realidade Misturada	16
2.8.6 <i>Fish Tank Virtual Reality</i>	16
2.9 Realidade Virtual imersiva e não imersiva	16
2.9.1 Componentes associados à Realidade Virtual imersiva	17
2.10 Campos de aplicação da Realidade Virtual	19
3 Ambientes Virtuais na Educação	20
3.1 Construtivismo	20
3.2 Ambientes Virtuais na Educação	20
3.3 Aplicações em Treinamento e Educação	22
3.4 Quando e como usar os Ambientes Virtuais na Educação	24
4 Criação de Ambientes Virtuais	27
4.1 Definição de Ambiente Virtual	27
4.2 Definição do usuário	28

4.2.1 Usuário único X múltiplos usuários	28
4.2.2 Usuário remoto X usuário próximo	29
4.2.3 Usuário novato X usuário experiente	29
4.2.4 Habilidades do usuário	30
4.2.5 Diferenças fisiológicas individuais	30
4.2.6 Usuários com deficiências	30
4.3 Definição da tarefa	31
4.3.1 Categorias de aplicações de ambientes virtuais	31
4.4 Definição do ambiente	33
4.4.1 Ambiente físico	33
4.4.2 Ambiente de trabalho	34
4.4.3 Ambiente social	34
4.5 Geração de ambientes virtuais por computador	34
4.5.1 Estrutura de um sistema de Realidade Virtual	35
4.5.2 Dispositivos de entradas de dados	36
4.5.3 Dispositivos de saída de dados	37
4.5.4 Desempenho do Sistema	37
4.5.5 Requisitos de Hardware	38
4.5.6 Requisitos de Software	39
4.5.7 Modelagem de Ambientes Virtuais	40
4.5.7.1 Modelagem Geométrica do Objeto	41
4.5.7.2 Modelagem de Movimento	42
4.5.7.3 Modelagem Física	43
4.5.7.4 Segmentação	44
5 Implementação de Ambientes Virtuais	45
5.1 Programação	45
5.2 Editores de Ambientes Virtuais	45
5.3 A linguagem VRML	48
5.4 História da VRML	48
5.5 VRML 1.0	49
5.6 VRML 2.0	50
5.6.1 Mudanças em relação a VRML 1.0	51
5.6.2 Conceitos Básicos	52
5.6.3 Unidades Padronizadas e Sistema de Coordenadas	52
5.6.4 A estrutura de um arquivo VRML	53
5.6.4.1 Cabeçalho	53

5.6.4.2 Cena gráfica	54
5.6.4.3 Protótipos	54
5.6.4.4 Rotina de eventos	55
5.6.5 Nós e Campos	55
5.6.6 Formas e Geometrias	56
5.6.7 Material e Aparência	57
5.6.8 Transformação e Hierarquia	59
5.6.9 Construção de Objetos Complexos	60
5.7 Geração de arquivos VRML	61
5.8 Apresentação e Interação	62
5.9 Utilização da VRML	64
5.10 Endereços na Internet	65
6 Projeto Templo do Saber	66
6.1 Descrição	66
6.2 Modelo Pedagógico	68
6.3 Página Principal	69
6.4 Ambiente Virtual	70
6.4.1 Arco do Triunfo	72
6.4.2 Fonte dos Desejos	73
6.4.3 Bosque	74
6.4.4 Salão	75
6.4.5 Tribuna	78
6.4.6 Viewpoints	82
6.5 Aula de Resistência dos Materiais	82
6.6 Ajuda	84
7 Conclusões	85
7.1 Comparação entre visualização 2D e visualização 3D	85
7.2 Som espacial	86
7.3 Movimento	86
7.4 Usuário inexperiente	86
7.5 Browsers VRML	87
7.6 Aula tradicional X Aula com o auxílio de Ambientes Virtuais	88
7.7 Considerações Finais	88
7.8 Trabalhos Futuros	90
Referências Bibliográficas	91

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A visualização une dois dos mais poderosos sistemas de processamento de informações que conhecemos – a mente humana e os modernos computadores [GERS97]. A evolução computacional tem se destacado diante dos outros ramos tecnológicos. Nos últimos anos dezenas de milhares de computadores invadiram nossas casas.

Os termos *Realidade Virtual* e *Ambientes Virtuais* estão cada vez mais presentes na mídia, quer por entretenimento, quer por simulações visuais feitas em noticiários diários. O objetivo deste trabalho é explicar como os ambientes virtuais podem ser úteis no ensino e na aprendizagem, especificamente na disciplina de *Resistência dos Materiais*. Algumas universidades já trabalham com simuladores de ambientes virtuais [PUCS98] [PUCS98a] [NAU98] [SAND98] [UFSC98] [UFSC98a]. Quando se fala em mundos virtuais, atrai-se a atenção da mais variada faixa cultural. Entretanto, é curioso saber que a maioria das pessoas nunca interagiu ou participou destes mundos. Esta dissertação pretende demonstrar a construção e o uso de ambientes virtuais no ensino, visando utilizá-los como apoio na aprendizagem da disciplina de Resistência dos Materiais. Para este fim, um modelo é proposto pela Dr. Verônica S. Pantelidis [PANT98] e seguido no projeto "Templo do Saber", descrito no capítulo 6.

Para uma introdução sobre ambientes virtuais, inicia-se no segundo capítulo com a definição de visualização, um breve histórico e a evolução da realidade virtual. São mencionados também os sistemas de realidade virtual e seus campos de aplicação.

No terceiro capítulo a educação é abordada e um modelo sobre o uso de ambientes virtuais como apoio ao ensino e aprendizado é sugerido. Demonstram-se situações em que o uso desses ambientes é viável.

O capítulo 4 é inteiramente dedicado à criação de ambientes virtuais, demonstrando as considerações a serem feitas a partir da análise do usuário e dos equipamentos (hardware e software) a serem usados.

A implementação dos ambientes virtuais, ou seja, a sua programação e edição é o objeto do capítulo 5. Nele encontram-se relacionados alguns editores de realidade virtual disponíveis no mercado. Para destacar o uso de uma linguagem de programação de mundos virtuais, apresentam-se a história e alguns conceitos básicos da linguagem VRML. Esta linguagem é normalizada pela ISO/IEC 14772 e como a linguagem mundial de criação de ambientes virtuais a ser usada via internet.

O projeto "Templo do Saber", objeto do sexto capítulo, é um exemplo da aplicação dos ambientes virtuais como ferramenta de auxílio ao ensino. Este projeto foi desenvolvido por este autor e tem como parte principal os mundos virtuais, construídos em VRML. A "aula virtual" correspondente está disponível na Internet através do endereço <http://www.cesec.ufpr.br/~pompeu/escola.html>.

A escolha do assunto "Resistência dos Materiais" deu-se pelo fato deste autor ser professor da mesma cadeira no Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET, na unidade de Medianeira.

No capítulo sete encontram-se as conclusões, considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

VISUALIZAÇÃO E REALIDADE VIRTUAL

2.1 Visualização e Comunicação

Enxergam-se a visualização e a computação visual como uma nova forma de comunicação. Sabe-se do poder que as imagens possuem de transmitir informações, idéias, e até mesmo sentimentos. Tendências recentes trouxeram imagens 2D e gráficos como evidências pela variedade das interfaces gráficas e softwares comerciais de plotagem. As imagens 3D têm sido usadas freqüentemente por especialistas usando sistemas especializados. Agora isto está mudando. É o ponto de vista deste autor que se está entrando numa nova era, onde imagens 3D, visualizações e animações começarão a se ampliar e, em alguns casos, substituir o paradigma corrente da comunicação baseado em palavras, símbolos matemáticos e imagens 2D. Espera-se que, com o tempo, a imaginação humana se torne livre como nunca foi antes.

2.2 O que é visualização?

A visualização é o ato ou processo de interpretar em termos visuais ou colocar na forma visual [WEBS]. É uma parte da vida no dia-a-dia. Desde mapas climáticos até as mais excitantes produções gráficas da indústria do entretenimento, os exemplos de visualização são abundantes [GERS97] [SCIE98]. Informalmente, visualização é a transformação de dados ou informações, em figuras. A visualização envolve um instrumento sensorial humano primário, a visão, tanto quanto o poder de processamento da mente humana. O resultado é um meio simples e eficaz para uma comunicação complexa e/ou informações volumosas .

2.3 Terminologia

Diferentes terminologias são usadas para descrever a visualização. *Visualização científica* é o nome formal dado ao campo da ciência da computação que envolve a interface com o usuário, a representação de dados e algoritmos de processamento, a representação visual e outras apresentações sensoriais como som ou tato [MCCO87]. O termo *visualização de dados* é também usado para descrever visualização. Visualização de dados é normalmente interpretado como sendo mais geral do que visualização científica, desde que implique num tratamento de dados surgido fora das ciências e engenharias. A origem de dados pode ser financeira, comercial ou de marketing. Adicionalmente, o termo visualização de dados é grande o suficiente para incluir a aplicação de métodos estatísticos e outras análises técnicas de dados. Outro termo emergente é *visualização de informações*. Este campo procura visualizar informações abstratas como os documentos hipertextos no World Wide Web, estruturas de diretórios/arquivos num computador, ou estruturas de dados abstratos [GERS97]. O maior desafio da pesquisa da visualização de informações é desenvolver sistemas de coordenadas, métodos de transformação e estruturas que significativamente organizem e representem dados. O termo *Computação Visual* significa visualizar informações e explorar aspectos visuais de programação e de interfaces homem-máquina [FEIJ98].

2.4 Exemplos de visualização

Talvez a melhor definição de visualização possa ser oferecida por exemplos. Em muitos casos a visualização está influenciando a vida das pessoas e realizando fatos que poucos anos atrás seriam inimagináveis. O primeiro exemplo desta aplicação está na medicina moderna.

Técnicas de imagens computacionais têm se tornado uma ferramenta importante na prática da medicina moderna. Estão incluídas técnicas como as da *Tomografia*

Computadorizada (CT) e Imagem por Ressonância Magnética (MRI). Estas técnicas usam uma amostragem ou um processo de aquisição de dados para capturar informações sobre a anatomia interna de um paciente vivo. Esta informação se encontra na forma de *planos fatiados* ou imagens em seções transversais de um paciente, similares às imagens convencionais de raios X. A tomografia computadorizada usa muitas imagens de raios X para adquirir os dados, enquanto a ressonância magnética combina campos magnéticos largos com ondas de rádio pulsantes. Técnicas matemáticas sofisticadas são usadas para reconstruir os planos fatiados. Tipicamente, muitos planos fatiados proximamente são reunidos num volume de dados para completar o estudo.

Adquirido de um sistema de imagens, uma fatia é uma série de números representando a atenuação dos raios X (CT) ou a relaxação da rotação nuclear magnetizada (MRI). Numa dada fatia, esses números são arranjados numa matriz ou numa relação regular. A quantidade de dados é tão grande que não é possível entender os dados na sua forma natural. Entretanto, atribuindo-se a esses números valores de uma escala cinza numa tela de computador, surge uma estrutura. Esta estrutura é resultante da interação do sistema visual humano com a organização espacial dos dados e os valores da escala cinza escolhidos. O que o computador representa como uma série de números é o que se pode ver como uma seção transversal através do corpo humano: pele, ossos e músculos. Ainda mais impressionantes resultados são obtidos quando estendem-se estas técnicas em três dimensões. Imagens fatiadas podem ser unidas em volumes e estes volumes podem ser processados para revelar estruturas anatômicas completas. Usando técnicas modernas pode-se ver o cérebro inteiro, o esqueleto e o sistema vascular de um paciente sem precisar de uma intervenção cirúrgica. Tal capacidade tem revolucionado os métodos modernos de diagnóstico e, irá crescer em importância igual ao amadurecimento da tecnologia de visualização.

Outra aplicação da visualização é a indústria do entretenimento. Produtores de cinema e televisão continuamente usam computação gráfica e visualização para criar mundos inteiros que nunca poderiam ser visitados por nosso corpo físico. Nestes casos, visualizam-se outros mundos como são imaginados ou mundos passados como supõe-se terem existido. É difícil assistir-se filmes como *Jurassic Park* e *Toy Story* e não ter uma profunda admiração pelo espantoso *Tiranossauro Rex* ou ter um encanto pelo herói *Buzz Lightyear* de *Toy Story*.

Morphing é uma outra técnica popular de visualização, freqüentemente usada na indústria do entretenimento. *Morphing* é uma transformação suave de um objeto em outro. Uma aplicação comum é a transformação entre duas faces. *Morphing* também tem sido usada para ilustrar as mudanças no design automotivo entre um ano e outro. Técnicas de visualização são usadas rotineiramente para apresentar notícias climáticas. O uso de isovalores, ou contornos, linhas para mostrar áreas de temperaturas constantes, chuvas e pressão barométrica têm se tornado uma ferramenta primária nas informações diárias sobre o clima.

Muitos usos recentes de visualização estão presentes na engenharia e na comunidade científica. O computador tem sido usado como uma ferramenta para simular processos físicos, como trajetórias balísticas, escoamento de fluídos e mecanismos estruturais. Com o crescimento das simulações computacionais, torna-se necessário a transformação dos resultados obtidos em figuras. A quantidade de dados supera a habilidade humana de assimilá-los e entendê-los. De fato, figuras eram tão importantes que, no começo, a visualização era criada manualmente pela transcrição de números em figuras. Hoje, pode-se tirar vantagens sobre vantagens na computação gráfica e em hardwares. Apesar da tecnologia, a aplicação da visualização é a mesma: mostrar resultados de simulações, experimentos, medições e fantasias; e usar estas figuras para comunicar, entender e divertir. Este trabalho procura aplicar a

visualização, na forma de ambientes virtuais, como elemento de apoio ao ensino e aprendizagem de Resistência dos Materiais.

2.5 Breve histórico da Realidade Virtual

Segundo Francis Hamit [HAMI93], um dos pioneiros da tecnologia da realidade virtual não é um gênio de computador, mas um produtor de filmes com uma inclinação para consertos e invenções. No início dos anos 50, Mort Heilig estava estudando cinema em Roma, quando ouviu falar sobre Cinerama. A idéia de uma experiência cinematográfica que ultrapassasse o conceito da janela, que envolvesse e, até certo ponto, cercasse a platéia empolgou extremamente o jovem estudante de cinema. Ele retornou para Nova York para experimentar este conceito. Um filme com imagens geradas por câmeras múltiplas sincronizadas, projetadas sobre uma abóbada, havia sido desenvolvido por Fred Walter durante a Segunda Guerra Mundial, como simulador de vôo para as forças armadas. O Cinerama, com três telas e três câmeras sincronizadas, foi a aplicação comercial dessa tecnologia.

Heilig acompanhou, cuidadosamente, outros avanços como o Cinemascope e os filmes 3D. Ele descobriu que as questões financeiras eram mais importantes para a indústria do que uma experiência mais completa para o público. Ele observou que o olho humano tem um alcance visual de 155 graus na vertical e 185 graus na horizontal, portanto, para envolver até mesmo um espectador passivo, a imagem deve se estender além desses limites. Analisou o alcance máximo dos sentidos humanos e propôs uma arquitetura para a sala que permitiria a projeção de imagens 3D sem exigir que o espectador usasse óculos especiais ou outros dispositivos. A platéia estaria sentada em fileiras e os próprios assentos seriam interativos com a sequência do filme para produzir, não apenas som estereofônico, mas também alguma sensação de movimento. Sensações olfativas seriam fornecidas pela injeção de diferentes

odores no sistema de ar condicionado. A sala que proporcionaria a “experiência total” de Heilig nunca foi construída. Isso é realidade virtual sem computadores.

Heilig inventou uma câmera cinematográfica estereoscópica para poder capturar uma imagem tridimensional verdadeira num filme 35 mm. Ele observou: “Quando qualquer coisa nova tem sucesso, todos, como crianças descobrindo o mundo, pensam que a inventaram, mas você pensa um pouco e descobre que um homem das cavernas arranhando uma parede estava criando realidade virtual de certa forma. O que há de novo aqui é que, instrumentos mais sofisticados dão a você o poder de fazer isso mais facilmente. Realidade virtual é sonho. Meus sonhos são muito mais reais para mim.”

Heilig e suas idéias não triunfaram porque ele estava trabalhando num paradigma diferente: o da indústria do entretenimento, e não o do domínio altamente acadêmico da tecnologia do computador. Se ele fizesse parte dessa comunidade ou se eles soubessem a respeito de seu trabalho e de suas idéias (ele patenteou um visor em 1957), os avanços em realidade virtual poderiam ter sido mais rápidos.

A demonstração do que a realidade virtual promete para o futuro foi feita pela primeira vez por Ivan Sutherland, quando este inventou o visor estereoscópico, nos anos 60, enquanto lecionava em Harvard. Ele já tinha inventado o primeiro programa de CAD, o *Sketchpad*, enquanto estudava para o seu doutorado no MIT. Em 1966, Sutherland deu início a uma série de experiências envolvendo exibições tridimensionais de dados de computador. Inventou o primeiro rastreador de posição, utilizando um equipamento ultrassônico. Em 1968, Dr. Sutherland, em companhia de um colega, Dr. David Evans, fundou a Evans & Sutherland Corporation. Como co-fundador, ele se tornou um líder na indústria da computação gráfica. A Evans & Sutherland experimentou um crescimento onze vezes maior durante a década de 80 e produz muitos dos equipamentos e programas que tornam possível a atual tecnologia de

realidade virtual. A firma foi comprada pela Sun Microsystems, que faz as estações de trabalho usadas em muitas experiências de realidade virtual. Pode-se dizer que, sem suas contribuições iniciais para o desenvolvimento da tecnologia, tanto com o visor quanto com a computação gráfica, a realidade virtual não teria sido possível. Várias vezes Ivan Sutherland foi chamado de “pai” da realidade virtual por Tom Furness, Fred Brooks, Jaron Lanier e John Waldern, todos os quais deram suas contribuições significativas para o ramo.

O primeiro projeto do Dr. Frederick P. Brooks foi criar um modelo tridimensional de uma molécula de proteína. Este projeto, como muitos outros projetos da Universidade da Carolina do Norte, era um programa para fazer ferramentas. “É ciência básica de qualidade”, disse Brooks [HAMI93]. O uso de telas gráficas é melhor do que um modelo de metal, porque você pode representar as forças elétricas. Ao longo dos anos, Brooks conseguiu atrair alguns grandes talentos para seu programa. Na Galeria Realidades do Amanhã, da Conferência SIGGRAPH 1991, os sistemas da Universidade da Carolina do Norte atraíram grande parte das atenções. A dedicação de Brooks é igualada pela sua disposição para questionar proposições facilmente aceitas por outros. Um de seus projetos é determinar se o uso de um visor oferece ou não vantagem sobre o uso de um monitor comum.

Thomas A. Furness III foi o pioneiro do programa *SuperCockpit*. A tecnologia resultante permite aos pilotos voar em aeronaves ultra-rápidas, usando apenas a cabeça, os olhos e movimentos das mãos. Furness é Ph.D. em engenharia e ciências aplicadas da Universidade de Southampton, na Inglaterra. Toda a sua carreira foi dedicada a criar formas para capacitar melhor as pessoas a controlarem máquinas complexas. O desenvolvimento da visão de infravermelho para instalação num capacete, de maneira a guiar mísseis até seus alvos, levou casualmente ao conceito do *SuperCockpit*. Furness ajudaria a desenvolver, mais tarde, o dispositivo de rastreamento magnético *Polhemus*, que foi usado primeiramente para rastrear

posições da mão, em 1969. Ao mesmo tempo, Furness e seus colegas também estavam fazendo experiências com visores, utilizando-os em conjunto com câmeras de televisão estereoscópicas para controlar aeronaves e veículos. Em 1972, Furness construiu o primeiro visor periférico que imitava a forma como os olhos se movem. Furness e sua equipe desenvolveram mais tarde as telas transparentes com informações para o piloto, operadas por transmissões através de fibras óticas e espelhos. Eles então descobriram que o movimento do olho humano podia ser usado para acionar controles da mesma maneira que um dedo pode fazê-lo. Houve experiências com visores com áudio tridimensional, que levaram à criação do primeiro gerador de som tridimensional. Furness e sua equipe também fizeram um trabalho importante no desenvolvimento de controles ativados por voz e de sistemas de transmissão de voz. Sensacionalismo ou não, os esforços de Furness levaram ao desenvolvimento de um projeto de *cockpit* que é bastante intuitivo e fácil de usar e a um simulador de voo que é, indiscutivelmente, um equipamento de realidade virtual.

Myron Krueger começou a pesquisar interações homem-computador em 1969, na Universidade de Wisconsin. Em 1972, ele concluiu seu livro *Artificial Reality* [HAMI93], que só seria publicado dez anos depois. Os interesses originais de Krueger recaíam sobre os aspectos filosóficos da questão. Suas primeiras experiências com gestos e percepção humana utilizando comunicação por vídeo levaram à compreensão de que os fatores humanos representam a parte essencial da interface homem-computador. “Eu mudei o paradigma de você perceber o computador para o computador perceber você”, comentou Krueger [HAMI93]. Ele começou com uma sala chamada *PSYCHIC SPACE*, que tinha milhares de sensores espalhados pelo chão. Criou depois o *VIDEOSPACE*, um ambiente gráfico controlado por computador, em que as pessoas entravam por locais diferentes para interagir. Uma das idéias era o *VIDEOTOUCH*, em que o ato de tocar uma parede implica numa relação

de causa e efeito. Ph.D. em Ciência da Computação, Krueger às vezes se define como um artista. A falta de realidade nos atuais sistemas de realidade virtual aborrece Krueger. Não o aspecto abstrato do cenário, mas a lentidão da resposta ao estímulo. Recentemente, ele publicou outro livro sobre o assunto chamado *Artificial Reality II* [HAMI93]. A maior parte do seu trabalho foi exposta em museus, mas tem aplicação óbvia em telepresença e constitui um modelo para a interação no espaço cibernético.

Cada um desses pioneiros contribuíram enormemente para a tecnologia básica de realidade virtual, num tempo em que não havia nem simpatia nem apoio para a idéia.

“Se o computador deve alcançar todo o seu potencial como professor, curandeiro, animador, ou inspirador, ele precisa dialogar com o homem da mesma maneira que este dialogou com a natureza, durante milhões de anos. Isto é, o computador deve falar com ele, estimulando todos os seus sentidos e deve permitir que ele responda com todas as suas respostas motoras.” – Mort Heilig [HAMI93].

2.6 O que é a Realidade Virtual

Realidade Virtual é um modo dos humanos visualizarem, manipularem e interagirem com computadores e dados extremamente complexos [ISDA98]. Realidade Virtual é a simulação do espaço-tempo 4D. É a animação do ponto de observação apresentada em um contexto interativo, em tempo real. A Realidade Virtual proporciona uma maneira de o participante interagir com um ambiente simulado 3D. É uma interface homem-computador, proporcionando controles para o usuário manipular e interagir com uma base de dados. A base de dados é o espaço-tempo 4D, incluindo a realidade artificial (espaço virtual) e as entidades (objetos virtuais) que ele contém [ADAM94]. Formalmente, a Realidade Virtual pode ser apresentada como um sinônimo de Ambientes Virtuais Imersivos [FEIJ98].

Um *universo* é uma configuração particular de realidade virtual. O universo inclui o ambiente virtual, as entidades que ele contém e um script para controlar a simulação. O carregamento de diferentes universos pode proporcionar diferentes experiências virtuais. Os universos contêm sensores e entidades. *Entidades* são atores, adereços e elementos do cenário. *Sensores* são disparadores no ambiente virtual que podem fazer com que as entidades interajam com o usuário. Os sensores respondem às ações ou à localização do usuário. Um programador vê um sensor em um contexto um tanto diferente. Os programadores consideram os sensores como seções de código que consultam os dispositivos de entrada do computador para determinar se o usuário fez alguma coisa para disparar o evento. Os sensores são um componente importante do gerenciador de simulação de realidade virtual.

O *gerenciador de simulação* é um instrumento de animação modificado para rodar no modo passo a passo para uso em uma sessão de realidade virtual. Ele executa funções *run-time* como atualizar, impor, detectar e mover. Isto significa que o gerenciador de simulação realiza o seguinte trabalho [ADAM94]:

- Atualiza a imagem na tela.
- Impõe as regras de realidade virtual.
- Detecta interatividade.
- Move entidades

O gerenciador de simulação atualiza a imagem na tela sempre que houver uma mudança na localização do ponto de observação ou na direção da observação. Ele impõe as regras de realidade virtual, que são leis definidas pelo programador, que governam e regulam o comportamento do sistema de realidade virtual durante uma sessão. As regras de realidade virtual também regulam quais ações o usuário pode tomar. Os sensores do gerenciador de simulação detectam quando entidades no ambiente virtual devem responder às ações do

usuário. O gerenciador de simulação implementa o movimento de entidades que tenham sido escritas para se mover no ambiente virtual.

2.7 Estilos de Realidade Virtual

Os estilos de realidade virtual diferem de acordo com a extensão em que o usuário imerge seus sentidos no mundo virtual [JACO94]. Não existe realidade virtual totalmente imersiva. Os ambientes virtuais são definidos a partir do grau de imersão do usuário. Um aplicativo pode fornecer três formas diferentes de realidade virtual [ADAM94]:

- Passiva
- Exploratória
- Interativa

2.7.1 Realidade virtual passiva

Proporciona ao usuário exploração automática e sem interferência através do ambiente 3D. A rota e as vistas são explícita e exclusivamente controladas pelo software. O usuário não tem controle algum, exceto talvez, para sair da sessão.

2.7.2 Realidade virtual exploratória

A exploração é dirigida pelo usuário através do ambiente 3D. O participante pode escolher a rota e as vistas, mas não pode interagir com entidades contidas na cena 3D.

2.7.3 Realidade virtual interativa

Além de proporcionar uma exploração dirigida pelo usuário, as entidades virtuais no ambiente 3D respondem e reagem às ações do participante. Por exemplo, se o usuário move o ponto de observação em direção à porta, ela pode parecer abrir-se, permitindo ao participante passar através dela. Os sensores do gerenciador de simulação detectam quando o nó do ponto de observação se move dentro de um volume especificado do espaço-3D.

2.8 Tipos de Sistemas de Realidade Virtual

Uma maior distinção dos sistemas de realidade virtual é a maneira com a qual eles interagem com o usuário. De acordo com Jerry Isdale [ISDA98], os tipos são:

- *Window on World Systems* (WoW);
- Mapeamento de Vídeo;
- Sistemas Imersivos;
- Telepresença;
- Realidade Misturada;
- *Fish Tank Virtual Reality*.

2.8.1 *Window on World Systems*

Alguns sistemas usam um monitor convencional de computador para mostrar o mundo visual. Esses são chamados, às vezes, de *Desktop VR* ou *Window on a World* (WoW).

2.8.2 Mapeamento de Vídeo

Uma variação do WoW que funde a imagem de vídeo da silhueta do usuário com um computador gráfico 2D. O usuário visualiza um monitor que mostra a interação do seu corpo

com o mundo virtual. Myron Kruger usou essa forma de realidade virtual desde o final dos anos 60. Pelo menos um sistema comercial utiliza algo semelhante, o "*Mandala*". Este é baseado no *Commodore Amiga* com alguns aditivos de software e hardware. Uma versão do Mandala é usado na TV a cabo canal *Nickelodeon* nos Estados Unidos para um jogo (*Nick Arcade*).

2.8.3 Sistemas Imersivos

Esse sistema imerge o usuário no mundo virtual. Esta imersão é possível com equipamentos como os videocapacetes (Head Mounted Display - HMD). Uma ótima variação dos sistemas imersivos usa várias projeções para produzir uma "Cave" ou uma sala onde o(s) observador(es) fica(m). Com um pequeno espaço pode-se produzir a sensação de estar num ambiente infinito.

2.8.4 Telepresença

Telepresença é uma situação onde uma pessoa está objetivamente presente num ambiente real, sendo que este está fisicamente separado dela no espaço [PINH98a]. Pilotos de naves de ataque usam sistemas remotos para operar em condições perigosas. Cirurgiões estão utilizando pequeníssimos instrumentos em cabos, para operar sem produzir grandes cortes nos pacientes. Robôs equipados com sistemas de telepresença tem alcançado grandes profundidades nos oceanos e feito explorações vulcânicas. A NASA utiliza a telerobótica para a exploração espacial.

2.8.5 Realidade Misturada

Fundindo a telepresença e os sistemas de realidade virtual tem-se a *Realidade Misturada*, *Realidade Aumentada* [PINH98a] ou *Realidade Ampliada* [JACO94]. Aqui os dados gerados pelo computador são mesclados com os dados da telepresença e/ou a visão do mundo real. Os dados de um paciente podem ser vistos durante uma cirurgia de alto risco. Um piloto pode ter um mapa gerado por computador, e dados do relevo e clima, projetado no visor de seu capacete. O uso de óculos transparentes nos quais são projetados dados ou imagens permite que o usuário mantenha contato visual com o mundo físico visualizando objetos virtuais simultaneamente. Os fabricantes deste produto estão explorando essa tecnologia para que, por exemplo, engenheiros possam trabalhar em montagens mecânicas complexas enquanto visualizam diagramas estruturais.

2.8.6 Fish Tank Virtual Reality

A frase *Fish Tank Virtual Reality* foi usada para descrever um sistema de realidade virtual canadense mostrado em 1993 por Colin Ware, Kevin Arthur e Kellogg Booth. Ele combina um monitor estereoscópico usando óculos LCD (*Liquid Crystal Display* - monitor de cristal líquido) com um rastreador mecânico de cabeça. O sistema resultante é superior ao simples WoW estéreo devido aos efeitos da paralaxe introduzida pelo rastreador de cabeça. Esse sistema também é chamado de realidade virtual de mesa.

2.9 Realidade virtual imersiva e não imersiva

A realidade virtual poderá ser imersiva ou não imersiva [PINH98a]. A realidade virtual não imersiva, do ponto de vista da visualização, baseia-se no uso de monitores. Segundo Linda Jacobson [JACO94], a realidade virtual imersiva é o estilo que gera mais entusiasmo e que

apresenta o maior *tecno-glamour*. A realidade virtual imersiva integral (também denominada Realidade Virtual Inclusiva) foi projetada para que o usuário sinta como se existisse totalmente no mundo virtual. Isolado do mundo físico por um videocapacete, vê e ouve cenas e sons tridimensionais que parecem rodeá-lo. O usuário levanta sua mão enluvada para abrir portas, apanhar objetos, voar através de um universo nascido do bit. Colocando uma vestimenta de dados todo o seu corpo fará parte da imagem.

2.9.1 Componentes associados à realidade virtual imersiva

Segundo Linda Jacobson [JACO94], os componentes associados à realidade virtual imersiva incluem os seguintes itens:

- *Motor de realidade*: a potência necessária para fazer funcionar uma imersão e interatividade estereoscópica multi-sensorial é fornecida por um caro sistema computadorizado, bem como seu hardware interno e externo, incluindo quadros de geração de imagem (subsistemas gráficos), sintetizadores de som e processadores de som 3D, conversores de sinal de computador/vídeo e operadores de orientação/direção. O motor de realidade típico – às vezes denominado *motor gráfico* – é um minicomputador ou estação de trabalho, tipicamente construído pela *Silicon Graphics*, *Sun Microsystems* ou IBM. Para processar e exibir imagens de vídeo separadas para cada olho (portanto, suportando um quadro de imagens 3D), algumas estações de trabalho precisam de duas placas gráficas. Algumas vezes, contudo, o sistema incorpora duas estações de trabalho, além de um sistema de sincronização de imagem para certificar-se de que a imagem do olho esquerdo e a imagem do olho direito serão emitidas exatamente no mesmo momento.

- *Videocapacete*: A maioria dos videocapacetes ou óculos (HMDs- *Head Mounted Display* ou visores apoiados na cabeça) incorpora LCDs e fones estéreos de ouvido. Estes

visores, em geral, um para cada olho, dão ao usuário a sensação de fazer parte do ambiente virtual.

- *Software 3D de modelagem e construção de mundo*: Um mundo virtual consiste de objetos e entidades tridimensionais distintas; entidades incluem – mas não se limitam a – pontos de vista, fontes de luz e canais de som. Esse mundo virtual precisa de um gerente de simulação: um software que controle objetos e execute a simulação propriamente dita. O mundo virtual também precisa de um suporte de dispositivo: um software para dirigir os dispositivos de entrada e saída de dados que permita entrar, navegar e interagir com o ambiente simulado.

- *Dispositivos de entrada de dados 3D*: Esses dispositivos permitem que o usuário navegue e interaja com o mundo virtual. Eles operam em espaço aberto (“3D”) e medem seis graus de liberdade (6DOF): os eixos x, y e z referem-se à direção motora; espaçamento, comprimento e rotação referem-se à direção rotativa [JACO94]. Enquanto está com as luvas, por exemplo, o usuário se comunica com o computador e interage com objetos virtuais através de gestos simples. Sensores de fibra ótica revestem a luva, medem o grau de inclinação de cada um de seus dedos e pedem para o computador traduzir sua “mão gráfica” de acordo com esses movimentos. Trabalhando com a fibra ótica, existe um sensor de rastreamento de posição, que relata ao computador a posição e orientação da mão. A *Virtex (Virtual Technologies, Inc.)* [VIRT98] fabrica equipamentos para utilização em realidade virtual como: CyberGlove® (luvas); CyberTouch®; CyberGrasp®; GesturePlus® e CyberSuit® (traje para captura dos movimentos do corpo). A NASA utiliza a CyberGlove® em alguns de seus projetos (fig. 2.1) [VIRT98a].

Nem todos os mundos de realidade virtual imersiva parecem igualmente reais, isso é consequência do tipo de motor, dispositivos de entrada e saída de dados e do software

escolhido para a construção do sistema. Por exemplo, as zonas de batalha virtual retratadas nos sistemas de treinamento militar e aeroespacial (comandados por supercomputadores) parecem misteriosamente genuínas. Os gráficos nos fliperamas *Virtuality* equipados com óculos parecem desenhos animados. Para investigar um mundo virtual o usuário não precisa estar completamente *imerso* nele. Em outras palavras, ele não precisa usar óculos pesados que impeçam a visão e audição no mundo físico. Na realidade, uma das principais reclamações sobre sistemas com base em HMD é que eles prendem o usuário ao computador. O desconforto é o efeito final após longos períodos de uso. Exatamente por isso existem vários níveis diferentes de realidade imersiva. A imersão parcial (ou inclusão parcial) é possível. Ao invés de colocar a cabeça no mundo virtual, o usuário pode por a mão.

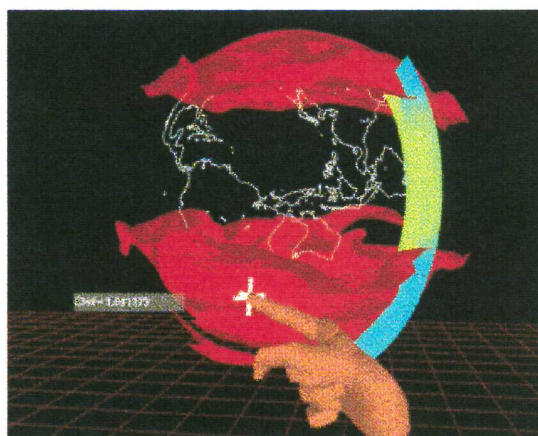


Fig. 2.1 Visualização da distribuição global do metano, usando assimilação de dados.

2.10 Campos de aplicação da realidade virtual

Inicialmente, esta tecnologia foi aplicada em ambientes militares. Com a evolução e uma redução significativa dos custos, passou a fazer parte em diversas áreas. John P. Costella [COST98] inclui uma lista reduzida de departamentos acadêmicos e centros de pesquisa em universidades que podem ter interesse na tecnologia dos mundos virtuais.

CAPÍTULO 3

AMBIENTES VIRTUAIS NA EDUCAÇÃO

3.1 Construtivismo

Para usar a informática na educação é necessário uma fundamentação em teorias que enfatizem o processo de construção do conhecimento pelo aluno. Por mais que seja maravilhosa a ferramenta utilizada, se for usada uma perspectiva pedagógica opressora, não haverá aprendizado [SOUZ97]. Através da realidade virtual consegue-se criar ambientes para a construção do aprendizado. O fato do aprendiz vivenciar as experiências, participando ativamente delas, torna-o um agente ativo de seu próprio aprendizado. A educação computacional passou por 3 gerações e agora, coincidindo com o advento dos ambientes virtuais, está entrando na quarta [WINN98]. Esta, assume que o conhecimento é construído pelos próprios estudantes, não transmitido por meio de cursos. E, de acordo com William Winn [WINN98], a educação baseada em computadores está fundamentada nas teorias construtivistas do aprendizado. Cada ambiente é caracterizado por um potencial de interação ao invés de transações instrucionais predeterminadas. Isto é precisamente o que os ambientes virtuais propõem.

3.2 Ambientes Virtuais na Educação

Educadores fazem uso de muitas ferramentas de auxílio durante o ensinamento, incluindo livros-texto, quadro negro, fitas de vídeo, filmes, softwares, e, crescentemente a “Word Wide Web” e a Internet. Teoria do aprendizado, teoria instrucional, estilos de aprendizado e tipos de inteligência são usados para determinar qual o tipo de auxílio ou meio deverá ser usado [PANT98]. Tradicionalmente, assuntos tem sido ensinados usando-se livros,

leituras, discussões e alguns tipos de mídia. Os ambientes virtuais podem ser usados para ensinar alguns desses assuntos e, também, para determinar se certos objetivos foram dominados. No campo educacional, a realidade virtual ainda está apenas começando. Apesar dos educadores serem inerentemente conservadores e tenderem a se agarrar ao já comprovado, as aplicações da realidade virtual estão cada vez mais claras [TRIN98] [UFSC98] [UFSC98a] [JOHN98] [NAU98] [COST98]. As novas gerações possuem uma ligação muito forte com o computador. Quando se criam mundos virtuais, permite-se que o usuário tenha a possibilidade de conhecer e aprender assuntos que apenas estavam na sua imaginação.

Recentemente, a criação de museus e bibliotecas virtuais permitiu ao usuário navegar por entre uma representação visual de prateleiras de livros, encontrar o item desejado, entrar diretamente no livro para ler e, com autorização, copiar as partes selecionadas. Com uma realidade virtual verdadeiramente imersiva o estudante terá uma sensação de realismo. Permitindo o uso do toque, da visão e da audição, fica muito mais fácil entender os princípios da química, da física, da matemática e outras ciências. É possível dissecar um sapo virtual, visitar um sítio arqueológico ou um museu distante, no espaço virtual [HAMI93]. Um cadáver virtual pode ser analisado e estudado de forma muito mais completa do que apenas visto em ilustrações de um livro. Um motor virtual em funcionamento não emite gases poluentes, seu ruído pode ser controlado e, além disso, o aprendiz não corre o risco de sofrer um acidente por ter cometido algum erro. Existem diversas razões para se usar os ambientes virtuais na educação. Segundo a Dra. Veronica S. Pantelidis [PANT98], algumas delas são:

- Produz motivação;
- Podem mostrar com mais exatidão alguns aspectos, processos etc. que outros meios;
- Permitem um exame muito próximo de um objeto;

- Permitem a observação de uma grande distância;
- Permitem que um deficiente possa participar num experimento ou em um ambiente que de outra forma não poderia;
- Dão oportunidade para introspecção;
- Permitem ao aprendiz proceder por uma experiência ao seu próprio ritmo;
- Permitem ao aprendiz proceder por uma experiência durante um tempo livre não fixado por um horário regular de uma aula;
- Produzem experiências com tecnologias modernas de uso atual;
- Requerem interação. Encoraja a participação ativa ao invés da passividade.

3.3 Aplicações em Treinamento e Educação

Quando Joseph Henderson [HAMI93] desenvolveu um programa de treinamento médico em combate, para a Marinha americana, o estudante participava de simulações reais sob forte estresse, exercitava seu raciocínio e podia repetir inúmeras vezes a mesma situação até sentir segurança para enfrentar uma situação real. Hoje em dia, pode-se aperfeiçoar uma tacada de golfe ou até mesmo um saque de tênis, estando em um ambiente virtual. Uma situação de difícil acesso, num ambiente hostil e perigoso, pode ser simulada num mundo virtual para treinamento sem qualquer risco de vida para o usuário. O uso de realidade virtual na exploração (exploração de forma econômica) de petróleo em águas profundas [SANT97] é hoje uma realidade. Um piloto de aviação passa por muitas horas de simulação antes de conduzir realmente um avião contendo dezenas de passageiros reais. Uma proposta de ensino-aprendizagem para deficientes auditivos usando a realidade virtual foi feita por Brandão [BRAN97]. O aprendizado em engenharia civil usando-se um ambiente construtivista em realidade virtual pode ser visto no trabalho de Patrícia Cristiane de Souza [SOUZ97]. A

dissecação de um sapo virtual pode ser vista no trabalho de William E. Johnston [JOHN98] (fig.3.1). O projeto Professor Virtual está sendo desenvolvido pelo Grupo de Realidade Virtual, do Departamento da Computação, na Universidade Federal de São Carlos [UFSC98] (fig.3.2). Uma Introdução a Realidade Virtual através da Música é um trabalho feito por Lynne Cox [COX98] que empolga as crianças (fig. 3.3). O uso integrado da realidade virtual e visualização científica faz parte do projeto REVIR [UFSC98a]. Uma simulação do sistema solar faz parte de um projeto na *Northern Arizona University* [NAU98] (fig.3.4). A Realidade Virtual no Ensino e na Aprendizagem da Física e da Química é um trabalho feito por Jorge A. Trindade e Carlos Fiolhais, na Universidade de Coimbra [TRIN98].

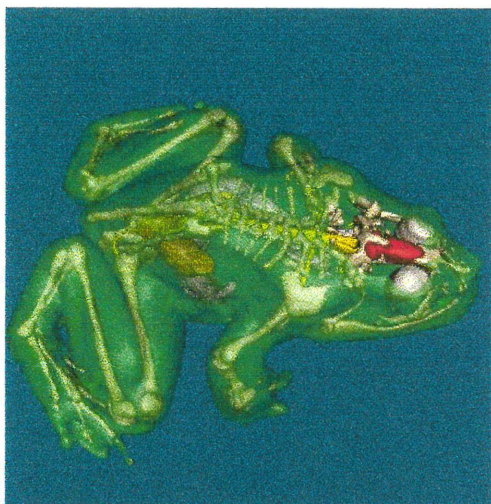


Fig. 3.1 Dissecação de um sapo Virtual

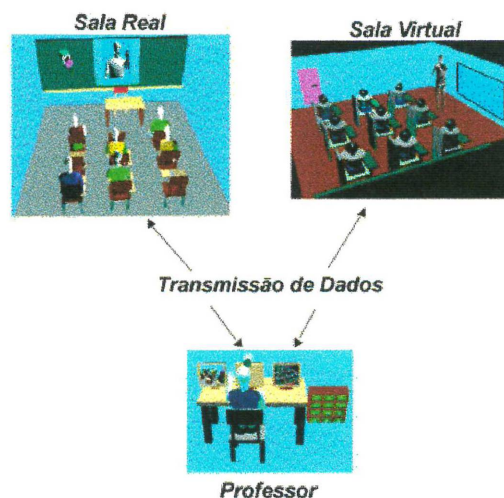


Fig. 3.2 Projeto Professor Virtual.

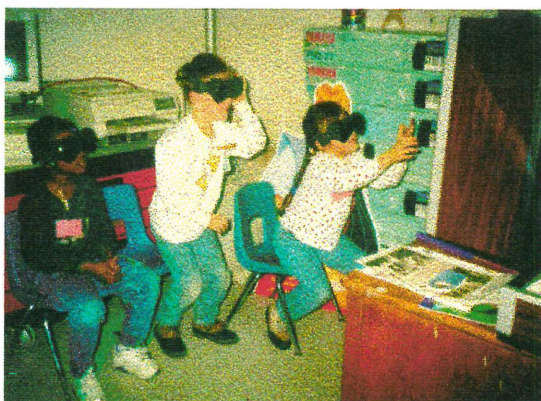


Fig. 3.3 Aprendendo Realidade Virtual através da Música

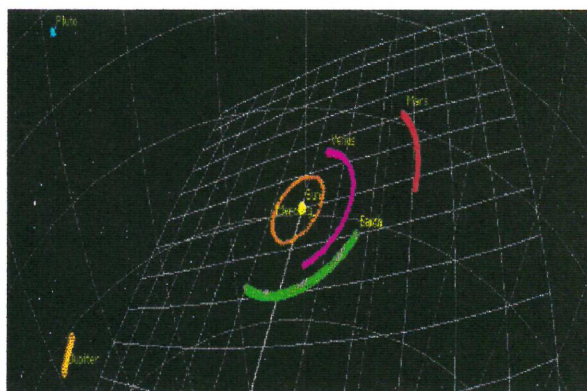


Fig. 3.4 Simulação do Sistema Solar

3.4 Quando e como usar os Ambientes Virtuais na educação.

O educador deve decidir quando e onde usar os ambientes virtuais. Uma forma para escolher onde usar um ambiente virtual em qualquer curso pode ajudar o educador tomar sua decisão. Caso decida usar os ambientes virtuais um modelo de como fazê-los é proposto pela Dra. Veronica S. Pantelidis [PANT98]. Neste modelo os objetivos específicos do curso são definidos. Os objetivos que podem usar uma simulação, como uma medição ou meio de realização, são marcados. Cada um desses objetivos marcados são examinados, primeiramente, para determinar se é possível usar uma simulação computadorizada, e, então, para determinar se é possível usar uma simulação 3D interativa. O nível de realismo requerido, numa escala do mais simbólico até o mais real, é determinado para cada objetivo selecionado. O tipo de interação necessária, numa escala da não-imersão num mundo 3D (em outras palavras, usando apenas o teclado, o mouse e o monitor como meios de comunicação com o computador) até a completa imersão (usando os capacetes de visualização –HMDs-, luvas etc.), é determinada. O tipo de sensação externa desejada através do mundo virtual ou ambiente, por exemplo, tato, sensação, som 3D, ou apenas visual, é determinada. Com isso o equipamento (software e hardware) de realidade virtual é determinado. O ambiente virtual é escolhido e construído. De acordo com os objetivos requeridos, ele poderá ser construído pelo professor, pelos alunos, ou por ambos. O ambiente virtual resultante é avaliado usando um profissional ou um grupo experimental de estudantes. Os resultados avaliados são usados para modificar o ambiente virtual. A avaliação e a modificação continua até que o ambiente virtual é mostrado como uma medida eficiente, ou auxiliar, na obtenção do objetivo. Esse modelo foi seguido no projeto *Templo do Saber*, descrito no capítulo 6. A figura 3.5, a seguir, demonstra o modelo:

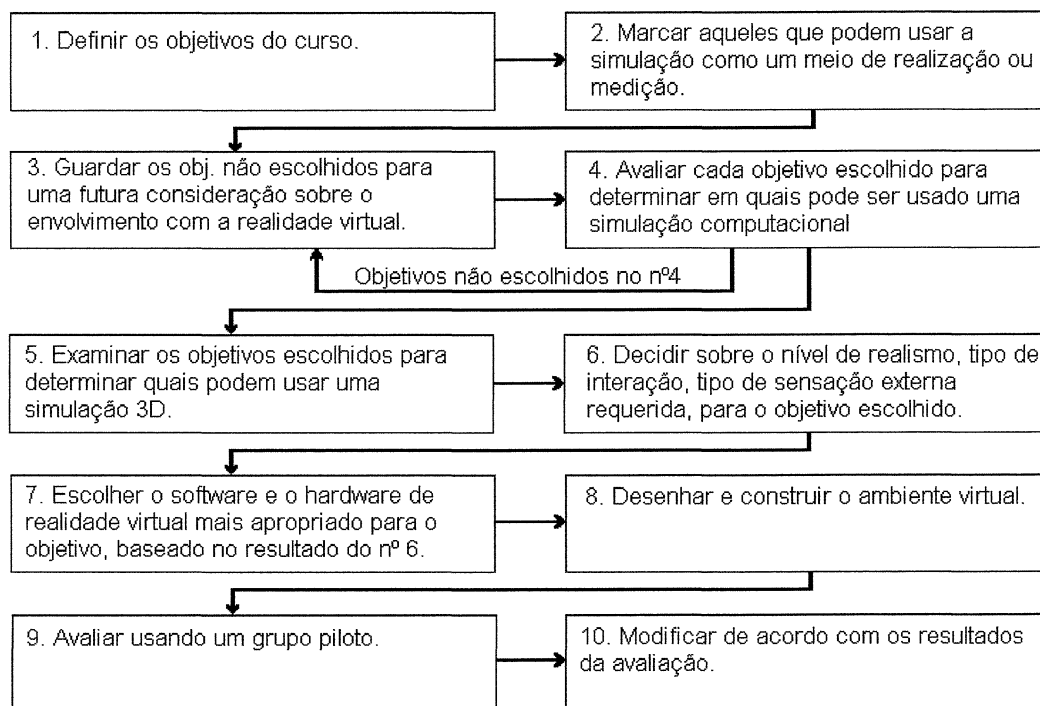


Fig. 3.5 Modelo para determinar como usar os ambientes virtuais na educação, segundo V.S. Pantelidis

[PANT98].

Algumas sugestões para usar um ambiente virtual na educação são feitas pela Dra. Pantelidis [PANT98]. Deve-se usar um ambiente virtual quando:

- Uma simulação poderia ser usada.
- O ensino ou o treinamento usando algo real é perigoso, impossível, inconveniente, prejudicial ao ambiente, possível de danificar o equipamento, caro.
- Um modelo de um ambiente irá ensinar ou treinar tão bem quanto algo real.
- Interagir com um modelo é tão motivador, ou mais, que interagir com algo real (como, por exemplo, usando o formato de um jogo).
- A experiência de criar um ambiente ou um modelo simulado é importante para o objetivo da aprendizagem.

- A visualização da informação é necessária, e a manipulação e reordenação da informação usando símbolos gráficos pode ser também mais facilmente entendida.
- Necessita-se tornar perceptível o imperceptível, por exemplo, usar e movimentar formas sólidas para ilustrar colisões de idéias em um processo de grupo.
- For necessário ensinar tarefas envolvendo habilidades manuais ou movimentos físicos.
- For essencial tornar o aprendizado mais interessante e divertido, por exemplo, trabalhar com um material desinteressante ou com estudantes que tem problemas de atenção.
- For preciso dar oportunidade a deficientes de fazerem experimentos e atividades que não poderiam fazer de outra forma.

CAPÍTULO 4

CRIAÇÃO DE AMBIENTES VIRTUAIS

4.1 Definição de ambiente virtual.

Existem muitas definições oferecidas por diferentes pesquisadores. O termo *realidade virtual* vem sendo usado popularmente pela mídia, mas a comunidade científica prefere o termo *ambientes virtuais* pelo fato de um ambiente virtual não precisar retratar, necessariamente, a realidade [STUA96]. Um ambiente é tudo o que nos circunda, um conjunto de condições e objetos que é perceptível e com os quais pode-se interagir. Um *ambiente virtual* é um ambiente interativo gerado por computador munido de um “sistema de ambiente virtual”, ou popularmente “sistema de realidade virtual”. Existe uma classe das interfaces homem-computador que são os sistemas de ambientes virtuais. No mais exato sentido, um *sistema de ambiente virtual* é uma interface homem-computador que fornece ambientes sintéticos 3D interativos, imersivos e multisensoriais [STUA96]. A interação entre o usuário e o sistema é governada pela quantidade de dados de entrada fornecida pelo usuário. O nível de interatividade num ambiente virtual, permite uma variação praticamente ilimitada dentro do que ocorre numa sessão entre o usuário e o sistema. Por exemplo, uma forma típica de entrada de dados é o movimento da cabeça do usuário, a qual é rastreada pelas mudanças de posição e orientação e por este motivo produz mudanças de exibição da imagem. O usuário pode movimentar sua cabeça para qualquer direção, a qualquer tempo, e a exibição responderá apropriadamente. A imersividade significa a sensação que o usuário tem de estar completamente dentro do ambiente gerado pelo computador, não apenas olhando para um monitor. Um ambiente multi-sensorial é aquele que usa, além da visão, outras modalidades de sensações; por exemplo, a audição, o tato etc.

4.2 Definição do usuário

No projeto e implementação de ambientes virtuais, não apenas construindo outra interface homem-computador, as pesquisas sobre os fatores humanos indicam a importância de se conhecer o usuário [STUA96]. Um erro clássico, está em pressupor que os usuários serão especialistas como os construtores do sistema, e não leigos. Este erro, pode levar ao desenvolvimento de sistemas que requerem perícia para usá-los, e, em consequência disso, faz com que os novos usuários desistam ou achem outra alternativa, antes de adquirir esta destreza. A diferença novato/experiente é apenas uma distinção desta necessidade que deve ser feita na definição dos usuários, para uma proposta de um sistema de ambiente virtual. Outras são se o sistema será usado por um ou mais usuários; onde os usuários estarão localizados, com respeito ao sistema e entre eles; e, se, os usuários com deficiência terão o sistema como um objeto de assistência.

4.2.1 Usuário único X múltiplos usuários.

É necessária a identificação do número de pessoas que usarão os equipamentos de hardware, e, também os que simultaneamente interagirão no ambiente virtual. Para que um sistema possa ser demonstrado para um grande número de usuários (por exemplo num museu), as luvas e HMDs deverão ser resistentes e com uma capacidade de ajuste para diferentes pessoas. O problema da higiene (transmissão de germes pelos equipamentos) também deverá ser considerado. Com respeito ao número de pessoas que simultaneamente interagirão com o ambiente virtual, muitos sistemas correntes suportam apenas um único usuário, mas é importante para determinadas aplicações permitir a participação de vários usuários dividindo e interagindo com mesmo ambiente virtual.

4.2.2 Usuário remoto X usuário próximo

É necessário saber onde os usuários estarão em relação ao sistema, se estão proximamente localizados ou distantes. Com usuários remotos, um sistema de rede é uma necessidade, não apenas uma opção. A distância envolve aspectos na escolha da transmissão de dados, que deverão ser considerados previamente. Os efeitos no atraso da transmissão de dados podem significar prejuízos como, por exemplo, um robô localizado na Antártica, sendo teleoperado por uma pessoa a milhares de quilômetros. Se um comando de direção demorar a ser transmitido, este robô poderá colidir, ou cair na água, danificando-se completamente.

4.2.3 Usuário novato X usuário experiente

Comparando as necessidades entre novatos e experientes, existem diferenças óbvias. Geralmente é fácil para um usuário inexperiente perceber o que ele pode, ou não pode fazer, pelo método da tentativa e erro. Um usuário experiente focaliza sua atenção na capacidade do sistema: alta operabilidade, velocidade com que poderá executar as tarefas e a flexibilidade que o sistema possui para adaptar-se às suas necessidades. Desenvolvedores tentam adicionar uma quantidade enorme de características ao sistema e esquecem das dificuldades que elas trazem. Se a interface entre o usuário e o sistema é de difícil uso, provavelmente um novato não poderá dispor de tempo suficiente para adquirir a experiência desejada. Se for de fácil uso mas oferecer pouca operabilidade, ele poderá deixar de usar após as primeiras tentativas bem sucedidas. A solução é oferecer facilidade para o novato, alta operabilidade para o experiente e um sistema que permita uma mudança da inexperiência para a experiência. Esta meta é desejada nos sistemas de ambientes virtuais assim como em outras interfaces homem-computador [VIRT98] [ACM99] [HCI99].

4.2.4 Habilidades do usuário

Como observado por Stuart e Thomas [STUA96], os usuários tem diferentes habilidades. Apesar de muitas pesquisas sobre a performance humana, feitas com jovens pilotos de combate do sexo masculino, a hipótese de que todos os usuários são igualmente bons na visualização 3D é desaconselhada. Testes padronizados, como os realizados pelo *Johnson O'Connor Institute*, em Nova Iorque, medem uma variedade de habilidades que podem ser pertinentes na decisão da construção dos ambientes virtuais para usuários com os mesmos tipos de habilidades. Pensando nisso, os sistemas podem suportar tipos de customização que levam o usuário a adaptá-los às suas habilidades. Por exemplo, algumas pessoas preferem receber mais informações sonoras e outras mais informações visuais.

4.2.5 Diferenças fisiológicas individuais

Existem numerosas diferenças fisiológicas individuais que são pertinentes no uso dos ambientes virtuais. Estão incluídas a idade e o desempenho relacionado com esta (o desempenho visual e auditivo sofre alterações com a idade), distâncias interpupilares, distância individual de foco no escuro (que resulta em objetos aparecendo mais distantes do que estão porque os usuários tendem a focar a esta distância ao invés do infinito ótico), diferenças na tolerância de acomodação/alcance da visão e diferenças na capacidade de localização auditiva e percepção de ritmo.

4.2.6 Usuários com deficiências

Usuários com deficiências físicas podem usar a tecnologia dos ambientes virtuais para representar informações, que, de outra forma não seria possível para eles, ou para controlar objetos no mundo com todas as capacidades motoras que eles naturalmente não possuem.

4.3 Definição da tarefa

A definição da tarefa é essencial na especificação da aplicação do ambiente virtual. É necessário identificar as metas da aplicação, as tarefas requeridas para alcançar estas metas e como estas tarefas serão executadas no ambiente virtual. As tarefas mais comuns são a busca, a manipulação, a navegação, a percepção e inspeção e o aprendizado [STUA96]. Muitas aplicações podem incluir estas tarefas, como por exemplo:

- A simulação de uma manobra de auto-salvamento feita por astronautas separados de uma estação espacial usando uma máquina de empuxo portátil.
- Um passeio por prédios e modelos arquiteturais que não estão ainda construídos.

4.3.1 Categorias de aplicações de ambientes virtuais

Wickens e Baker [STUA96] dividem em quatro categorias as tarefas que podem ser designadas num ambiente virtual:

- *Execução online*: O usuário utiliza o ambiente virtual para realizar uma tarefa, geralmente no mundo real. A teleoperação é um exemplo típico desta categoria.
- *Treinamento e ensaio offline*: Descreve o uso dos ambientes virtuais para a prática de tarefas que serão executadas posteriormente no mundo real. Uma simulação cirúrgica ou uma simulação de voo são exemplos dessa categoria.
- *Compreensão online*: A meta principal desta categoria é a compreensão, ou o ganho de confiança, do usuário dentro do ambiente virtual enquanto estiver interagindo com ele.
- *Aquisição de conhecimento e aprendizagem offline*. O usuário será induzido a adquirir conhecimento e experiência, usando um sistema, e depois sintetizá-lo em mais conhecimentos abstratos. Num laboratório virtual de física, por exemplo, um estudante pode

controlar parâmetros físicos como o atrito, condições atmosféricas, módulo de elasticidade, direção e magnitude da força de gravidade e verificar os efeitos que eles geram.

De acordo com Rory Stuart [STUA96], existem ainda quatro categorias que não se encaixam na classificação de Wickens e Baker :

- *Projeto online*: Onde a interface do ambiente virtual é usada para projetar objetos e ambientes mostrados pelo sistema.

- *Entretenimento*: O objetivo do ambiente é a diversão e o prazer experimental que os usuários obtém dele.

- *Comunicação*: Múltiplos usuários podem usar os ambientes como mídia ou ferramentas para comunicação.

- *Ferramentas para pesquisa das capacidades perceptivas-motoras humanas*.

Essas oito categorias estão sintetizadas na tabela 4.1 [STUA96].

Categoria de aplicação	Propósito	Critério para sucesso	Necessidade crítica	Exemplos
Execução online	Usar o ambiente virtual para manipular mundos não artificiais	Execução bem sucedida da tarefa no mundo não artificial	Tempo de transmissão/atraso, mapeamento entre o movimento humano e do robô etc.	Teleoperação em ambientes perigosos, cirurgia com telepresença
Treinamento e ensaio offline	Usar o ambiente virtual para praticar atividades que serão realizadas em mundos não artificiais	Transferência positiva para o mundo não artificial	Representação da tarefa de treinamento, impedimento da transferência negativa, maximização da transferência positiva	Simulação cirúrgica, reparo no telescópio espacial Hubble, simulação de voo, jogos de guerra simulados, simulação de esportes
Compreensão online	Ganhar conhecimento num ambiente virtual enquanto interagindo com ele	Ganho de conhecimento (especialmente conhecimentos que não poderiam ser ganhos de outra maneira)	Escolha do projeto (modalidades sensíveis) para facilitar o reconhecimento de padrões e anomalias	Visualização financeira, planejamento em rede, planejamento de radioterapia no tratamento do câncer
Aquisição de conhecimento e aprendizagem offline	Adquirir conhecimentos pelo ambiente virtual para serem sintetizados e usados no futuro	Aquisição e síntese do conhecimento e compreensão bem sucedidas	Representação da informação	Túnel de vento virtual, laboratório virtual de física, exploração planetária virtual
Projeto online	Usar o ambiente virtual para o projeto de	Produção de bons projetos	Criação e modificação de objetos e ambientes	Projeto de cozinhas feito pela Matsushita,

	objetos ou ambientes		dentro dos ambientes virtuais	projeto automobilístico, projeto de aviões
Entretenimento	Usar o ambiente virtual com o propósito de prazer experimental	O usuário apreciar a experiência	Segurança, higiene, custo, facilidade de uso	Numerosos jogos
Comunicação	Usar o ambiente virtual como mídia ou ferramenta para comunicação	O ambiente virtual facilitar a comunicação	Representação sincronizada do usuário	Existem poucas aplicações sincronizadas de comunicação
Ferramentas para pesquisa das capacidades perceptivas-motoras humanas	Usar o ambiente virtual para estudar as capacidades humanas	Isolar o fenômeno perceptivo-motor para ser estudado	Controlar o desempenho do sistema, sua capacidade de repetição e flexibilidade	Estudos da localização auditiva, interações intersensitivas

Tabela 4.1 Categorias de aplicações de ambientes virtuais

4.4 Definição do ambiente

Um ambiente pode ser definido de várias formas, de acordo com as aplicações a serem usadas. O ambiente poderá ser físico, de trabalho e social. No projeto de um ambiente virtual é importante considerar previamente cada tipo de ambiente para, após feito grande parte do trabalho, não obter surpresas que poderão afetar o projeto.

4.4.1 Ambiente físico

É o espaço no qual o sistema é usado, e inclui elementos como a área utilizada, iluminação, ruído, temperatura, energia elétrica, acesso à rede de trabalho e a necessidade da segurança. Alguns sistemas de ambientes virtuais não precisam de muito espaço físico, mas outros, como o CAVE ou um simples simulador veicular, requerem um grande espaço dedicado. As características físicas do espaço também podem ser significativas. Um ambiente com uma boa quantidade de metal pode afetar o desempenho dos sistemas de rastreamento magnéticos. A iluminação excessiva poderá afetar a qualidade dos sistemas baseados em

HMDs, por exemplo, em um sistema de realidade aumentada. Similarmente, se a quantidade sonora de um mundo sintético deverá se integrar com o mundo não sintético, o projetista do ambiente terá a necessidade de medir o nível de ruído produzido pelo ambiente real e analisar os efeitos que ele produz no ambiente virtual. A temperatura é um fator que deverá ser considerado em termos do impacto que ela produzirá no usuário e no sistema.

4.4.2 Ambiente de trabalho

Outro tipo de ambiente a ser considerado é o ambiente de trabalho, que é o contexto no qual a aplicação está sendo usada com respeito às outras funções do usuário. No caso de um piloto de aviação usando um sistema de realidade aumentada, um elemento do ambiente de trabalho a ser considerado é que o piloto deverá ser capaz de ejetar-se da aeronave se houver algum problema sério ou se for atacado por um inimigo.

4.4.3 Ambiente social

O ambiente social - as atitudes, hábitos e expectativas sociais - deverão ser considerados. Ele poderá afetar o uso do sistema positiva ou negativamente. Se um ambiente social inicialmente não aceitar a tecnologia, uma barreira poderá ser criada e esta adaptação ao uso é um fator a ser considerado.

4.5 Geração de ambientes virtuais por computador

Quando se examina os requerimentos necessários para a criação de um ambiente virtual existem generalizações óbvias e outras não tão óbvias. Uma óbvia, é que deve existir uma variedade de dispositivos de entrada e saída, e, que eles devem ser efetivamente integrados para produzir um sistema que estimule uma percepção apropriada e capture as

atividades motoras cruciais. Talvez a generalização menos óbvia é que, para realizar isso, a tecnologia computacional de suporte deve encontrar exigências de desempenho diferentes daquelas praticadas em ambientes não-virtuais [STUA96].

4.5.1 Estrutura de um sistema de Realidade Virtual

A estrutura de sistema de um ambiente virtual pode ser mostrada sob várias formas e detalhes. O diagrama de blocos da figura 4.2 fornece uma visão geral de um sistema de ambiente virtual [PINH98a].

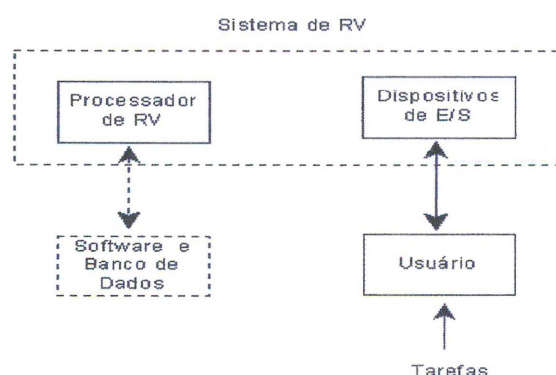


Figura 4.2 Diagrama de Blocos de um sistema de Ambiente virtual

Os dispositivos de entrada e saída de dados são responsáveis pela interação do usuário com o processador de realidade virtual.

Uma estrutura mais detalhada de um sistema de ambiente virtual é fornecida na fig. 4.3 [PINH98a] :

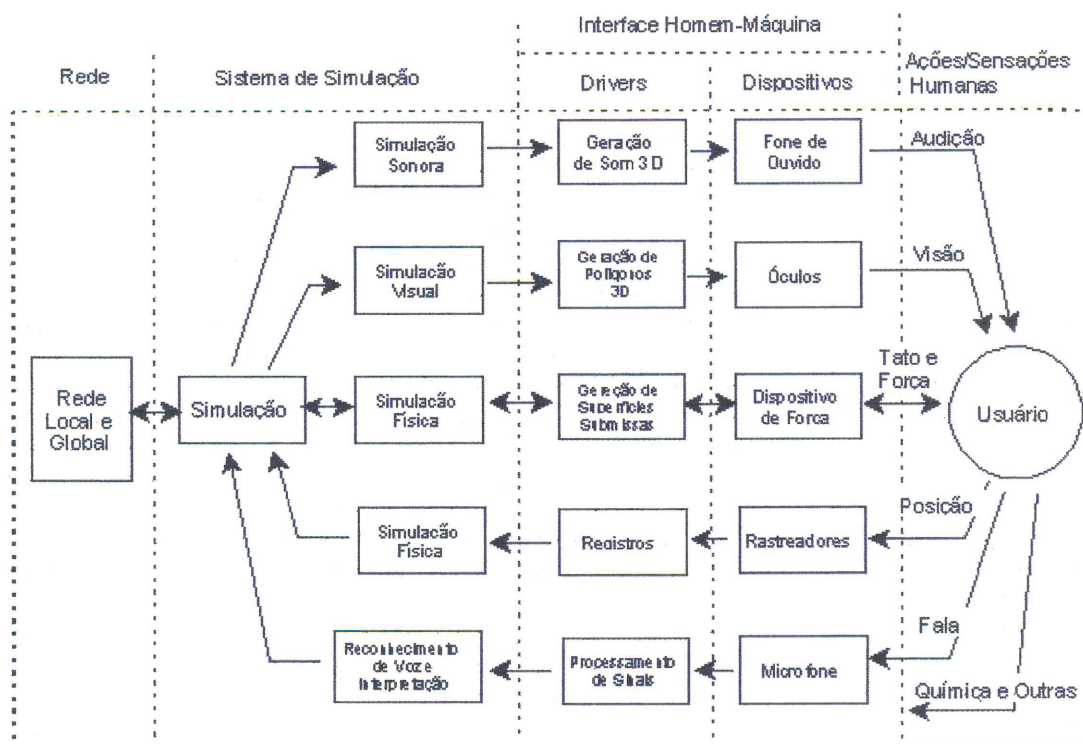


Figura 4.3 Estrutura detalhada de um sistema de Ambiente Virtual

4.5.2 Dispositivos de entrada de dados

Como os ambientes virtuais devem ser extremamente interativos, as tecnologias de entrada de dados são cruciais. Rory Stuart [STUA96] cita algumas dessas tecnologias:

- Sensores de posição
- Luvas e roupas instrumentadas
- Câmeras de vídeo
- Rastreadores da posição dos olhos
- Sensores biológicos
- Sistemas de tato
- Microfone

4.5.3 Dispositivos de saída de dados

A meta das tecnologias de saída de dados para um ambiente virtual é apresentar informações para o usuário de modo que ele consiga atingir o seu objetivo. Os equipamentos descritos por Rory [STUA96] são:

- Dispositivos visuais;
- Dispositivos acústicos;
- Dispositivos de força e tato;
- Dispositivos olfativos.

Nos dispositivos visuais encontram-se os tubos de raios catódicos, telas de cristal líquido, projetores retinais, diodos emissores de luz, plasma e outras tecnologias. Nos sistemas auditivos estão incluídos os alto-falantes, *headphones* (fones de ouvido) e monitores intra-auriculares. A sensação de tato e força é produzida por equipamentos pneumáticos, elétricos (como a temperatura), magnéticos e mecânicos. A vaporização de moléculas pelo ar faz parte dos sistemas olfativos. Outros sistemas como os de locomoção e de inércia também são utilizados como dispositivos de saída de dados.

4.5.4 Desempenho do Sistema

A geração da cena visual tem sido objeto de restrição no projeto de sistemas de realidade virtual, assim como a modelagem e geração das características de audição, tato e força [PINH98a]. Taxas altas de quadros por segundo, no caso da geração visual, e respostas rápidas são requeridas pelo sistema. Como em um filme de cinema, o conceito de quadros vem da animação baseada em uma sucessão rápida de uma sequência de fotografias. Para manter uma ilusão de movimento é ideal uma troca de, no mínimo, 30 quadros por segundo [STUA96]. Quando a interação está presente, são necessários tempos de resposta bem

rápidos. O uso de polígonos é a maneira mais comum de se criar imagens gráficas tridimensionais por computador. Uma cena realista detalhada requer aproximadamente 80 milhões de polígonos [STUA96]. Seria necessário uma taxa de 800 M de polígonos por segundo para mostrar este mundo a 10 quadros por segundo, o que está longe da capacidade tecnológica atual. Um microcomputador com acelerador gráfico apresenta um desempenho de dezenas de K polígonos por segundo, enquanto que as estações de trabalho estão na faixa de centenas de K polígonos por segundo [PINH98a]. Um mundo virtual mediantemente detalhado, com 15.000 polígonos, num computador com desempenho de 300.000 polígonos por segundo fará com que o sistema funcione a 20 quadros por segundo. Existe, portanto, uma complexidade máxima do mundo virtual para uma taxa mínima de quadros por segundo.

4.5.5 Requisitos de Hardware

Incluem-se, nos requisitos de hardware, a velocidade de processamento e memória, e também o custo, tamanho e durabilidade. Nas aplicações de ambientes virtuais, a velocidade de processamento é essencial. Por outro lado, memória e recursos de armazenamento dependem da aplicação [STUA96]. Um sistema computacional com um custo de US\$ 250,000 é inadequado para o entretenimento doméstico, assim como um sistema muito pesado não é indicado para uma pessoa que o precise carregar em seu trabalho. No auxílio a uma cirurgia, um sistema deve ser resistente o suficiente para não quebrar e colocar em risco a vida do paciente. Existem um número de dispositivos específicos de hardware que são empregados em aplicações de realidade virtual [ISDA98] [PINH98a]:

- Gerador de imagens;
- Dispositivos de manipulação e controle;
- Dispositivos de rastreamento de posição;

- Visor estereoscópico ou espacial;
- Videocapacetes (HMD);
- Luvas eletrônicas;
- Dispositivos geradores de som 3D;
- Dispositivos geradores de tato e força.

4.5.6 Requisitos de Software

Existe uma série de desafios que precisam ser resolvidos pelo software num ambiente virtual. Uma latência total é, em geral, a acumulação do atraso de geração do movimento introduzido por cada componente do sistema requerido para a geração do ambiente virtual : a taxa de entrada de dados e a atualização da posição dos seguidores de movimento; o tempo gasto pelo computador no processo do posicionamento, simulação, som, transmissão de dados etc [STUA96]. O desempenho deve ser primordial, visto que uma latência pode tornar o sistema inútil. Tipicamente, existe um grande número de dispositivos de entrada e saída de dados, com plataformas e sistemas operacionais não necessariamente iguais. Enquanto este fato permite tirar vantagem sobre a capacidade das diferentes plataformas, com o hardware e o software disponíveis para elas, adiciona um outro nível de complexidade para o desenvolvimento do software. Em acréscimo, as tecnologias de entrada e saída de dados, tanto quanto o software e o hardware, estão mudando rapidamente. Frequentemente é desejável reutilizar alguns módulos de software, portanto, os projetistas não precisam começar do nada. Com aplicações de rede, os atrasos associados com o tempo de transmissão podem causar problemas na interação do sistema de ambiente virtual. Os altos recursos computacionais que são tipicamente exigidos sugerem o valor da computação paralela. Apesar da escrita do software para o processamento paralelo estar tornando-se mais comum, ainda é menos

familiar e mais desafiante para muitos projetistas que escrever para processamentos seriais. As simulações físicas requerem não apenas movimentos e interação do objeto (incluindo a detecção de colisão), mas também que as simulações sejam extremamente eficientes e não introduzam latências inaceitáveis. Zyda, et al. [STUA96] aponta que, enquanto uma grande atenção é dada aos equipamentos de entrada e saída de dados de um sistema de ambiente virtual, "é o software que é o hardware (a parte dura) ..." Eles dividem os requisitos de software em cinco categorias:

Software de interação;

Software de navegação;

Software de comunicação;

Software de independência e escrita;

Software de integração com hipermídia.

4.5.7 Modelagem de Ambientes Virtuais

Um modelo é sempre uma abstração da realidade, e um modelo computacional de sólidos é uma representação não-ambígua de objetos sólidos realizáveis em um mundo tridimensional [SILV97]. A modelagem de ambientes virtuais é de extrema importância num sistema de realidade virtual. As características dos objetos: forma geométrica, aparência, iluminação, comportamento, restrições e mapeamento de dispositivos de E/S devem ser definidas nela. A figura 4.4 mostra os diversos aspectos de modelagem de um sistema de realidade virtual [PINH98a]:

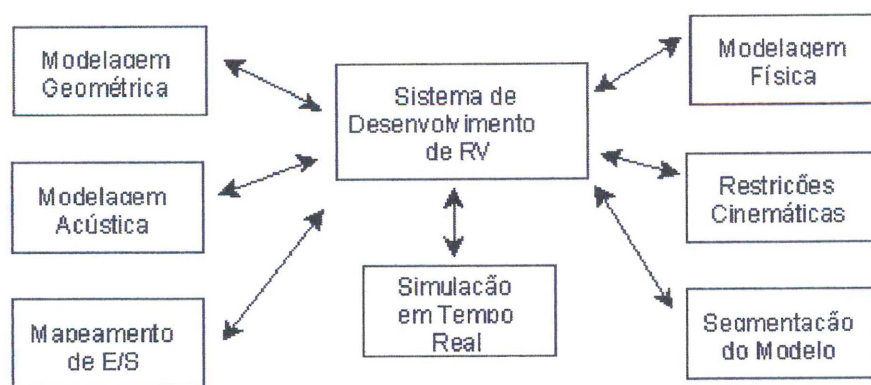


Figura 4.4 - Sistema de Desenvolvimento de Realidade Virtual

4.5.7.1 Modelagem Geométrica do Objeto

Na modelagem geométrica de um objeto são definidas a forma e a geometria. Alguns métodos procuram representar cuidadosamente os modelos conforme sua geometria no mundo real. Outros apenas representam formas simplificadas. A maioria dos sistemas de realidade virtual sacrifica detalhes e exatidões por causa da velocidade de renderização. O objeto mais simples é o ponto unidimensional. O próximo, é o vetor bidimensional. Alguns sistemas de CAD criam e trocam dados com vistas 2D. Existem alguns programas que podem reconstruir um modelo 3D através de um dado número de vistas 2D. A polilinha e o poliponto são os objetos 3D mais simples conhecidos. O poliponto é simplesmente uma coleção de pontos no espaço e a polilinha é um agrupamento de vetores que formam uma linha contínua. A forma mais comum de objetos usados em sistemas de realidade virtual é baseada em polígonos. Um polígono é uma figura limitada por segmentos de reta que têm, dois a dois, extremidades comuns, formando um contorno fechado [BUEN92]. Ele pode ser côncavo ou convexo, mas alguns sistemas requerem apenas polígonos convexos. O uso de quadriláteros e triângulos é mais comum que de outros polígonos. Isto pode simplificar o processo de renderização, visto que todas as superfícies possuem uma forma conhecida. Entretanto, pode também aumentar o número de superfícies que precisam ser renderizadas. Alguns sistemas

possuem somente objetos primitivos, como cubos, cones e esferas. Às vezes estes objetos podem ser deformados para produzirem outras formas interessantes. A aparência dos objetos está relacionada com a textura e as características de reflexão de sua superfície. A textura (imagem) pode ser usada para fornecer uma aparência geométrica complexa sem requerer cálculos geométricos extras. Ela pode ser obtida mapeando-se um padrão de textura bidimensional e aplicando sobre um objeto tridimensional. Este é um excelente método para aumentar aparentemente a complexidade da cena. A iluminação é uma parte muito importante de um ambiente virtual. Ela pode ser ambiente ou localizada. Esta tem posição e pode ter orientação, intensidade, cor e um cone de iluminação [ISDA98]. Quanto mais complexa for a origem da luz, maior será o processamento computacional exigido para simular seus efeitos nos objetos. Cameras ou pontos de vista (*Viewpoints*) podem ser descritos nos dados do ambiente virtual. Geralmente cada usuário tem apenas um ponto de vista (ou dois no caso de sistemas estereoscópicos). Entretanto, é comum definir cameras alternativas que mostrem um mapa esquemático do ambiente virtual e a localização do usuário neste.

4.5.7.2 Modelagem de Movimento

Um ambiente virtual constituído apenas de objetos imóveis é pouco interessante. Muitos pesquisadores e entusiastas da realidade virtual observaram que a interação é a chave para um mundo virtual bem-sucedido e interessante. É necessário definir quais as ações que os objetos tomam por sua conta e quando estes interagem com o usuário ou com outros objetos. Isto está definido na escrita da programação. Dividindo a escrita em três tipos básicos [ISDA98], tem-se: Escritas de movimento, escritas de gatilho e escritas de conexão.

A escrita de movimento ou modelagem comportamental modifica a posição, orientação ou outros atributos de um objeto, luzes e câmera baseado num sistema de sinal

(*tick*). Um sinal é equivalente a um quadro de uma animação visual. Para maior simplicidade e velocidade, apenas uma escrita de movimento deve ser ativada a cada instante. Ela é caracteristicamente poderosa, dependendo da complexidade que a permite tornar. Adicionalmente, ela pode ser usada para prender ou soltar um objeto dentro de uma hierarquia. Um simples método de animação é o de usar fórmulas simplificadas para o movimento de objetos. Um exemplo simples pode ser "rodar sobre o eixo Z uma vez a cada 4 segundos". Isto pode ser representado como "rodar sobre Z 10 radianos a cada quadro". As escritas de gatilho são disparadas quando algum evento, como colisão, proximidade ou seleção, ocorrer. Para a detecção de colisão de objetos móveis com outros objetos móveis ou estáticos há diversos métodos. Para que a colisão seja detectada em tempo real procuram-se processos eficientes. O envolvimento dos objetos, irregulares ou não, por sólidos simples, como esferas ou paralelepípedos, é uma solução normalmente adotada. Com isso, faz-se uma análise de interferência ou sobreposição. Se não houver nenhuma sobreposição, não haverá colisão. Como resultado, poderá ocorrer deformação nos corpos envolvidos, repulsão ou simplesmente uma explosão.

As escritas de conexão controlam a interligação entre os dispositivos de entrada e saída para vários objetos. Por exemplo ela pode ser usada para conectar uma luva em uma mão virtual. Alguns sistemas constroem estas funções diretamente no programa. Outros, são projetados para que o programa de realidade virtual seja quase inteiramente uma escrita de conexão.

4.5.7.3 Modelagem Física

Para obter-se um aspecto real nos mundos virtuais, é necessário que os objetos se comportem de forma mais realista possível. Eles devem mover-se de acordo com o esperado,

e, também, os sólidos não podem passar um pelo outro. Por esse motivo os objetos virtuais também devem ser modelados com base no comportamento físico. Massa, peso, atrito, inércia, textura (lisas ou ásperas), deformações (elásticas ou plásticas), temperatura etc. são especificações que devem estar contidas neles. Com estas características, associadas à modelagem geométrica e às leis de comportamento, o objeto virtual tem uma modelagem computacional próxima da realidade.

4.5.7.4 Segmentação

A segmentação é baseada na divisão do mundo global em mundos menores. Simplificando a visão do usuário o esforço computacional é reduzido. Um modelo complexo é caro e difícil de ser mostrado. Reduzindo-se o nível de detalhamento de um objeto quando este está a uma certa distância ou reduzindo-se o limite de visibilidade pode-se ter um sistema mais econômico. No exemplo de uma casa com diversas salas, pode-se considerar a casa como o mundo complexo e cada sala como um mundo menor. Embora o mundo global seja complexo, o usuário tem apenas uma visão do mais simples. O uso de janelas com diferentes tamanhos também é uma artifício que reduz o processamento [PINH98a].

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTAÇÃO DE AMBIENTES VIRTUAIS

5.1 Programação

Basicamente, um programa de criação de ambientes virtuais pode se dividir em 4 partes [ISDA98]: um processador de entrada, um processador de simulação, um processador de renderização e os dados do mundo. Em todas essas partes deve-se considerar o tempo necessário de processamento. Qualquer atraso pode depreciar a sensação de realidade da simulação. Algumas empresas e universidades produziram sistemas de desenvolvimento de realidade virtual, conhecidos como *VR Toolkits* [PINH98a]. Esses sistemas são bibliotecas ampliáveis de funções orientadas a objeto, geralmente para C e C++, voltadas para especificações de realidade virtual. Isto pode simplificar a tarefa do usuário de programar mundos complexos. Além disso esses sistemas costumam ser independentes de hardware, suportam conexões em rede, importam mundos virtuais de outros softwares como o AutoCAD, possuem drivers de comunicação com dispositivos convencionais de entrada e saída de dados, suportam alguma forma de iluminação, textura etc.

Os ambientes virtuais podem ser desenvolvidos mediante o uso de editores específicos ou através de programação direta, com o uso de uma linguagem que permite sua criação e manipulação. A linguagem VRML foi a escolhida para ser um padrão mundial de criação de mundos virtuais [VRML98].

5.2 Editores de Ambientes Virtuais

Existe atualmente um grande número de editores de mundos virtuais. Cada um deles possui uma vantagem diferente. Grandes e pequenos laboratórios universitários possuem

projetos. *ARPA*, *NIST National Science Foundation* e outros ramos do governo dos Estados Unidos estão investindo pesadamente em ambientes virtuais e em outras tecnologias de simulação. Alguns editores comerciais para mundos virtuais já se encontram no mercado (fig. 5.1) [MACM98]:

Software	Fabricante	Característica
3D Builder	3D Construction Company	Mostra como construir modelos 3D a partir de fotografias
TriSpectives	3D/EYE	Completo programa de desenho 3D para Windows 95. Possui mais de 1000 modelos. Pode ser usado para animações.
Photoshop 3.0.5	Adobe	Possui uma grande quantidade de ferramentas de pintura, filtros de efeitos especiais e efeitos de luz.
form-Z RenderZone	auto-des-sys, inc.	É uma poderosa ferramenta de desenho para arquitetos, urbanistas, engenheiros, animadores e ilustradores.
SoftF/X 2.5	Byte by Byte Corporation	Para Windows, Windows NT e Windows 95. Oferece modelagem totalmente destacada, mapeamento de texturas, renderização e uma poderosa animação.
trueSpace2 v2.01a	Caligari Corp.	Ideal para produtores de multimídia, construtores de jogos e animadores.
Bones Pro v1.5	Digimation, Inc.	Constrói eixos flexíveis formando um esqueleto para o objeto. É possível dobrar os ossos e ver o objeto dobrar.
LenZFX 2	Digimation, Inc.	Perfeito para aeronaves e luzes do tipo neon. Produz luzes incandescentes em torno do objeto.
Sand Blaster	Digimation, Inc.	Representa a mais recente tecnologia baseada em PC, particularmente em sistemas 3D.
PhotoModeler LX	Eos Systems Inc.	É um programa para Windows que ajuda a extrair dados 3D, modelos 3D e medidas 3D a partir de fotografias.
Painter 4.0	Fractal Design Corp.	Trouxe muitas novidades para o mercado gráfico, como a animação quadro a quadro, luz e textura sintética.
NuGraf Rendering System	Okino Computer Graphics, Inc.	É uma visualização interativa e um programa de tradução de dados 3D para Microsoft® Windows™ 3.1, 95 e NT.
Polytrans	Okino Computer Graphics, Inc.	É um poderoso tradutor de modelos 3D e uma ferramenta de visualização que permite dados de modelos 3D arbitrários serem importados de origens externas, manipulados e exportados.
Model3DD	Richardson Systems	Inclui todas as ferramentas necessárias para uma interação em tempo real num computador de mesa.
Vistapro 1.0 for DOS	Virtual Reality Laboratories, Inc.	Para criação e animação de paisagens artificiais ou reais.
Vistapro 3.0	Virtual Reality Laboratories, Inc.	Poderosa ferramenta artística para criação de paisagens. Baseada na aquisição de dados reais.
Amapi 2.11	Yonowat S.A.	Facilita a criação e edição de formas geométricas complexas.

Fig. 5.1 Editores de Ambientes Virtuais

Algumas ferramentas de compartilhamento 3D também estão disponíveis como:

- Blob Sculptor for Windows 1.0;
- Paint Shop Pro 3.12;
- bCAD;
- Breeze Designer 2.05;
- WCVT2POV V2.7 3b;
- Landscape Maker 2.1;
- LACE-3D;
- Silly Space v1.0a;

Márcio S. Pinho [PINH98a] apresenta alguns softwares disponíveis no mercado, com seu custo aproximado (tab. 5.1):

Produto	Empresa	Plataforma	Custo	Comentários
CDK2	Autodesk	DOS/Windows	médio	suporta capacete, textura, interação, rede, múltiplos usuários
dVS/DVISE	Division	SGI, Windows	médio/alto	toolkit 3D, textura, colaborativo, variedade de hardware, múltiplos usuários
WorldToolKit WTK	Sense8	SGI, Sun, HP, DEC, Windows	médio/alto	biblioteca C, textura, variedade de hardware, usuário
Superscape VRT	Superscape	DOS	médio	suporta capacete, joysticks, textura, múltiplos usuários
MindRender (APD)	Theme Kit Ltd	DOS	baixo	suporta capacete VFX1, luvas, etc.
VREAM	VREAM	DOS	baixo	suporta capacete, joystick, textura, rede, múltiplos usuários
2 Morrow Tools	2 Morrow	DOS	baixo	suporta CMAX, CMAX joysticks
PhotoVR	Straylight Corp	DOS	médio	suporta capacete, textura, usuário
Genesis	Virtual Presence Ltd	DOS, Windows, estações UNIX	médio	suporta capacete, textura, usuário
V-PC/V-Space	Virtuality Groups	Windows	médio	suporta capacete, textura, imersão, rede, múltiplos usuários
Virtus Walkthrough	Virtus Corp.	Windows, Mac	baixo	textura, projeto direto de virtual, único usuário
GVS	Gemini Tech Corp.	estações UNIX	alto	suporta capacete, textura, interação, rede, múltiplos usuários
3D Interaction Accelerator	IBM Corp.	estações UNIX	alto	suporta capacete, textura, único usuário
Veja VR	Paradigm Simulation Inc.	SGI	alto	suporta capacete, textura, múltiplos usuários
Performer	Silicon Graphics Inc.	SGI	médio	textura, simulação, múltiplos usuários

Legenda de custos: baixo: até \$1000; médio: de \$1000 a \$5000; alto: acima de \$5000

Tab. 5.1 Tabela de Software para Desenvolvimento de Aplicações de Ambientes Virtuais.

5.3 A linguagem VRML

VRML vem de *Virtual Reality Modeling Language*; ou seja, linguagem para modelagem da realidade virtual [VRML98]. É a abertura padrão para realidades virtuais na Internet. VRML é uma linguagem para descrever simulações interativas de multi-participantes [BELL98]. Arquivos VRML definem mundos que podem ser representados na geração de imagens 3D, som 3D e ligações hipermídia. VRML é uma técnica de compressão para modelos complexos, baseada no código ASCII [FLOH98]. Foi criada com a intenção de ser um formato de intercâmbio universal para imagens integradas e multimídia [VRML98].

5.4 História da VRML

A VRML teve sua origem na primavera de 1994, durante a primeira conferência anual de WWW, na Suíça, quando Tim Berners-Lee falou sobre a necessidade de um padrão 3D na Web. Ela foi projetada para descrever simulações interativas com vários participantes, essencialmente transmitida pela rede global (Internet), neste caso pela WWW. A sigla originalmente significava *Virtual Reality Markup Language* inspirada em HTML. Posteriormente, o nome foi mudado para *Virtual Reality Modeling Language*, para refletir a natureza gráfica da VRML. Ela não foi criada para ser uma extensão de HTML, mas sim completamente independente. Ao final daquela conferência foi criada uma lista de discussão eletrônica WWW-VRML moderada por Mark Pesce, com o objetivo de definir a nova linguagem. O trabalho iniciou na busca de uma linguagem que já existisse e que pudesse ser adaptada aos seguintes objetivos:

- Ser independente de plataforma;
- Ser extensível;
- Trabalhar bem em redes de pouca velocidade (modem de 14400 bps).

Ao final da discussão, o consenso foi que a linguagem *Open Inventor*, da *Silicon Graphics*, era a melhor alternativa. Rikk Carey, Paul Strauss e Gavin Bell da SGI (*Silicon Graphics, Inc.*) foram os principais engenheiros responsáveis pela adaptação da linguagem. Organizada por Gavin Bell, Mark Pesce e Anthony Parisi (*Intervista Software*) a versão final da especificação de VRML ficou pronta em maio de 1995. Uma pequena extensão, chamada VRML 1.1, nunca chegou a ser lançada. Logo em seguida, surge a especificação VRML 2.0, mais poderosa e com mais recursos. Em março de 1996, a comunidade VRML votou em seis propostas para o VRML 2.0. O conceito vencedor, chamado *Moving Words*, foi apresentado pela SGI com a contribuição de outras companhias. Em junho de 1996, Rikk Carey foi ao Japão para iniciar um processo com o intuito de tornar a VRML um padrão ISO. A norma ISO/IEC 14772 (ISO - *International Organization for Standardization*, IEC - *International Electrotechnical Commission*) Virtual Reality Modeling Language (VRML), define o formato de arquivo que integra imagens 3D e multimídia. Conceitualmente, cada arquivo VRML é um espaço 3D, baseado no tempo, que contém gráficos e objetos possíveis de serem modificados dinamicamente através de uma variedade de mecanismos [BELL98] [MARR97] [PUCS98a] [CRISP98] [GRIF98] [VRML98].

5.5 VRML 1.0

A especificação inicial do VRML (1.0) possui comportamento interativo limitado. Ela permite a criação e a observação de mundos estáticos. A razão principal para isto, é o desenvolvimento inicial acelerado. Uma outra linguagem, *Choreographers Visualization Meta Language* (CVML), foi sugerida com a intenção de manusear a edição de movimento, tempo etc [GRIF98]. Num elevado nível de abstração, VRML é apenas um modo de descrever os objetos. Teoricamente, os objetos podem conter qualquer coisa - geometria 3D,

dados de MIDI, imagens JPEG etc. A linguagem define uma série de objetos úteis para construir imagens 3D. Estes objetos são chamados de *nós* (*Nodes*). Os nós são arranjados numa estrutura hierárquica conhecidas como *cenas gráficas*. Estas são mais do que uma coleção de nós, elas definem um encargo para eles. Um programa desenvolvido em VRML 1.0 deve iniciar com os caracteres:

```
#VRML V1.0 ascii
```

Qualquer caracter após estes, na mesma linha, serão ignorados. O caracter "#" inicia um comentário. Outros caracteres, até o início da próxima linha, não serão considerados. Toda a especificação de objetos, atributos ou transformações, é colocada dentro de blocos que são definidos pela expressão *Separator*. VRML é *case-sensitive*, ou seja, diferencia maiúsculas de minúsculas. O arquivo gerado deve possuir a extensão *.wrl* [BELL98] [PUCS98a].

5.6 VRML 2.0

A grande meta da nova versão VRML (2.0) é proporcionar uma maior interação do usuário, dando-lhe também uma riqueza na qualidade de imagens e sons. As novidades em relação à versão anterior são [MARR97]:

- *Realce dos mundos estáticos*. Permite a criação de um firmamento, adição de nuvens e montanhas distantes, neblina, terrenos irregulares e a colocação de sons espaciais 3D.

- *Interação*. O usuário pode interagir diretamente com objetos e criaturas que encontrar. Sensores ativam rotinas quando ele movimenta-se em certas áreas ou dá um clique em certos objetos do mundo. É possível arrastar objetos e controlá-los de um lugar para outro. Um outro tipo de sensor controla o tempo, que serve de base para alarmes ou animações repetitivas.

- *Animação*. VRML 2.0 inclui uma variedade de objetos de animação, chamados *Interpolators*. Com eles é possível criar objetos com movimentos, tais como pássaros, robôs, portas que se abrem, objetos que mudam de cor (como o sol) e objetos que mudam sua geometria de uma forma para outra. É possível também definir passeios em caminhos pré-selecionados.

- *Escrita*. Permite não somente animar criaturas no mundo, mas dar-lhes também uma aparência inteligente.

- *Prototipação*. Torna possível a criação de uma nova geometria para ser usada posteriormente em qualquer programa.

5.6.1 Mudanças em relação a VRML 1.0

Tomando-se como referência a versão 1.0, alguns tipos de nós foram acrescentados, modificados e retirados na nova versão [MARR97]. Novos tipos de nós estão relacionados por categorias:

- Nós de agrupamento: *Colision* e *Transform*;
- Informação de Browser: *Background*, *NavigationInfo*, *Viewpoint* e *WorldInfo*;
- Luz e iluminação: *Fog*;
- Som: *Sound*;
- Formas: *Shapes*;
- Geometria: *ElevationGrid*, *Extrusion*, *Text*;
- Propriedades geométricas: *Color*;
- Aparência: *Appearance*;
- Sensores: *ProximitySensor*, *TouchSensor*, *CylinderSensor*, *PlaneSensor*, *SphereSensor*, *VisibilitySensor* e *TimeSensor*;

- Escrita: *Script*;
- Nós de interpolação: *ColorInterpolator*, *CoordinateInterpolator*,

NormalInterpolator, *OrientationInterpolator*, *PositionInterpolator*, *ScalarInterpolator*;

Na versão 2.0 quase todos os nós mudaram, de uma forma ou de outra. Nesta nova versão todos podem enviar ou receber eventos simples. Em particular, o nó *Separator* foi substituído pelo nó *Transform*. Os seguintes nós foram eliminados: *AsciiText*, *Info*, *OrthographicCamera*, *PerspectiveCamera*, *Separator* e os nós de transformação que foram incluídos no novo nó *Transform* [MARR97a].

5.6.2 Conceitos Básicos

Os conceitos básicos estão descritos na ISO/IEC 14772. Esta norma inclui como os nós são combinados nas cenas gráficas, como os nós recebem e geram eventos, como criar tipos de nós usando protótipos, como adicionar tipos de nós ao VRML e exportá-los para o uso de outros, como incorporar escritas num arquivo VRML e vários outros tópicos sobre os nós. As seguintes convenções são usadas pela norma ISO/IEC 14772:

- Caracteres *itálicos* são usados para eventos e nomes de campo;
- Uma fonte do tipo *fixed-space* é usada para endereços URL e exemplos de códigos;
- A forma "0xhh" expressa um byte como um número hexadecimal representando a configuração de um bit para aquele byte.

5.6.3 Unidades Padronizadas e Sistema de Coordenadas

A norma ISO/IEC 14772 define que a unidade de medida do sistema de coordenadas do mundo deve ser metros. Todos os outros sistemas de coordenadas são construídos por

transformações baseadas no sistema de coordenadas do mundo. A tabela 5.2 mostra as unidades padronizadas pela ISO/IEC 14772 [VRML98]:

Categoria	Unidade
Distância Linear	Metros
Ângulos	Radianos
Tempo	Segundos
Cores	RGB ([0.,1.] [0.,1.] [0.,1.])

Tabela 5.2 Unidades Padronizadas.

A norma ISO/IEC 14772 usa o sistema de coordenadas Cartesianas, tridimensional, direito. Inicialmente o observador está no eixo "Z" olhando em direção a origem do eixo "X", que é positivo para a direita, e a origem do eixo "Y", que é positivo para cima.

5.6.4 A estrutura de um arquivo VRML

Um arquivo VRML consiste dos seguintes componentes funcionais: o cabeçalho; a cena gráfica; os protótipos e as rotinas de eventos. Os conteúdos desse arquivo são processados para a apresentação e interação por um programa conhecido por *browser* [BROW98] [VRML98].

5.6.4.1 Cabeçalho

Para uma identificação fácil, todo arquivo VRML deverá começar com:

```
#VRML V2.0 <tipo de codificação> [comentário opcional]
```

O cabeçalho é uma linha do texto UTF-8 identificando o arquivo como VRML e o tipo de codificação do arquivo. Pode conter também alguma identificação adicional. Deverá existir exatamente um espaço entre #VRML e V2.0 e outro deste até <tipo de

codificação>. O <tipo de codificação> é também "utf8" ou outros valores autorizados definidos em outras partes da ISO/IEC 14772. O cabeçalho para um arquivo VRML codificado com UTF-8 será:

```
#VRML V2.0 utf8 [comentário opcional]
```

Qualquer caracter depois do <tipo de codificação> será ignorado pelo browser.

5.6.4.2 Cena gráfica

Uma cena gráfica está para a VRML assim como um bitmap está para um gráfico 2D [MARR97]. Ela contém os nós que descrevem objetos e suas propriedades. A cena gráfica possui, agrupada hierarquicamente, a geometria para prover uma representação audiovisual dos objetos, bem como os nós que participam na geração de eventos e nos mecanismos de rotina. Quando renderizados, esses objetos existem num espaço 3D. Eles possuem largura, altura e profundidade. Os objetos mais simples são conhecidos como objetos primitivos porque podem ser descritos em termos simplificados. Os objetos primitivos disponíveis em VRML são: caixa (Box); cone (Cone); cilindro (Cylinder) e esfera (Sphere).

5.6.4.3 Protótipos

Os protótipos permitem que grupos de nós possam ser estendidos pelo usuário. As definições relativas a estes nós podem ser incluídas num arquivo, o qual é usado ou definido externamente. Estes grupos de nós podem ser definidos em termos de outros nós VRML ou usando um browser específico com um mecanismo de extensão.

5.6.4.4 Rotina de eventos

Alguns nós geram eventos em resposta às mudanças do ambiente ou à interação com o usuário. Uma vez gerados, os eventos são enviados para os seus destinos na hora certa e processados pelos nós receptores. Este processo pode mudar o estado do nó, gerar eventos adicionais ou mudar a estrutura da cena gráfica. O modelo ideal de evento se processa instantaneamente quando é gerado.

5.6.5 Nós e Campos

Um nó (*node*) em VRML é uma peça que implementa alguma funcionalidade. O nome dos nós indica sua função básica (*Transform*, *Cone* e assim por diante). Cada nó contém uma lista de campos (*fields*), a qual suporta valores que definem parâmetros às suas funções. Um campo de um nó *Cone* define sua altura e seu raio de base. Estes dois valores são suficientes para definir completamente um cone. Um nó *Transform*, por outro lado, não é possível de renderização: ele é um nó de grupo. A definição de um nó do tipo *Cone* é a seguinte:

```
Cone {
    field      SFFloat    bottomRadius    1
    field      SFFloat    height           2
    field      SFBool     side              TRUE
    field      SFBool     bottom            TRUE
}
```

A descrição mostra o nome do nó, os nomes dos campos e os valores em negrito. Eles estão desta forma porque podem ser escritos num arquivo do tipo VRML. A palavra *field* (campo) é a classe específica e a palavra *SFFloat* é chamada tipo específico do *bottomRadius* (raio da base). Nesse caso, o valor está na classe de campo e pertence ao tipo de dado *SFFloat*. Este é um número do tipo ponto flutuante e, para o nó *Cone*, define o

valor do raio de base do cone. O último número da linha é o valor de origem. Todo campo em VRML tem um valor de origem.

5.6.6 Formas e Geometrias

Construir um arquivo VRML com apenas o nó `Cone` não resulta em nada. O `Cone` especifica apenas a geometria (forma) de um objeto, não a sua aparência (cor). O nó `Appearance` serve para definir sua cor. A geometria e a aparência juntas são suficientes para criar um objeto VRML. A associação desses dois requisitos é feita pelo nó `Shape` [VRML98] [MARR97]. Sua definição é a seguinte:

```
Shape      {
    exposedField  SFNode    appearance  NULL
    exposedField  SFNode    geometry    NULL
}
```

Então, a forma mais simples possível de uma cena VRML deve ser:

```
Shape {
    geometry Cone { }
}
```

A figura 5.2 mostra como esta cena aparece.



Fig. 5.2 Um mundo VRML simples.

O nó `Shape` contém exatamente um nó geométrico no seu campo `geometry`. Os seguintes nós são de geometria [VRML98]:

- `Box;`
- `Cone;`
- `Cylinder;`
- `ElevationGrid;`
- `Extrusion;`
- `IndexedFaceSet;`
- `IndexedLineSet;`
- `Sphere;`
- `Text.`

5.6.7 Material e Aparência

Um cone como o da fig. 5.2 não é muito interessante porque é puramente branco e sem nenhuma iluminação. Sua curvatura não é aparente. Uma das grandes vantagens da VRML é sua capacidade natural de sombrear objetos para que possuam profundidade e dimensão. O nó `Appearance` contém toda informação visual de um objeto. Sua definição é a seguinte:

```
Appearance {
    exposedField SFNode    material      NULL
    exposedField SFNode    texture       NULL
    exposedField SFNode    textureTransform  NULL
}
```

O campo `material` suporta o nó `Material`. Este contém toda informação sobre as cores do objeto. Os campos `texture` e `textureTransform` contém as informações sobre

imagens, que podem ser coladas em torno do objeto, para criar efeitos interessantes. A definição do nó `Material` é a seguinte:

```
Material {
    exposedField SFFloat    ambientIntensity    0.2
    exposedField SFColor    diffuseColor        0.8 0.8 0.8
    exposedField SFColor    emissiveColor       0 0 0
    exposedField SFFloat    shininess           0.2
    exposedField SFColor    specularColor       0 0 0
    exposedField SFFloat    transparency        0
}
```

Então, para criar um cone vermelho (RGB 1 0 0) é necessário a definição seguinte:

```
Shape {
    appearance Appearance {
        material Material {
            diffuseColor 1 0 0
        }
    }
    geometry Cone { }
```

A figura 5.3 mostra como este cone se apresenta no browser CosmoPlayer.

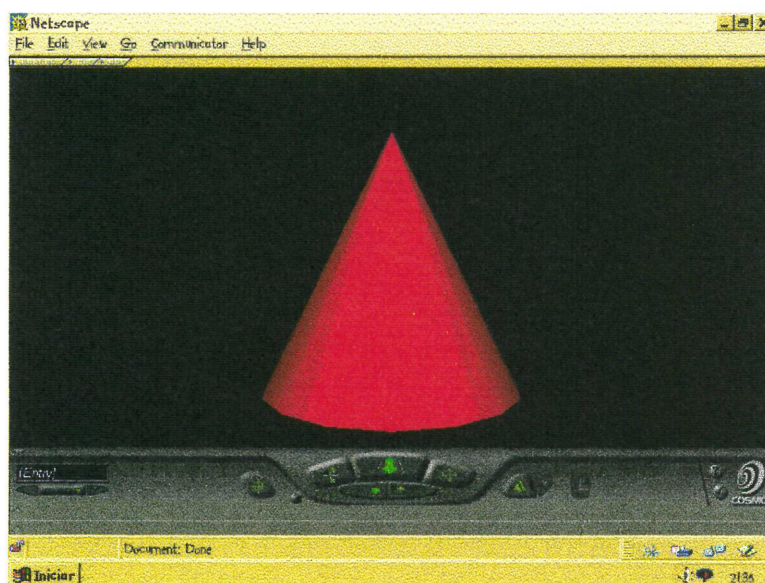


Fig. 5.3 Cone com cor vermelha.

5.6.8 Transformação e Hierarquia

Por definição, uma forma em VRML é colocada com seu centro nas coordenadas 0 0 0 do sistema de coordenadas do mundo. Para movê-la até outra localização, é usado o nó Transform. Esta é a sua definição:

```

Transform {
    eventIn      MFNode      addChilden
    eventIn      MFNode      removeChildren
    exposedField SFVec3f      center      0 0 0
    exposedField MFNode      children     []
    exposedField SFRotation    rotation   0 0 1 0
    exposedField SFVec3f      scale      1 1 1
    exposedField SFRotation    scaleOrientation 0 0 1 0
    exposedField SFVec3f      translation 0 0 0
    field        SFVec3f      bboxCenter  0 0 0
    field        SFVec3f      bboxSize    -1 -1 -1
}

```

O nó Transform tem um campo children que pode suportar um nó Shape. Os campos que controlam as transformações (posição, tamanho e orientação) são: center; rotation; scale, scaleOrientation e translation. A figura 5.4 mostra alguns cones deslocados de sua posição inicial e com tamanhos diferentes do modelo inicial.

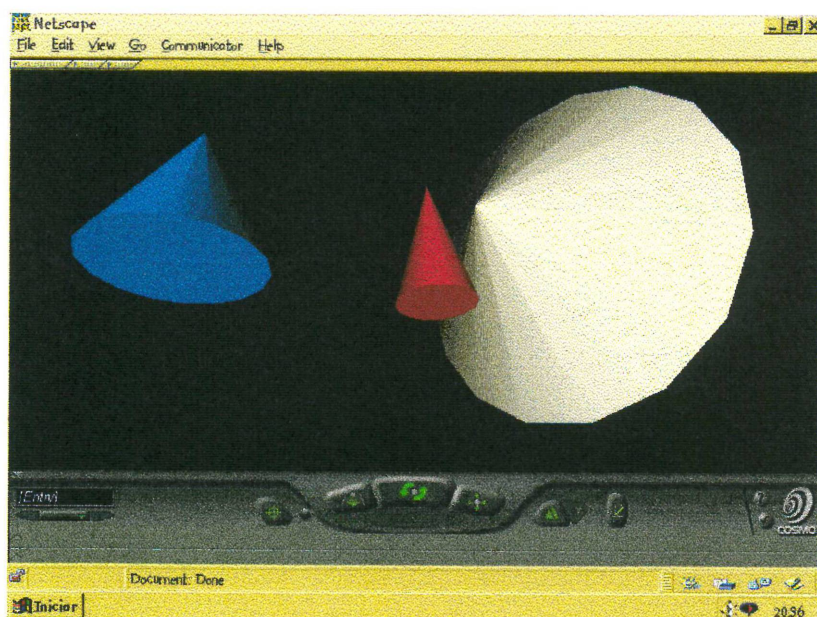


Fig. 5.4 Cones

Os nós colocados abaixo de outros seguem a regra hierárquica; ou seja, dependem das transformações superiores. O nó `Transform` suporta múltiplos `children`, que podem ser também outros nós `Transform`. A composição é o mais importante conceito das transformações hierárquicas. O corpo humano fornece um exemplo excelente de composição. Quando se move a mão, automaticamente movimentam-se os dedos. Ao movimentar o braço, movimentam-se o antebraço, a mão, os dedos e assim por diante. Pode-se pensar que os dedos são `children` da mão, que é `child` do antebraço, que é `child` do braço. Desta forma, o corpo se torna uma grande cena gráfica.

5.6.9 Construção de Objetos Complexos

A complexidade da construção é definida pelo programador. A linguagem VRML permite construir formas a partir de pontos, linhas, geometrias básicas, extrusão e grades elevadas. Estas formas podem ser combinadas entre si. A colagem de texturas nas formas é um artifício permitido que enriquece muito a cena. O uso do nó `Fog`, ou neblina, pode simular uma situação de névoa ou diminuir o campo de visão do usuário, para que ele não veja todo o cenário. O som espacial (tridimensional) e as luzes direcionais tornam um mundo virtual muito semelhante ao real. É possível usar ruídos de um motor, do vento, de um grilo, e até mesmo de um avião passando pela cena. Um desenho animado em que o usuário pode passear pela cena está disponível na Internet (fig. 5.5) [COSM98A], construído em VRML. Uma cena complexa pode possuir dezenas de linhas de programação. A figura 5.6 mostra o ambiente virtual, que faz parte do projeto *Templo do saber*, descrito no capítulo 6.

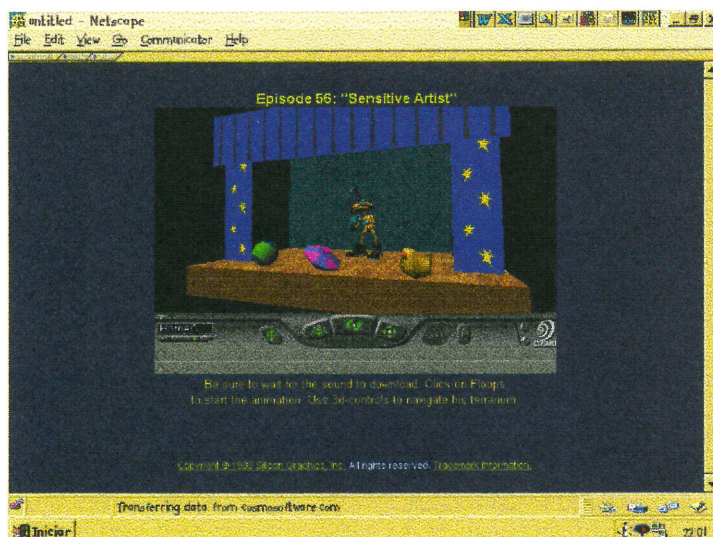


Fig. 5.5 Cena do desenho animado FLOOPS

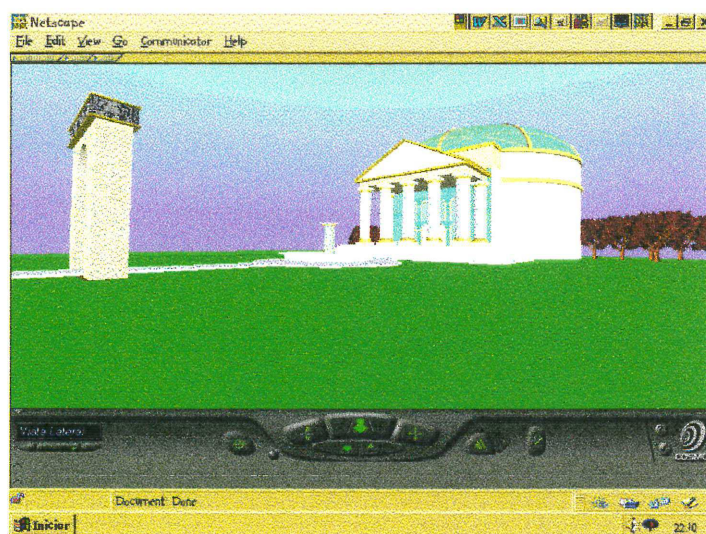


Fig. 5.6 Vista lateral do "Templo do Saber"











5.7 Geração de arquivos VRML

Um gerador é um criador, humano ou computadorizado, de arquivos VRML. Ele é responsável pela garantia de geração correta do arquivo VRML e da viabilidade dos artigos de suporte (imagens, audioclips, outros arquivos VRML etc.). A geração computadorizada é feita por programas específicos como o *Pioneer 2.0* da *Caligari Corp.* [MACM98], *CrossWorld*

3D da *T & S Technology Co.* [SAND98] e o *HomeSpace Designer 2.5* da Cosmo® [COSM98]. Algumas aplicações práticas de geradores automáticos incluem a criação de formas fractais, moléculas e gráficos 3D.

5.8 Apresentação e Interação

A interpretação, execução e apresentação de um arquivo VRML são tipicamente empreendidas por um mecanismo conhecido como *browser* (tab. 5.3) [BROW98] [MACM98] [BELL98] [VRML98], o qual mostra as formas e sons da cena gráfica. Esta apresentação é conhecida como um *mundo virtual* e é navegada no browser por um humano ou uma entidade mecânica, conhecida como *usuário*. O *browser* produz paradigmas de navegação, como andar ou flutuar, que permite ao usuário mover-se através do mundo virtual. Em adição à navegação, o *browser* possui um mecanismo que permite ao usuário interagir com o mundo através de nós sensoriais dentro da cena gráfica. A fig. 5.7 ilustra um modelo conceitual de um *browser* para VRML [VRML98]. Os três principais componentes de um *browser* são: *Analizador* (Parser); *Cena Gráfica* (Scene Graph) e *Apresentação AudioVisual* (Audio/Visual Presentation). O Analizador lê o arquivo VRML e cria a Cena Gráfica. O componente Cena Gráfica consiste na *Hierarquia de Transformações* (Transformation Hierarchy) (os nós) e na *Direção Gráfica* (Route Graph). Ela também inclui o *Motor de Execução* (Execution Engine) que processa os eventos, lê e edita a Direção Gráfica, e faz mudanças na Hierarquia de Transformações (nós). A entrada de dados do usuário geralmente afeta a navegação e os sensores. Ela está conectada ao componente Cena Gráfica (sensores) e à Apresentação AudioVisual (navegação). Esta desempenha a renderização gráfica e de áudio da Hierarquia de Transformações, que realimenta o usuário.

Browser	Fabricante	Plataforma	Logotipo
CosmoPlayer	Silicon Graphics	IRIX 5.3 e 6.2, Windows95 e WindowsNT.	
CyberHub	Black Sun	Netscape.	
i3d2.0	CERN	SGI sobre IRIX 5.2 ou superior.	
Live3D	Netscape	Macintosh PowerPC, Windows 3.1, Windows95 e WindowsNT.	
OZVirtual	OZ Interactive	Windows95 e WindowsNT 4.0.	
Vrealm	Ligos Technology	Windows95, WindowsNT.	
VRScout 1.2	Chaco Communications	Windows3.x, Windows95, WindowsNT.	
Vrweb	G. Orasche e M. Pichler	Windows (3.x, 95, NT), SGI, Solaris, SunOS, OSF, Ultrix, HP-UX, AIX e Linux.	
WebOOGL 2.0	The Geometry Center	SGI ou Sun workstations.	
Webview	San Diego Super Computer Center	SGI/UNIX systems.	
Worldview	Intervista	Windows95 e WindowsNT.	

Tab. 5.3 Browsers para VRML

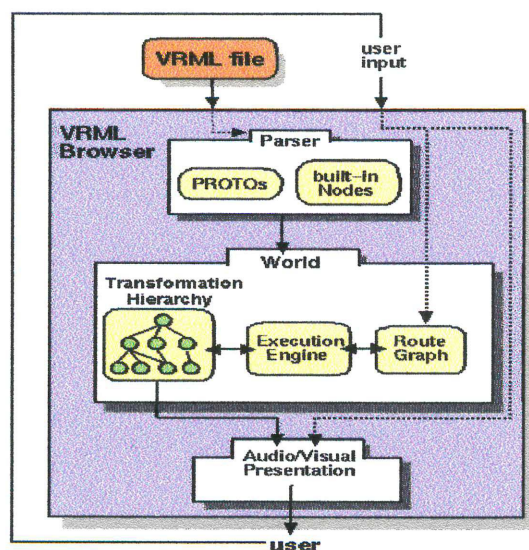


Fig. 5.7 Modelo conceitual de um navegador de VRML

5.9 Utilização da VRML

VRML é útil para uma variedade de aplicações, tais como: Visualização de dados; análise financeira; entretenimento; educação; simulações; projeto auxiliado por computador (CAD); marketing; shopping virtual; visualização científica :

- Visualização de dados transforma números num mundo 3D VRML. Ela pega um arquivo complexo de dados com muitas informações numéricas e o transforma num ambiente tridimensional, o qual pode ter uma dimensão temporal. Mesmo características interativas e sons podem representar informações.

- Análise financeira pode usar a visualização de dados para mostrar dados financeiros como reservas de capital ou contas financeiras incorporadas. Anomalias e oportunidades podem ser detectadas por áreas coloridas expressivamente num grupo de dados.

- Entretenimento é um campo em potencial para o emprego da VRML, desde que VRML permite uma interatividade em filmes 3D. Com a VRML é possível uma geração dinâmica dos ângulos de câmera, produzindo vários cenários alternativos.

- Educação em VRML pode dar às pessoas a chance de aprender alguma coisa de um modo novo ou aprender um trabalho real, num ambiente virtual, sem correr o risco de se ferir numa máquina.

- Simulações podem envolver vários usuários em mundos criados por VRML entre várias estações de trabalho para simular exercícios militares ou mesmo cursos industriais.

- Projeto auxiliado por computador (CAD) é uma área onde desenhistas podem colaborar no projeto de partes de um produto industrial ou de um objeto 3D qualquer num espaço 3D compartilhado.

- *Marketing* de produtos freqüentemente tenta alcançar compradores de um certo nível. VRML é uma grande meio de fazer isto, como nas aplicações em entretenimento.

- As pessoas podem fazer compras num shopping virtual construído em VRML.
- Na visualização científica, pesquisadores ou estudantes podem observar uma proteína em 3D pairando no espaço e dar um clique sobre partes para aprender suas funções através dos *hiperlinks*. De fato a *Aereal Inc.* está trabalhando nisto para o Banco de Informações Genéticas do Instituto de Ciências Física e Química do Japão.

5.10 Endereços na Internet

A cada dia que passa, muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos em VRML e colocados a disposição na internet. Cidades virtuais, jogos, bares, lojas, expedições, desenhos, estruturas químicas, objetos 3D matemáticos, moléculas, robôs e até mesmo origamis se encontram disponíveis para visualização e interação. Alguns sites estão relacionados na tabela 5.4 [HITL98] [PLAN98] [COSM98b].

Endereço	Título
http://ws05.pc.chemie.th-darmstadt.de/vrml/	VRML em química
http://www.geom.umn.edu:80/software/weboogl/zoo/	Objetos matemáticos em 3D
http://193.49.43.4/dif/xtal-3d.super.html	Estrutura molecular de um supercondutor
http://overlord.nrl.navy.mil/vrml/vrml.html	Moléculas
http://www.planet9.com/earth/sf/archhistory/index.htm	São Francisco Virtual
http://www.planet9.com/earth/tokyo/index.htm	Tóquio virtual
http://www.planet9.com/worlds/MIR/windex.htm	Estação espacial MIR virtual
http://www.planet9.com/earth/planet9.htm	Planeta terra virtual
http://cosmosoftware.com/galleries/floops/	Floops - desenho animado
http://www.modernhomes.com/VRML/fastspruce/fastspruce.wrl	Casa virtual
http://www.atom.co.jp/vrml2/gears/mesh.wrl	Engrenagens virtuais
http://www-VRL.engin.umich.edu/%7Eeise/Robot/Mitsubishi/robot.wrl	Robô virtual
http://www.nist.gov/itl/div894/ovrt/projects/vrml/VRML2/PCAR.wrl	Robô soldador de carros
http://www-galerkin.stanford.edu/%7Ecsh/research/animation/html/	Demonstração do funcionamento de uma cadeira de rodas
http://vrml.fornax.hu/train/	Trem virtual
http://www.wolfenet.com/%7Eyoame/raven/	Por que morremos?

Tab. 5.4 Sites de VRML disponíveis na internet.

CAPÍTULO 6

Projeto "Templo do Saber"

6.1 Descrição

O projeto "Templo do Saber" é uma aula virtual interativa de Resistência dos Materiais, via Internet, que possibilita aos alunos participarem utilizando-se de ambientes virtuais como auxílio à sua aprendizagem. Este projeto foi desenvolvido usando-se as linguagens VRML [MARR97] e HTML [CARD96] e está disponível na Internet pelo endereço <http://www.cesec.ufpr.br/~pompeu/escola.html> [POMP98]. Seu objetivo inclui, além da aula de Resistência dos Materiais, passeios por mundos virtuais e uma visita a uma galeria de artes virtual 3D. Os ambientes virtuais foram construídos sem o auxílio de editores específicos. A programação direta, apesar de mais trabalhosa, permite maior criação e desenvolvimento dos mundos virtuais. As cores, texturas, objetos sensoriais, sons e iluminação foram desenvolvidos baseando-se no *browser CosmoPlayer*, versão 2.0, da *Silicon Graphics* [BROW98]. O nome *Templo do Saber* foi escolhido para o ambiente virtual, construído em VRML, e acabou tornando-se o nome do projeto. Seus ambientes virtuais possibilitam a visualização e a interação. Para um design mais atrativo, a arquitetura foi escolhida baseada na Grécia antiga, uma das fontes do conhecimento humano, com colunas, fonte dos desejos, arco do triunfo e outros detalhes. Os objetos escolhidos não são meramente decorativos, mas exemplos das diferentes possibilidades de construção deles nos ambientes virtuais, usando a linguagem de programação VRML. A tela principal, dividida em *frames* (fig.6.1), apresenta o título, uma breve descrição do projeto, o ambiente virtual e um índice. As telas subseqüentes são atingidas pela interação do usuário com o projeto. Está incluído, como parte atrativa, um passeio numa galeria de arte onde o usuário pode visualizar várias

pinturas de grandes mestres como *Van Gogh* e *Picasso*. O aplicativo (software) de navegação utilizado foi o *Netscape Communicator*, versão 4.01 e toda a distribuição geométrica das telas apresentadas é baseada neste aplicativo. Para uma visualização perfeita é necessário um microcomputador com uma configuração mínima de 100 MHz de velocidade de processamento, 16 Mb de memória RAM e uma placa de vídeo de 4 Mb, com aceleração gráfica. Mais de cem páginas de programação direta foram usadas para a construção dos arquivos VRML e HTML utilizados nesse projeto. A motivação encontrada durante todo o trabalho derivou-se da sua aplicabilidade. Após uma exaustiva pesquisa associada a dezenas de horas conectadas a Internet descobriu-se que nenhum trabalho desta natureza está disponível, em português, na rede mundial. Como educador, o autor desta dissertação baseou seu projeto segundo o modelo pedagógico apresentado pela Dra. Pantelidis [PANT98], que orienta quando usar os ambientes virtuais na educação.

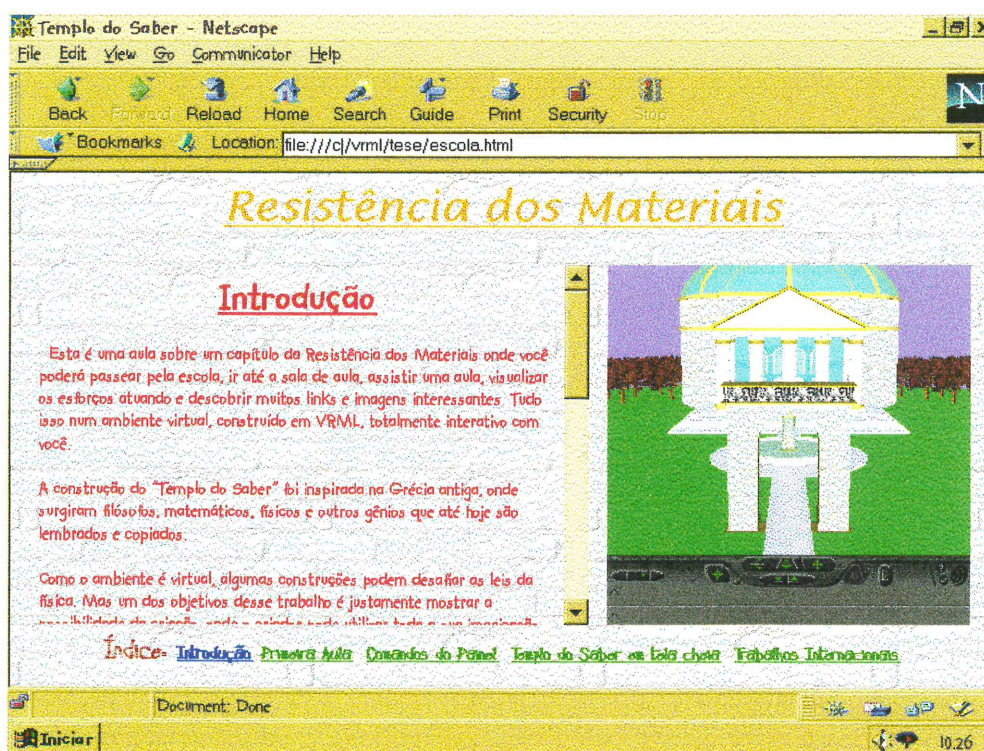


Fig. .6.1 Tela principal do projeto "Templo do Saber"

6.2 Modelo Pedagógico

A figura 3.5, apresentada no capítulo 3 , demonstra um modelo descrito pela Dra. Pantelidis [PANT98] para a utilização de ambientes virtuais na educação. Usa-se um ambiente virtual quando:

- Uma simulação poderia ser usada;
- O ensino ou o treinamento usando algo real é perigoso, impossível, inconveniente, prejudicial ao ambiente, possível de danificar o equipamento, caro;
- Um modelo de um ambiente irá ensinar ou treinar tão bem quanto algo real;
- Interagir com um modelo é tão motivador, ou mais, que interagir com algo real.

Seguindo o modelo pedagógico para a utilização dos ambientes virtuais em uma aula de Resistência dos Materiais, tem-se os objetivos, conforme os itens apresentados na fig. 3.5:

1- Proporcionar uma aula interativa de Resistência dos Materiais via internet. Usar figuras 3D para melhor visualização. Simular comportamentos de corpos sujeitos a esforços. Mostrar resultados de deformações obtidas através de cálculos, usando imagens. Sugerir exercícios para verificação do aprendizado. Simular os resultados dos exercícios.

2- As figuras, comportamentos de objetos e deformações podem ser simuladas, assim como os resultados de exercícios;

3- Os exercícios e simulações de resultados são utilizados numa segunda etapa do projeto;

4- Todos os objetivos escolhidos podem ser simulados computacionalmente;

5- Os comportamentos dos corpos, formas geométricas e deformações podem ter simulações 3D;

6- Para que o usuário possa participar de uma aula virtual via Internet foi escolhido a construção de um ambiente virtual interativo e não-imersivo. Desta forma o usuário não

precisa de equipamentos como os videocapacetes ou luvas especiais - apenas o monitor e o *mouse*;

7- Para facilitar a apresentação e o acesso utilizam-se o aplicativo *Netscape Communicator* e o browser *Cosmoplayer*. Todos estes *softwares* estão disponíveis via Internet sem nenhum custo. A linguagem de programação escolhida foi a VRML, especificada pela ISO/IEC 14772 como a linguagem-padrão para gráficos 3D e multimídia via rede mundial;

8- Com todas as informações obtidas constrói-se o Templo do Saber;

9- Três grupos de alunos são utilizados para uma avaliação do projeto;

10- Algumas modificações e inclusões farão parte de uma segunda etapa do projeto, que envolvem novas aulas, exercícios e novas interações.

6.3 Página Principal

A página de apresentação do trabalho foi construída baseando-se na apresentação geométrica do software *Netscape Communicator 4.01* para *Windows 95*, mas também pode ser visualizada com outras versões deste software. A página principal está dividida em *frames* que incluem um título, uma introdução, um índice e o primeiro ambiente virtual. O software *Internet Explorer* também permite a visualização da página, porém com algumas diferenças na sua apresentação, como o tamanho das fontes e a interação dos *frames*. Para a visualização dos ambientes virtuais utiliza-se o *browser CosmoPlayer 2.0* [BROW98]. Esta era a última versão apresentada pelo fabricante por ocasião da construção do projeto. A exposição geométrica, assim como os objetos sensoriais, a iluminação, sons e todos os detalhes foram construídos para uma melhor visualização nessa versão. A versão 2.1 deste browser, surgida após o término da construção dos ambientes virtuais do projeto, foi testada mas apresentou diferenças como a não aplicação de texturas, luminosidade e sons.

O título da aula virtual está apresentado na parte superior da tela principal, em destaque. Resistência dos Materiais é o capítulo da mecânica dos corpos sólidos no qual se estuda o equilíbrio dos referidos corpos, levando-se em consideração as deformações nele causadas [CEFE87].

A introdução é uma breve descrição do projeto, com seus objetivos e informações para que o usuário possa navegar e interagir com o mundo virtual.

O Templo do Saber é a parte principal do projeto. Esta parte, construída em VRML e com comunicação com os *frames* HTML, representa a parte virtual. No Templo do Saber, o usuário pode passear, visualizar seus objetos, apreciar a paisagem e interagir dando cliques nos objetos com sensores. Alguns efeitos visuais, como a água da fonte, e outros efeitos sonoros fazem parte do ambiente.

Localizado ao pé da página principal, um índice serve de atalho para algumas informações e também de ajuda para os comandos do painel. Este auxílio é uma tradução, feita pelo autor, da ajuda fornecida para a navegação pelo browser *CosmoPlayer* [BROW98].

6.4 Ambiente Virtual

O ambiente virtual, construído em VRML, possui um arco do triunfo, uma fonte dos desejos, um templo e um bosque como partes principais (fig. 6.2). Neste ambiente, estão presentes grande parte das possibilidades de representação de objetos, de movimento, som e visualização oferecidos pelo VRML [VRML98]. Os objetos construídos, assim como suas funções, estão descritos nos itens subseqüentes.

O passeio pelo mundo virtual começa com a passagem pelo *Arco do Triunfo*. Ao chegar à *Fonte dos Desejos* o usuário pode ver o movimento da água, observar algumas moedas mergulhadas e outras em cima da coluna. Uma destas moedas é sensorial. Quando

ativada, dá início a uma música. Continuando o seu passeio, o usuário pode visitar o bosque ou subir as escadas e observar as colunas e a entrada, com seus vidros verdes. Ao entrar no salão a luz ambiente é automaticamente desligada. É possível ver um globo girando em uma órbita em torno de uma tribuna. Um som espacial acompanha o globo. A tribuna possui três botões sensoriais que podem ser ativados mediante um toque sobre eles. Cada botão possui uma função diferente. O teto é transparente, como vidro, e permite a visualização do sol, que está a pino. Os objetos foram construídos separadamente para gerar arquivos individuais pequenos. O arquivo principal (escola.wrl) carrega esses arquivos enquanto está sendo compilado. Esta técnica facilita a renderização e a velocidade de transmissão dos dados. Alguns códigos e funções estão descritos neste capítulo.

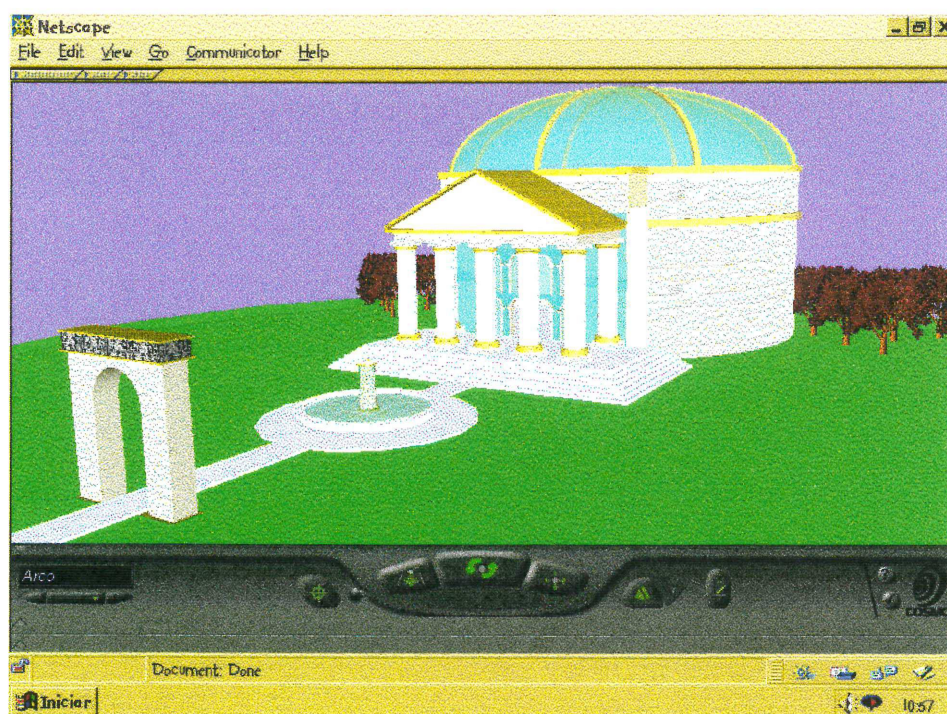


Fig. 6.2. Vista aérea do Ambiente Virtual principal.

6.4.1 Arco do Triunfo

O Arco do Triunfo é o objeto, construído em VRML, que está em primeiro plano na abertura do mundo virtual (fig. 6.3). O arquivo arco.wrl possui seu código. Para a construção deste objeto, o semi-arco é dividido em treze pontos. Este número de pontos, que determina o nível de acabamento do objeto, é escolhido por ter uma apresentação bem realística da curva, a um custo aceitável. Um número maior de pontos implica num tempo maior de processamento. São acrescentados blocos com diversas dimensões para a sua construção final. Os nós geométricos usados são *Extrusion* e *Box*, e são aplicadas duas texturas, tijolo e escribas, com o nó de aparência *texture*. A curva do arco é produzida com o seguinte código:

```
geometry Extrusion {
  creaseAngle 0.5
  beginCap TRUE
  endCap TRUE
  solid FALSE
  convex FALSE
  crossSection [
    1 0, 0.965926 0.258819, 0.866025 0.5,
    0.707107 0.707107, 0.5 0.866025, 0.258819 0.965926,
    0 1, -0.258819 0.965926, -0.5 0.866025,
    -0.707107 0.707107, -0.866025 0.5,
    -0.965926 0.258819, -1 0, -1 -3, -2 -3, -2 1.3,
    2 1.3, 2 -3, 1 -3, 1 0 ]
  scale [
    1 1, 1 1]
  spine [
    0 0 0.4, 0 0 -0.4]
}
```



Fig. 6.3. "Arco do Triunfo"

6.4.2 Fonte dos Desejos

A *Fonte dos Desejos* é um objeto decorativo que possui a finalidade de apresentar uma textura em movimento simulando uma fonte d'água (fig.6.4). Aliado ao movimento, ele também possui um outro objeto sensorial que é ativado quando sofre um clique. Este objeto representa uma moeda e está localizado na parte superior da coluna. A posição das moedas é definida aleatoriamente, mas são colocadas precisamente no fundo da fonte e no topo da coluna. Este procedimento deriva de um cálculo matemático que incluiu a espessura da moeda, as alturas do fundo da fonte e da coluna e a inclinação das moedas. Para a borda são utilizados 24 pontos. Usam-se os nós de geometria `Cylinder` e `Extrusion`, o nó de aparência `texture` e as ferramentas `DEF/USE` que permitem criar um objeto e utilizá-lo várias vezes sem que seja preciso repetir todo seu código. O nó de ligação com outros arquivos, `Inline`, permite usar um subcomponente da cena contido em outro endereço. Este nó, presente no arquivo *fonte1.wrl*, é o responsável pelo movimento:

```
children Inline {
    url [ "fonte1.wrl" ]
}
```

O nó `Script` permite criar variáveis e é usado para produzir a sensação de movimento da textura que imita a água, como se segue:

```
DEF S Script {
    eventIn SFFloat fraction
    eventOut SFVec2f translation
    field SFVec2f tt 0 0
    url "vrmlscript:
        function fraction(value) {
            tt[1] = - value;
            translation = tt;
        }"
}
```

O nó sensorial `TouchSensor` associado com a rotina `ROUTE` permite que o usuário interaja dando um clique na moeda para ouvir uma música. Este nó tem o seguinte código:


```

DEF TS1 TouchSensor {}
  Sound {
    maxBack 1000
    maxFront 1000
    source DEF JBrown AudioClip {
      url "JBrown1.wav"
    }
  }
}

ROUTE TS1.touchTime TO JBrown.startTime

```

Outro nó sensorial, *TimeSensor*, ativado instantaneamente ao compilar o arquivo, inicia a movimentação da água. O nó *Script* e a rotina *ROUTE* também participam desta operação, como se segue:

```

DEF TS TimeSensor {
  cycleInterval 5
  stopTime -1
  loop TRUE
}

ROUTE TS.fraction_changed TO S.fraction
ROUTE S.translation TO TT.set_translation

```

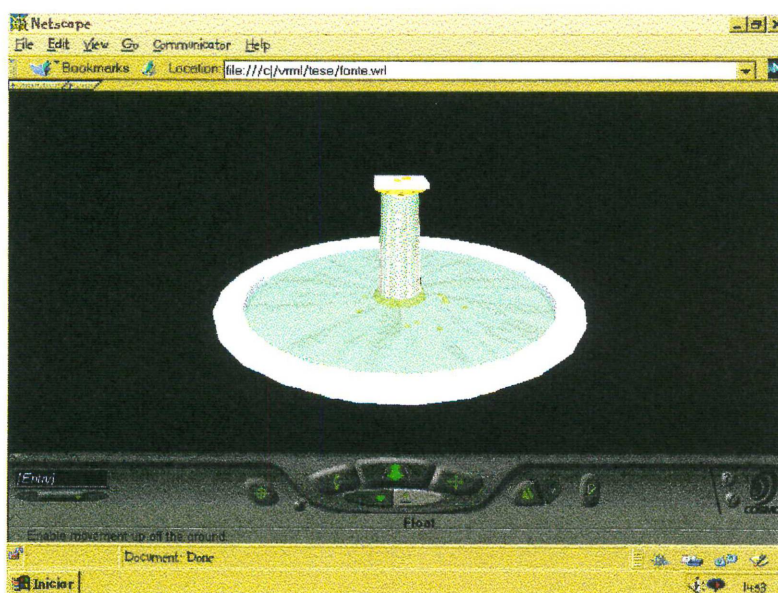


Fig. 6.4. "Fonte dos Desejos"

6.4.3 Bosque

No arquivo *arvores.wrl* (fig. 6.5), é usado o nó *Billboard* que permite a colocação de objetos 2D de forma que pareçam 3D. Isto é possível porque esse nó faz com que a textura

aplicada mantenha-se sempre de frente para o observador, não importando onde ele esteja. O código desenvolvido ficou:

```
children DEF arvore Billboard {
  children Shape {
    appearance Appearance {
      texture ImageTexture {
        url ["arvore.gif"]
      }
    }
    geometry IndexedFaceSet {
      coord Coordinate {
        point [ -1 -1 0, 1 -1 0, 1 1 0, -1 1 0 ]
      }
      coordIndex [ 0, 1, 2, 3 ]
    }
  }
}
```

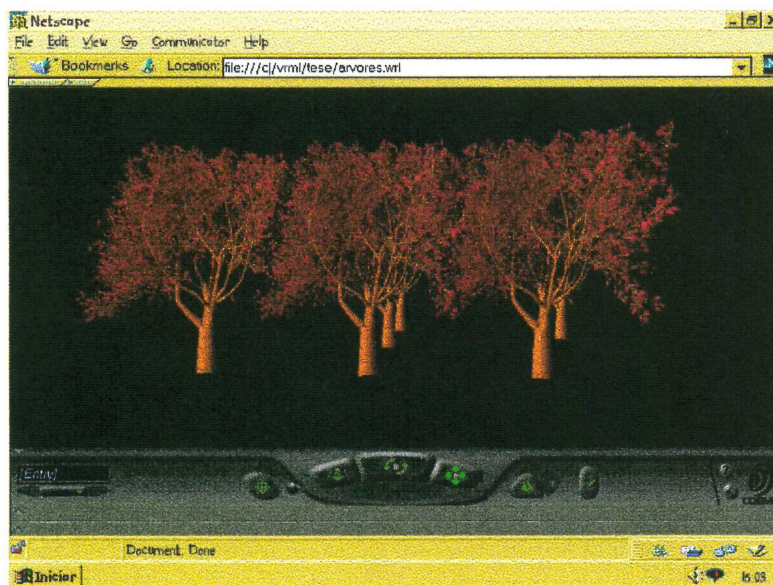


Fig. 6.5. Árvores do "Bosque"

6.4.4 Salão

O salão é construído com o diâmetro de 40 m e a altura de 28 m (fig. 6.6). Mais uma vez são utilizados pontos para a definição da parede curva, agora em número de 64, já incluindo sua espessura. Na sua estruturação, os principais nós usados são os de geometria: *Extrusion*; *Sphere*; *Box* e *Cylinder*. Para que a luz se apague automaticamente, na entrada de um usuário, são usados os nós *NavigationInfo* e *ProximitySensor*.

Além desses, foram utilizados os nós Sound, PositionInterpolator, TimeSensor, as ferramentas DEF/USE e a rotina ROUTE, para controlar a órbita do planeta. Os códigos para este nós estão apresentados a seguir:

```
Sound {
  source AudioClip {
    url "guita.wav"
    stopTime -1
    loop TRUE
  }
  minBack 8
  minFront 8
  maxBack 15
  maxFront 15
  spatialize TRUE
}

DEF P PositionInterpolator {
  key [ 0, 0.0416, 0.0833, 0.125, 0.1667, 0.2083, 0.25, 0.2916,
        0.3333, 0.375, 0.4167, 0.4583, 0.5, 0.5416, 0.5833,
        0.625, 0.6667, 0.7083, 0.75, 0.7916, 0.8333, 0.875,
        0.9167, 0.9583, 1 ]
  keyValue [5 4 0, 4.8296 4 1.294 ,
            4.3301 4 2.5, 3.5355 4 3.5355 ,
            2.5 4 4.3301 , 1.294 4 4.8296 ,
            0 4 5 , -1.294 4 4.8296,
            -2.5 4 4.3301, -3.5355 4 3.5355 ,
            -4.3301 4 2.5, -4.8296 4 1.294 ,
            -5 4 0 , -4.8296 4 -1.294 ,
            -4.3301 4 -2.5, -3.5333 4 -3.5355,
            -2.5 4 -4.3301, -1.294 4 -4.8296,
            0 4 -5, 1.294 4 -4.8296,
            2.5 4 -4.3301, 3.5355 4 -3.5355,
            4.3301 4 -2.5, 4.8296 4 -1.294, 5 4 0]
}

DEF TS TimeSensor {
  cycleInterval 25
  stopTime -1
  loop TRUE
}
```

Para obter a transparência no teto, representando um vidro, é usado o campo transparency, do nó Material. A cor do vidro, definida pelo padrão RGB, é escolhida aleatoriamente mediante várias tentativas, para que produza um efeito visual semelhante a um vidro, ou acrílico, colorido. O código desse processo é o seguinte:

```
material Material {
  diffuseColor 0.2 0.4 0.9
```



```

ambientIntensity 0.1
shininess 0.2
transparency 0.5
emissiveColor 0.3 0.9 0.4
}

```

As escadas, a entrada com seus arcos e vidros, as colunas e o portal são construídos separadamente (figuras 6.7, 6.8 e 6.9) para gerar arquivos pequenos e facilitar a transmissão de dados.

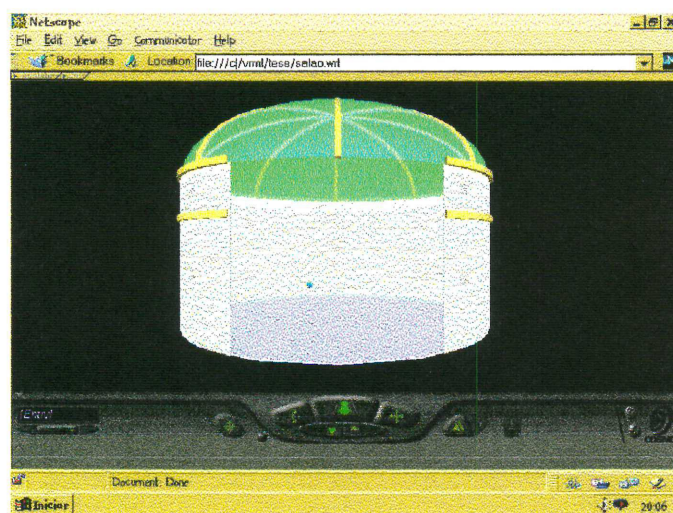


Fig. 6.6. Salão



Fig. 6.7. Arco de entrada

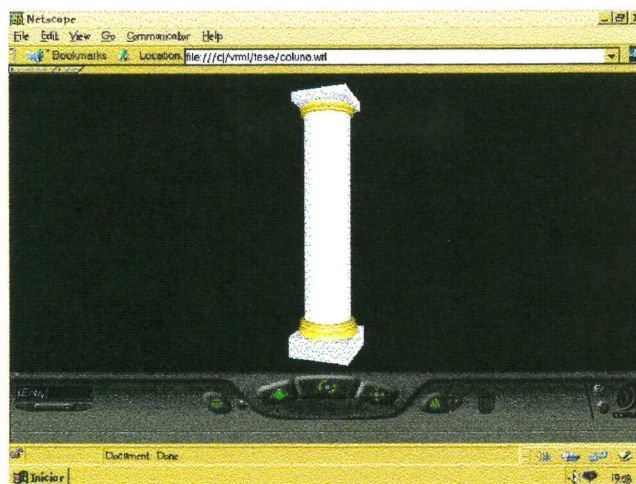


Fig. 6.8. Coluna

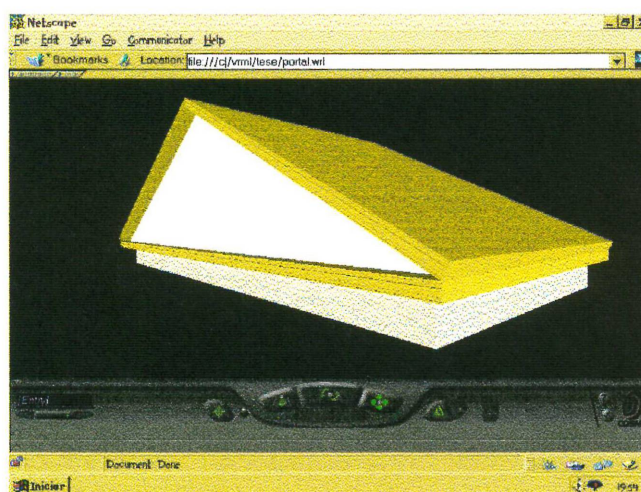


Fig. 6.9. Portal

6.4.5 Tribuna

Ao entrar no salão, o usuário percebe uma tribuna (fig. 6.10) iluminada por duas luminárias. Nela encontram-se três botões. Estes, localizados na parte superior da tribuna, são objetos sensoriais que permitem ao usuário interagir quando der um clique sobre eles. Suas posições foram precisamente calculadas para que ficassem exatamente sobre a superfície inclinada da tribuna.

O primeiro botão, da esquerda para direita, de cor azul, quando pressionado, oferece o objetivo principal do projeto: uma aula interativa de Resistência dos Materiais sobre *Tração e*

Compressão [ARRI94] [NASH92]. Esta aula aparecerá no *frame* central esquerdo da tela principal (fig. 6.11).

O botão central, de cor verde, quando pressionado, mostra no *frame* central alguns *links* sobre trabalhos internacionais desenvolvidos em VRML (fig. 6.12).

No arquivo *tribuna.wrl*, além dos nós de geometria e forma, são acrescentados outros nós com funções diferentes: o nó de iluminação, *SpotLight*, que permite colocar e localizar uma luz com uma origem, uma direção e uma intensidade; o nó sensorial: *TouchSensor* cuja finalidade é ativar uma função do objeto quando ele sofrer um clique; e o nó de ligação *Anchor* que conecta um arquivo *.wrl* com outros, por exemplo, *.html*. Os códigos dos nós de iluminação e de ligação são os seguintes:

```
SpotLight {
    attenuation 0.01 0.01 0.04
    color 0 0.2 1
    cutOffAngle 1.4
    beamWidth 1.4
    direction -1 -0.2 0
    location 0.8 1.7 0
    radius 5
}

DEF TS1 TouchSensor { }
DEF aula Anchor {
    url [ "aula1.html" ]
    parameter [ "target=DESC" ]
}
```

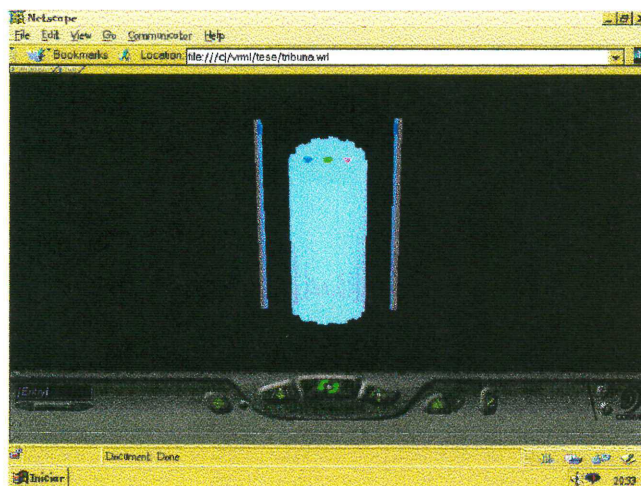


Fig.6.10. Tribuna



Fig. 6.11. Aula sobre Tração e Compressão



Fig. 6.12. Links para trabalhos internacionais

O terceiro e último botão, localizado à direita e de cor vermelha, leva o usuário a uma galeria de arte virtual com algumas obras de arte (fig. 6.14). Esta galeria faz parte de um entretenimento oferecido pelo projeto. Ao entrar na galeria, o usuário poderá visualizar alguns quadros pendurados nas paredes. Para um detalhamento e um nível de realismo maior são construídas molduras e a fixação dos quadros é feita por pregos e cordas. Eles ficam dispostos nas paredes como numa galeria de arte real, com uma certa inclinação para frente. Cada quadro possui uma iluminação própria, feita com luzes de cores diferentes. O usuário tem a opção de ir direto a uma obra de arte utilizando-se dos *viewpoints* (pontos de visualização), disponíveis para cada quadro.

Os quadros são construídos em arquivos separados e possuem o nó de proximidade LOD, que possibilita a redução dos detalhes de um objeto a medida que o usuário se afasta dele. Este nó é muito importante para a velocidade de apresentação da imagem. Uma imagem com poucos detalhes é renderizada com maior rapidez. O nível de detalhamento é definido da seguinte forma:

```
LOD {
    level [          ...
    Transform {      ...
    Transform {      ...
    center 0 0 0
    range [30]
}
```

Os arquivos dos quadros possuem também o nó de iluminação SpotLight e o nó geométrico IndexedLineSet que permite a criação de linhas:

```
IndexedLineSet {
    coord Coordinate {
        point [
            -4.5 2.9 0.2, -0.033 6.555 -0.15, 0 6.565 -0.15,
            0.033 6.555 -0.15, 4.5 2.9 0.2 ]
    }
    coordIndex [
        0, 1, 2, 3, 4 ]
}
```

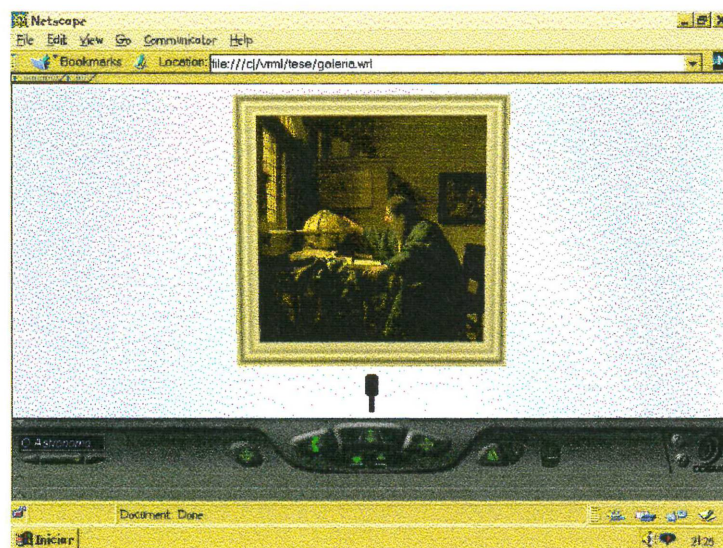


Fig. 6.13. Galeria - "O Astrônomo - Vermeer"

6.4.6 Viewpoints

Os *Viewpoints*, ou pontos de visualização, são locais pré-determinados pelo programador. O usuário pode ir diretamente a esses locais, sem precisar passear pelo mundo virtual. O *Templo do Saber* e a *Galeria* possuem uma lista destes pontos. Eles estão localizados à esquerda do painel de comandos do browser (fig. 6.14).

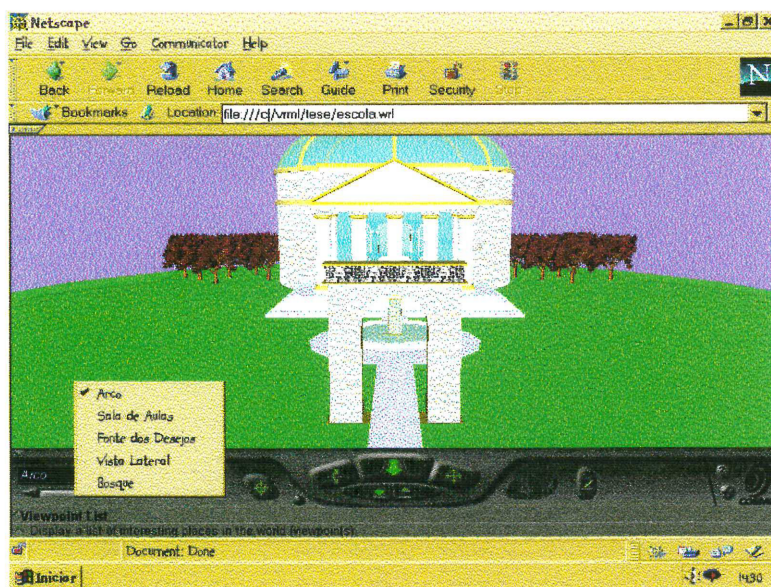


Fig. 6.14. Lista dos Pontos de Visualização

6.5 Aula de Resistência dos Materiais

Como parte principal do projeto descrito no item 6.1, uma aula de Resistência dos Materiais sobre *Tração e Compressão* é oferecida ao usuário. Ao dar um clique sobre o botão esquerdo da tribuna, de cor azul, localizada no interior do salão, aparecerá na tela a primeira aula. Esta aula possui ambientes virtuais para demonstrar a geometria de barras, os esforços e seus efeitos e alguns gráficos. O usuário passa a ser um aluno e pode visualizar e interagir com alguns exemplos em 3D, diferente de um livro onde apenas imagens podem ser oferecidas (fig. 6.15 e 6.16). Em relação ao ensino tradicional, o aluno que participar de uma aula com o auxílio de ambientes virtuais possuirá algumas vantagens como:

- Interatividade, pois o aluno poderá escolher o caminho a seguir e decidir seu ritmo de aprendizado;
- Visualização 3D, pois o aluno terá a possibilidade de observar os objetos de inúmeros ângulos diferentes e com a aproximação desejada;
- Entretenimento. Quando se sentir cansado, o aluno poderá usar um mundo virtual para passear e se distrair até se sentir em condições de retornar ao aprendizado;
- Localização. O aluno poderá assistir uma aula em qualquer parte do mundo, bastando ter apenas um computador com as configurações mínimas necessárias e um acesso a Internet.



Fig. 6.15. Barras Prismáticas



Fig. 6.16. Esforços Solicitantes

A aula sobre Tração e Compressão foi baseada nos livros de Vladimir Arribavene [ARRI94] e Willian Nash [NASH92] e contém uma introdução, conceitos sobre esforços, lei de Hooke, alongamento e diagramas.

6.6 Ajuda

Para o usuário que não conhece os comandos do *browser CosmoPlayer 2.0*, uma ajuda está localizada no pé da página principal com o nome "Comandos do Pannel". Esta é uma tradução da ajuda fornecida pelo *browser*, feita pelo autor, e fornece as funções básicas dos botões de navegação. Ela explica detalhadamente como fazer para andar, voar, rotacionar e ir até os pontos de visualização dentro de um mundo virtual (fig. 6.17).



Fig. 6.17. Ajuda do *CosmoPlayer 2.0*

CAPÍTULO 7

Conclusões

7.1 Comparação entre visualização 2D e visualização 3D

Quando se observa uma figura impressa, visualiza-se apenas uma face de uma imagem. Seriam necessárias um número infinito de figuras para ter-se a visualização de sua forma total. Os exemplos demonstrados nos livros de Resistência dos Materiais deixam algumas incertezas sobre o sentido dos esforços. Algumas convenções, como a regra da mão direita, tem sido adotadas para não criar dúvidas de interpretação. Exemplos precisam de várias linhas escritas para descrever apenas o desenho a ser interpretado. E, também, as seções transversais dos objetos estudados têm que ser desenhadas separadamente uma a uma. A visualização 3D permite ao aluno, ou usuário, uma interpretação total do objeto a ser estudado. Quando uma imagem não é suficiente para a compreensão da forma geométrica de um objeto, simplesmente muda-se o plano de visualização. E faz-se isto quantas vezes forem necessárias até que o entendimento seja total. A possibilidade de aproximação ou afastamento para a visualização dos objetos também é um grande auxílio. Quando se pensa em objetos 3D virtuais, chega-se à conclusão de que a aproximação da realidade permite ao aluno uma compreensão maior sobre os objetos a serem estudados.

Uma análise de um corpo deformado, ou mesmo em deformação, usando uma simulação 3D é muito mais significativa e atraente que qualquer outra em feita com figuras 2D. Afinal, o seu humano possui dois olhos justamente para perceber a espacialidade.

7.2 Som espacial

Ao se tratar de interpretação visual, a sonoridade parece não ter sentido. Porém, pode-se acrescentar os sons como forma de atração ao aluno. Ele participará com mais um sentido, a audição, no aprendizado. Um efeito sonoro de uma viga rangendo, de um aço deformando ou mesmo de um vidro quebrando pode dar mais realismo a uma cena visualizada. Ao simular-se um ensaio de compressão de um corpo de prova de concreto, pode-se também acrescentar alguns sons que identifiquem, por exemplo, o ruído deste rompendo-se. A sonorização aumenta a capacidade de interpretação do aluno.

7.3 Movimento

O movimento faz parte do dia-a-dia. É trabalhoso descrever um movimento a partir de cenas estáticas. Novamente, seria preciso um número infinito de imagens para analisar um movimento completo. Com o uso de ambientes virtuais pode-se simular dinamicamente, por exemplo, o alongamento de um corpo sujeito ao esforço de tração, e com a possibilidade de visualização por todos os ângulos.

7.4 Usuário inexperiente

Algumas das dificuldades da aplicação dos sistemas computacionais está na inexperiência do usuário. Para que este possa visualizar e acessar um objeto 3D é necessário que, ao menos, saiba ligar um computador e abrir um arquivo. A palavra *virtual* muitas vezes impressiona um leigo e o afasta do sistema. O grande fator positivo é que as escolas estão investindo muito na informática e, assim, aumentando o número de usuários experientes. Um bom emprego, atualmente, geralmente é conseguido quando se tem um razoável conhecimento computacional. A competição por uma boa colocação faz com que o número de

usuários inexperientes diminua a cada dia. Para usufruir do Templo do Saber o usuário terá que saber como entrar na Internet, acessar o endereço especificado (<http://www.cesec.ufpr.br/~pompeu/escola.html>) e navegar pelos mundos virtuais.

7.5 Browsers VRML

Existem, no mercado, pelos menos 11 interpretadores de arquivos escritos em VRML [BROW98]. Alguns destes, como o *Webview* da *San Diego Super Computer Center*, foram desenvolvidos apenas para grandes computadores com sistemas operacionais específicos. O *browser CyberHub* da *BlackSun* [BLAC] deixa na tela um espaço para que o usuário converse, por escrito, com outras pessoas que estão passeando pelo mesmo ambiente virtual. É possível encontrar e comunicar-se com pessoas em todo mundo, como num canal *chat*, passeando dentro do mesmo mundo virtual.

O *browser* escolhido neste trabalho é o *CosmoPlayer* da *Silicon Graphics* versão 2.0. Esta opção é feita pelo mesmo ter sido criado na empresa em que trabalham os criadores da linguagem VRML. A versão utilizada neste trabalho era a mais recente fornecida pela empresa. Além disso, o painel apresentado pelo *browser* é de fácil entendimento e tem um projeto visual de boa qualidade. Nas etapas finais deste trabalho, uma nova versão, a 2.1, foi divulgada pela empresa e testada no projeto, mas apresentou alguns problemas na aplicação de texturas, na iluminação e na reprodução de sons. A diferença entre as versões dos *browsers* dificulta a continuidade de qualquer projeto que dependa deles. Para a atualização é necessário uma revisão de toda a programação e possivelmente ser necessário uma mudança radical no texto.

7.6 Aula tradicional X Aula com o auxílio de Ambientes Virtuais

Seria um exagero dizer que o uso de ambientes virtuais substituiria as aulas tradicionais, baseadas em textos e figuras estampadas em folhas de livros. O fato é que eles são um auxílio forte ao aprendizado. A possibilidade de um aluno ter acesso, via Internet, às aulas com uma visualização total dos objetos a serem estudados torna a aula muito mais interessante. A capacidade de interpretação visual, diferente para cada pessoa, tende a se igualar quando se trata de um objeto visualizado em 3D. No caso específico de uma aula de Resistência dos Materiais, o projeto "Templo do Saber" possibilita os alunos analisarem efeitos, como num esforço de flexão, sobre todos os ângulos possíveis. A interação proposta pelo uso de ambientes virtuais permite ao estudante simular um esforço a partir de um toque sobre o objeto a ser deformado. E, por fim, o estímulo produzido pelo uso de uma nova tecnologia faz com que o aluno se interesse mais por uma aula diferente da tradicional.

7.7 Considerações Finais

O uso dos sistemas computacionais na educação vêm aumentando a cada dia. Simuladores de eletrônica, mecânica, pneumática etc, desenvolvidos por universidades e empresas especializadas já podem ser adquiridos com facilidade. Os equipamentos aumentam sua capacidade de trabalho e diminuem seus preços de forma quase exponencial.

Esta dissertação procura mostrar o poder da visualização 3D na interpretação de cenas e objetos em sistemas educacionais. Explicam-se os tipos possíveis de realidade virtual aplicáveis a computadores. Demonstra-se quando usar os ambientes virtuais na educação a partir de um modelo e as considerações a serem feitas de acordo as diferenças encontradas em cada usuário. É demonstrado como gerar ambientes virtuais por computador usando programação ou editores específicos. Mostra-se a linguagem VRML. O projeto "Templo do

Saber", aula virtual de Resistência dos Materiais, com ambientes virtuais interativos e não imersivos é construído. Propõe-se o uso dos ambientes virtuais como apoio ao ensino e a aprendizagem de Resistência dos Materiais.

Um pequeno estudo feito com alunos de Resistência dos Materiais do CEFET-PR, unidade de Medianeira, nos turnos manhã, tarde e noite mostra o nível de satisfação dos alunos pelo uso de ambientes virtuais como forma de auxílio ao ensino e aprendizagem (tabela 7.1).

Além das vantagens oferecidas a nível de visualização, os ambientes virtuais podem estar disponíveis via rede mundial; ou seja, um aluno pode assistir uma aula em qualquer parte do mundo.

Apesar da tecnologia moderna amedrontar alguns docentes tradicionalistas, o autor coloca que a figura do professor é insubstituível e que o uso dos ambientes virtuais no ensino é apenas uma forma de enriquecer e facilitar o aprendizado do aluno.

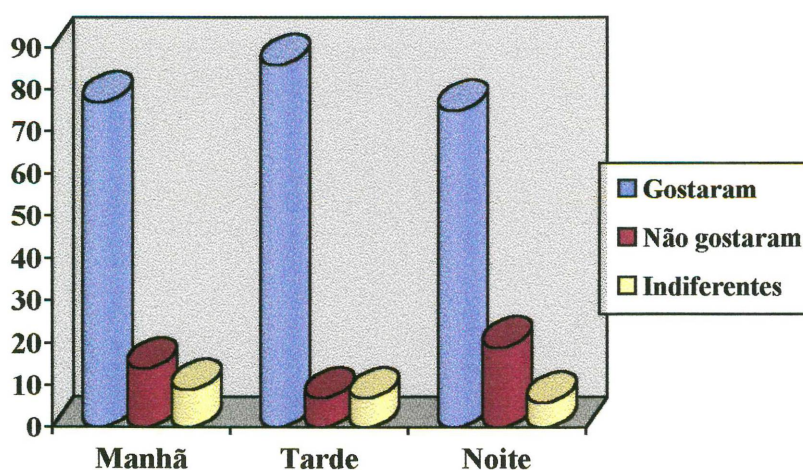


Tabela 7.1. Satisfação dos alunos com o uso de Ambientes Virtuais em uma aula de Resistência dos Materiais

7.8 Trabalhos Futuros

Para se tornar mais funcional e didático, o Templo do Saber terá várias aulas, com exercícios e testes incluídos. Uma arquitetura que facilite a adaptação para versões diferentes de *browsers* deverá ser estudada. Uma nova avaliação, com uma população maior, deverá ser feita para se possa fazer uma análise comparativa e quantitativa entre um curso presencial e um outro com o recurso de ambientes virtuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACM99 ACM SIGCHI HCI Education Survey. <http://www.acm.org/sigchi/educhi/>. 19/01/1999.
- ADAM94 ADAMS, Lee. *Visualização e Realidade Virtual*. São Paulo: Makron Books, 1994.
- ARRI94 ARRIVABENE, Vladimir. *Resistência dos Materiais*. São Paulo : Makron Books, 1994.
- BELL98 BELL, Gavin; PARISI, Anthony; PESCE, Mark. *The Virtual Reality Modeling Language*. v. 1.0 Specification. <http://www.vrml.org/Specifications/VRML1.0/>, 14/09/1998.
- BLAC BLAXXUN COMMUNIT PLATFORM. <http://www.blaxxun.com/products/bindex.html>, 09/09/98.
- BRAN97 BRANDÃO, Edemilson Jorge Ramos et al. *A Realidade Virtual como Proposta de Ensino-Aprendizagem para Deficientes Auditivos*. Workshop de Realidade Virtual (1. : 1997 : São Carlos) **Anais**. São Carlos. UFSCar. 1997.
- BROW98 CONSTRUCT INTERNET DESIGN. <http://www.construct.net/tools/vrml/browsers.html>, 22/06/1998.
- BUEN92 BUENO, Francisco da Silveira. *Minidicionário da Língua Portuguesa*. 6. ed. São Paulo : Lisa, 1992.
- CEFE87 CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO PARANÁ. Unidade de Medianeira. *Apostila de Resistência dos Materiais*. Medianeira, 1987.
- CARD96 CARDOSO, Carlos. *HTML Curso Básico & Rápido*. Rio de Janeiro: Axcel Books, 1996.
- COSM98 COSMOSOFTWARE. <http://cosmosoftware.com/products/designer/brief.html>, 15/09/1998.
- COSM98a COSMOSOFTWARE. <http://cosmosoftware.com/galleries/floops/main.html>, 22/09/1998.
- COSM98b COSMOSOFTWARE. <http://cosmosoftware.com/galleries/main.html>, 23/09/1998.
- COST98 COSTELLA, John P. *Virtual Reality at the University of Melbourne, Australia*. <Http://eastnet.educ.ecu.edu/vr/vrits/1-3coste.htm>, 31/08/1998.
- COX98 COX, Lynne. *Introduction to Virtual Reality Through Music*. <http://eastnet.educ.ecu.edu/vr/vrits/2-4cox.htm>, 31/08/1998.

- CRIS98 CRISPEN, Bob. *The History of VRML*.
<http://home.hiwaay.net/~crispen/vrmlworks/history.html>, 18/08/1998.
- FEIJ98 FEIJÓ, Bruno. *Virtual Environments for CAD Systems*, In: Tasso, C. & Arantes e Oliveira, E. R. de (eds.), *Development of Knowledge-based Systems for Engineering*, Springer-Verlay, p. 183-200, 1998.
- FLHO97 FLOHR, Udo. *Computer*. July 1997, p. 15-16.
- GER97 GERSHON, Nahum; EICK, Stephen G.. Information Visualization. *IEEE Computer Graphics and Applications*, p. 29-31, july/august, 1997.
- GRIF98 GRIFFIN, Ivan. *University of Limerick*.
<http://oak.ece.ul.ie/~griffin/vrml.html>, 18/08/1998.
- HAMI93 HAMIT, Francis. *Realidade Virtual e a exploração do espaço Cibernético*. Rio de Janeiro: Berkeley, 1993.
- HCI99 HCI BIBLIOGRAPHY. *Human-Computer Interaction Publications and Resources*. <http://www.hcibib.org/>. 19/01/1999.
- ISDA98 ISDALE, Jerry. *What is Virtual Reality?*
<ftp://sunee.uwaterloo.ca/pub/vr/documents/whatisvr.txt>, 18/08/98.
- JACO94 JACOBSON, Linda. *Realidade Virtual em Casa*. Rio de Janeiro: Berkeley, 1994.
- JOHN98 JOHNSTON, Willian. *Whole Frog Project*.
<http://george.lbl.gov/ITG.tm.pg.docs/dissect/info.html>, 13/07/1998.
- MACO87 MCCORNICK, B. H.; DEFANI, T. A.; BROWN, M. D. Visualization in Scientific Computing. *Computer Graphics*, v. 21, n. 6, nov. 1987.
- MARR97 MARRIN, Chris; CAMPBELL, Bruce. *Teach yourself VRML 2 in 21 days*. Indianápolis: Samsnet, 1997.
- NASH92 NASH, William A. *Resistência dos Materiais*. São Paulo : McGraw-Hill, 1992.
- NAU98 NORTHERN ARIZONA UNIVERSITY.
<http://www.nau.edu/~anthro/solsys/>, 31/08/1998.
- NCSA98 NCSA Visualization Page. <http://bach.ncsa.uiuc.edu/Viz/> , 01/11/98.
- PANT98 PANTELIDIS, Veronica S. *Reasons to Use Virtual Reality in Education*.
<http://eastnet.ecu.edu/vr/reas.html>, 15/06/1998.
- PINH98 PINHO, Márcio Serolli. *Realidade Virtual como Ferramenta de Informática na Educação*. <http://inf.pucs.br/~grv/educa.htm>, 14/07/1998.
- PINH98a PINHO, Márcio Serolli; KIRMER, Cláudio. *Uma Introdução à Realidade Virtual*. <http://inf.pucrs.br/~pinho/RV/tutrv.htm>, 05/06/1998.
- POMP98 POMPEU, Renato Cesar. <http://www.cecec.ufpr.br/~pompeu/escola.html>, 20/03/1998.

- PUCS98 PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL. <http://www.inf.pucrs.br/~grv/educa.htm>, 05/06/1998.
- PUCS98a PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL. <http://www.inf.pucrs.br/~grv/vrml1.htm>, 05/06/1998.
- SAND98 SAN DIEGO SUPERCOMPUTER CENTER. <http://vrml.sdsc/cgi-bin/>, 15/09/1998.
- SANT97 SANTOS, Carlos Luiz Nunes et al. *Uso de Realidade Virtual na Exploração de Petróleo em Águas Profundas*. Workshop de Realidade Virtual (1. : 1997 : São Carlos) **Anais**. São Carlos. UFSCar. 1997.
- SCIE98 SCIENTIFIC VIZUALIZATION SITES.
<http://science.nas.nasa.gov/Groups/VisTech/visWeblets.html> , 03/11/98.
- SILV97 SILVEIRA, Ismar Frango; PELLEGRINO, Sérgio. *Modelagem de Sólidos Aplicada à Construção de Mundos Virtuais*. Workshop de Realidade Virtual (1. : 1997 : São Carlos) **Anais**. São Carlos. UFSCar. 1997.
- SITE98a HUMAN INTERFACE TECHNOLOGY LABORATORY.
http://www.hitl.washington.edu/projects/knowledge_base/repositories.htm, 08/09/98.
- SITE98b PLANET 9 STUDIOS. <http://www.planet9.com/new.htm>, 08/09/1998.
- SOFT98 MACMILLAN PUBLISHING USA.
<http://www.mcp.com/resources/design/llww/software/winguide.htm>, 24/08/1998.
- SOUZ97 SOUZA, Patrícia Cristiane de; WAZLAWICK, Raul Sidnei; HOFFMANN, Augusto Bohner. Um ambiente construtivista em realidade virtual para aprendizagem em engenharia civil. *Revista de Ensino de Engenharia*. São Paulo, n. 18, p. 24-30, 1997.
- STUA96 STUART, Rory. *The Design of Virtual Environments*. Pennsylvania: McGraw-Hill, 1996.
- TRIN98 TRINDADE, Jorge A.; FILHOAIS, Carlos. *A Realidade Virtual no Ensino e Aprendizagem da Física e da Química*.
http://www.fis.uc.pt/Read_c/RV/Ensino/artigo.htm, 18/08/98.
- UFSC98 UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS.
<http://www.dc.ufscar.br/~grv/pvirtual.htm>, 14/07/1998.
- UFSC98a UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS.
<http://www.dc.ufscar.br/~grv/revir/descricao.html>, 14/07/1998.
- VIRT98 Virtual Technologies Inc.. http://www.virtex.com/pro_cyberglove.html, 26/08/1998.
- VIRT98a Virtual Technologies Inc..
http://www.virtex.com/case_studies/NASA_visualization.html, 26/08/1998.

- VRML98 VRML CONSORTIUM INCORPORATED.
<http://www.vrml.org/Specifications/VRML97/>, 14/09/1998.
- WEBS WEBSTER'S NINTH NEW COLLEGIATE DICTIONARY.
- WINN98 WINN, William. *A conceptual Basis for Educational Applications of Virtual Reality*. <http://hitl.washington.edu/publications/r-93-9/>, 08/06/1998.