

ATAXIA: UMA ARQUITETURA PARA A VIABILIZAÇÃO DE NVE'S VOLTADOS
PARA A EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA ATRAVÉS DA INTERNET

por

Antonio José Melo Leite Júnior

Dissertação Apresentada ao
Mestrado em Ciência da Computação
Universidade Federal do Ceará

Orientador: Creto Augusto Vidal, PhD

Fortaleza, Ce – Dezembro/2000

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus, o primeiro e maior de todos os seres virtuais; a meus pais, Melo Leite e Ilsimar, minhas irmãs, Karine e Caroline, e minha avó, pelo enorme incentivo recebido; à minha namorada, Líllian, por todo o carinho e atenção; ao meu amigo e orientador, Creto Vidal, por todo o conhecimento transmitido; ao Camilo, Emanuele, Joaquim, João Carlos, Ney, Edwin e Clebernaice por terem formado a melhor equipe de implementação com a qual já tive o prazer de trabalhar; aos amigos Rogério e Edgar por todos os bons e maus momentos; ao Lânio e todos os que formam a Amigos-I (Ernesto, Felipe, Heron, Jerffeson, Raquel, Ricardo, Stael e Vizim) por toda a ajuda e amizade; a todos os membros do Projeto AVAL e do LCG/UFC – Laboratório de Computação Gráfica, por todo o apoio; e, por fim, ao meu cachorro Black, que fez pouquíssimas coisas erradas enquanto eu escrevia essa dissertação.

O presente trabalho foi apoiado pela CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, através do oferecimento de uma bolsa de estudos e do incentivo do PAPED – Programa de Apoio à Pesquisa em Educação a Distância; e pela FUNCAP – Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa, através de Projeto de Financiamento.

Resumo

Nos últimos anos, o aprimoramento dos recursos empregados na educação a distância tem permitido a instrução de indivíduos em qualquer parte do mundo. A introdução de novas alternativas de ensino, particularmente a partir do surgimento da Internet, está possibilitando a capacitação de pessoas em praticamente qualquer ponto do planeta. No entanto, a grande maioria dos cursos realizados a distância tem esbarrado em um sério problema de motivação de alunos e professores. Nesse contexto específico, a realidade virtual surge como um complemento capaz de estimular o aprendizado como um todo.

São inúmeras as novas possibilidades de exposição de conteúdo através de ambientes virtuais, onde podem ser destacadas: a recriação de locais remotos, em épocas antigas; a simulação do comportamento de equipamentos; a representação de fenômenos específicos; e, a interação com personagens virtuais controlados por computadores. Se for considerada, ainda, a introdução de recursos de comunicação através de redes aos ambientes virtuais, as possibilidades de exposição de conteúdo tornam-se ilimitadas. Grupos de participantes, formados por alunos, professores e, mesmo, máquinas, podem interagir tanto com o ambiente virtual compartilhado quanto entre si, explorando situações, trocando experiências e criando idéias.

O emprego de NVE's (Networked Virtual Environments, ambientes virtuais compartilhados em rede), porém, geralmente exige um poder computacional bastante elevado e uma grande largura de banda das conexões de rede utilizadas. Isso acaba por restringir bastante o uso de NVE's na educação. O objetivo dessa dissertação é apresentar a arquitetura Ataxia. Essa arquitetura define componentes especializados, capazes de distribuir, através da Internet, o processamento de todo o NVE; obtendo-se, assim, um grande poder computacional a um baixo custo. Além disso, a arquitetura Ataxia emprega técnicas de otimização do acesso a informações remotas, diminuindo o tráfego da rede e, conseqüentemente, viabilizando o uso de NVE's voltados para a educação a distância.

Abstract

In recent years, the use of technology brought about a great deal of improvement to distance education, making it possible to bring instruction to individuals in any part of the world. New teaching methodologies, especially those developed to take advantage of the Internet, are being explored for the training of people in remote parts of the planet where an Internet connection is available. Despite the innovation and creativity displayed in many of these new distance education materials, the main drawback encountered in traditional distance education, of either not providing or not sustaining the motivation of both students and teachers, is still present. It is in this specific context that virtual reality emerges as a powerful complementary tool capable of adding the required stimuli to the distance learning process.

There are countless new possibilities of exploiting virtual reality for content exhibition in distance education. In history, for example, it is possible to make virtual reconstructions of ancient sites for the students to explore while they interact with computer-controlled virtual personages. In technology, virtual models of equipment can be used in simulations for the students to understand the functioning of their real counterparts. In science, the virtual representations of certain phenomena can be used for investigative studies. The range of possibilities can be even more enlarged when virtual reality is taken into account in combination with the communication resources available through computer networks, – resulting in the so-called Networked Virtual Environments (NVE's). In NVE's, groups of participants, consisting of students, teachers, and even machines; can interact not only with one another within the shared virtual environment, but also with the virtual environment itself. This allows the students and teachers to exchange experiences and formulate new ideas while they explore situations together.

NVE's require, in general, high processing power and large bandwidth network connections. These requirements impose severe restrictions on the use of NVE's in distance education. Therefore, the goal of this work is both to propose and to describe a new architecture (ATAXIA), which provides high processing power at low costs, thereby, alleviating those restrictions. ATAXIA defines a set of specialized components capable of distributing the processing of the whole NVE through the Internet. Besides, ATAXIA uses optimization techniques for the remote access to information, minimizing, therefore, the traffic on the network.

Índice

Capítulo I - Introdução.....	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Estrutura da Dissertação	4
Capítulo II – A Educação a Distância antes da Realidade Virtual	6
2.1 O Que é Educação a Distância.....	6
2.2 A Evolução da Educação a Distância	7
2.2.1 A Educação a Distância no Contexto Mundial.....	7
2.2.2 A Educação a Distância no Contexto Brasileiro.....	11
2.2.3 A Educação a Distância no Contexto do Estado do Ceará	13
2.3 A Internet na Educação a Distância.....	18
2.3.1 Grupos de Colaboração.....	20
2.3.2 Vantagens da Utilização da Internet na Aprendizagem a Distância.....	21
2.3.3 Problemas da Educação a Distância na Internet	22
Capítulo III – A Realidade Virtual e a Educação a Distância	24
3.1 O Que é Realidade Virtual.....	24
3.1.1 Histórico da Realidade Virtual	26
3.1.2 Porque Utilizar Realidade Virtual	33
3.2 O Emprego de Realidade Virtual na Educação	35
3.2.1 Aspectos da Realidade Virtual como Ferramenta Educacional.....	36
3.2.2 Realidade Virtual em Educação a Distância.....	39
3.2.3 Exemplos de Realidade Virtual na Educação	39
Capítulo IV – NVE’s - Networked Virtual Environments	43
4.1 O Processo de Virtualização	43
4.2 Imersão em ambientes virtuais	45
4.3 Presença em ambientes virtuais	46
4.4 Os NVE’s	47
4.4.1 A Presença em NVE’s	50
4.4.2 Avatares	51
4.4.3 Comunicação entre Usuários em NVE’s	53
Capítulo V – Viabilizando NVE’s em Redes Comuns de Computadores.....	56

5.1 A Rede em NVE's.....	56
5.1.1. Latência.....	56
5.1.2. Largura de Banda.....	57
5.2 A Comunicação em Redes.....	59
5.3 Topologias de Redes.....	60
5.3.1 Ponto-a-Ponto	61
5.3.2 Cliente-Servidor.....	63
5.3.3 Híbridas.....	65
5.4 Protocolos	67
5.4.1. DIS-Like Protocols	68
5.4.2 Game-Like Protocols	71
5.4.3 Comparação do Desempenho de Protocolos em Diversas Redes.....	72
5.4.4 Otimização de Tráfego de PDU's na Rede	72
5.5 Partição Espacial de NVE's	74
5.5.1. Partição Geográfica	75
5.5.2 Partição por Servidores Separados	77
Capítulo VI – ESCREV - A “Escola Realmente Virtual”	79
6.1 O NVE Proposto	79
6.2 A Utilização da ESCREV	81
6.3. Categorias de Entidades Virtuais.....	83
6.3.1 Objetos.....	84
6.3.2 Avatares	85
6.3.3. Simulóides	86
6.3.4. Assistentes Pessoais.....	86
6.3.5. Auxiliares de Professores	87
6.3.6. Simulóides de Reprodução de Ações	88
6.3.7. Outros	88
6.4 Recursos Disponíveis.....	89
6.4.1. Exploração em Realidade Virtual.....	89
6.4.2. Comunicação	92
6.4.3. Ferramentas Auxiliares.....	94
6.5 Modelos de Sub-Ambientes.....	99

6.5.1 Fórum.....	99
6.5.2 Sala de Aula.....	100
6.5.3 Laboratório	100
6.5.4 Exploratório	101
6.6 Uso Simultâneo e Especializações de ESCREV's.....	102
Capítulo VII – A Arquitetura Ataxia	103
7.1 O Modelo de Referência ESCREV.....	103
7.2 Características da Arquitetura.....	105
7.2.1 Arquitetura Híbrida e Distribuída.....	105
7.2.2 Padrão Aberto	106
7.2.3 Suporte a Implementações Multiplataforma.....	107
7.2.4 Arquitetura Escalar	107
7.2.5 Forte Dependência de Administração.....	107
7.2.6 Restrição ao Uso de Streaming.....	108
7.2.7 Minimização de Consultas Referentes a Restrições de Acesso.....	110
7.2.8 Emprego de Dead Reckoning	111
7.3 Componentes da Arquitetura	112
7.3.1 Servidores	112
7.3.2 Clientes	120
7.4 Utilização da Arquitetura Ataxia	124
7.5 O Protocolo PASSÁRGADa	127
7.5.1 Conexão de Clientes	133
7.5.2 Instanciação de Elementos.....	134
7.5.3 Manipulação de Elementos.....	134
7.5.4 Comunicação	135
7.5.5 Serviços Específicos da Arquitetura Ataxia	135
7.5.6 Outros	136
Capítulo VIII – Conclusões e Trabalhos Futuros	137
8.1 Principais Contribuições.....	137
8.2 Trabalhos Futuros	138
Apêndice A – A Implementação da Arquitetura Ataxia.....	140
Referências Bibliográficas.....	160

Lista de Figuras

Figura 1: Exemplo de simulação em realidade virtual de uma floresta tropical (Rolim, 2000).....	2
Figura 2: Exemplo de simulação em realidade virtual de um templo grego (Rolim, 2000).	3
Figura 3: Mapa de conexões do Projeto Infovias do Desenvolvimento (SECITECE, 2000).	16
Figura 4: Pessoa utilizando um HMD e um par de datagloves.	25
Figura 5: Modelo de estereopticon (Stereoscopic Dinosaur, 2000)	26
Figura 6: O Sensorama em 1965 (www.telepresence.org, 2000).....	28
Figura 7: Exemplo de imagem gerada no projeto VIDEOPLACE (Muller, 2000).....	30
Figura 8: A PowerGlove.....	32
Figura 9: Mapeamento de movimentos e expressões faciais reais em avatares, no sistema VISTEL (Ohia.et al., 1995)	54
Figura 10: Topologia ponto-a-ponto com comunicação unicast.	61
Figura 11: Topologia ponto-a-ponto com comunicação multicast.....	62
Figura 12: Topologia cliente-servidor.	64
Figura 13: Exemplo de topologia híbrida.	65
Figura 14: Particionamento por formas geométricas uniformes: a) hexágonos; b) quadrados.....	75
Figura 15: Vizinhança em: a) hexágonos; b) quadrados.	76
Figura 16: Exemplo de particionamento de ambiente virtual por locais (L1, ..., L5) (Funkhouser, 1995).....	76
Figura 17: Exemplo de vizinhança definida através do critério de visualização (Funkhouser, 1995).....	77
Figura 18: Exemplo do uso de portais onde um participante de C somente pode voltar a B através de A.	78
Figura 19: A ESCREV na forma de uma construção básica.	82
Figura 20: A ESCREV na forma de uma grande estrutura.....	83
Figura 21: Exemplos de objetos da ESCREV.	84
Figura 22: Exemplos de avatares encontrados na ESCREV (Rezende, 2000).....	85
Figura 23: Avatar identificado.....	90

Figura 24: Possibilidades de movimentação do personagem em flutuação tridimensional (Rolim, 2000).	91
Figura 25: Possibilidades de interação com um determinado objeto (Rolim, 2000).	91
Figura 26: Limite de influência de comunicação (Rolim, 2000).	93
Figura 27: Complementação da comunicação através de expressões faciais.	93
Figura 28: Exemplo de uso do serviço MakeYou Point (Albuquerque, 1997).	95
Figura 29: Exemplo de aplicação de whiteboard (esquerda) e tablet gráfico (direita) (Voice Coonections, 2000 e Aiptek, 2000).	96
Figura 30: Exemplos de micro-mundos implementados em VRML (Costa Filho, 1997; Albuquerque, 1997).	96
Figura 31: Exemplo de aplicação para áudio e videoconferência (Internet Phone, 2000).	98
Figura 32: Exemplo de sub-ambiente do tipo fórum (Rolim, 2000).	99
Figura 33: Exemplo de sub-ambiente do tipo sala de aula.	100
Figura 34: Exemplo de sub-ambiente do tipo laboratório.	101
Figura 35: Componentes definidos na arquitetura Ataxia.	112
Figura 36: Diagrama de implementação do roteador de mensagens.	114
Figura 37: Diagrama de implementação do componente gerenciador de eventos.	117
Figura 38: Diagrama de implementação do componente gerenciador de políticas de acesso.	119
Figura 39: Diagrama de implementação do componente fornecedor de mídias.	120
Figura 40: Diagrama de implementação do componente cliente de interação em realidade virtual.	122
Figura 41: Diagrama de implementação do componente cliente de administração.	124
Figura 42: Exemplo de emprego da arquitetura Ataxia em um único sub-ambiente.	126
Figura 43: Exemplo de emprego da arquitetura Ataxia em vários sub-ambientes simultaneamente.	127
Figuras 44 e 45 : Ambiente virtual implementado.	142
Figura 46: Sala de aula de Matemática.	142
Figura 47: Biblioteca.	143
Figura 48: Pátio.	143
Figura 49: Laboratório de Química.	143
Figura 50: Classes de especificação do protocolo.	145

Figura 51: Classes de comunicação.....	145
Figura 52: Classes para Armazenamento de Ocorrências.	146
Figura 53: Diagrama de classes do servidor de roteamento.	146
Figura 54: Diagrama de classes do servidor de ambiente.	147
Figura 55: Diagrama de classes do simulador QuimicaNet.	148
Figura 56: Diagrama de classes do servidor de validação.....	148
Figura 57: Diagrama de classes da BIA.	149
Figura 58: Diagrama de classes do SuperCIRV.	150
Figura 59: Servidor de roteamento.	151
Figura 60: Servidor de ambiente.	151
Figura 61: Simulador QuimicaNet.	152
Figura 62: Servidor de validação.....	152
Figura 63: BIA.....	153
Figura 64: DicServer.	153
Figura 65: Super CIRV.....	154
Figura 66: Quantidade de PDU's geradas por 1 (um) a 6 (seis) SuperCIRV's.....	155
Figura 67: Quantidade média individual de PDU's geradas por SuperCIRV's.....	155
Figura 68: Quantidade de respostas geradas pelo servidor de roteamento.....	156
Figura 69: Evolução da quantidade de PDU's geradas por 1 (um) a 6 (seis) SuperCIRV's.	156
Figura 70: Evolução da quantidade de PDU's geradas por 1 (um) a 6 (seis) SuperCIRV's e pelo servidor de roteamento.	157
Figura 71: Tempo decorrido entre a emissão de uma PDU, por parte do servidor de roteamento, e a apresentação de resultado da mesma por um SuperCIRV remoto...	158

Lista de Tabelas

Tabela 1: Aplicações atuais de ambientes virtuais (Mine, 1997).....	44
Tabela 2: A PDU DIS de estado de entidade.....	69
Tabela 3: Comparação do número de participantes suportados por DIS-like Protocols e game-like protocol em diferentes tecnologias de comunicação de dados (Dawson, 1998).....	72
Tabela 4: Modelo de referência ESCREV.....	103
Tabela 5: Conjunto de PDU's utilizadas no protocolo PASSÁRGADA.....	129
Tabela 6: Relação entre os componentes definidos pela arquitetura Ataxia e as aplicações implementadas.....	141
Tabela 7: PDU's do protocolo empregado nas implementações.....	144

Capítulo I

Introdução

1.1 Motivação

A educação a distância há muito vem sendo utilizada como ferramenta eficiente de aprendizado. A introdução de computadores, e seus recursos multimídia, como mediadores da comunicação entre instrutores e instruídos, aumentou sensivelmente as possibilidades de interação entre indivíduos. Nesse contexto específico, o emprego da Internet, principalmente de sua área gráfica, a *World Wide Web* (ou simplesmente *Web*), como meio de tornar disponível o conhecimento, gerou uma verdadeira revolução no modo como os cursos a distância podem ser ministrados.

Apesar de todo um novo conjunto de alternativas ao aprendizado apresentadas por ambientes multimídia, como é o caso da Web, a grande maioria das experiências realizadas ainda se prende a antigas idéias. A nova tecnologia pode ser mais bem utilizada não quando avaliada em termos de outras mídias anteriores, mas sim se examinando suas novas capacidades e utilizando-as de forma mais apropriada (Lawhead, 1997). Quanto a isso, Diller (1997) escreve:

“Passar um *best seller* para uma fita de áudio é re-empacotamento. Tirar artigos de uma revista e torná-los disponíveis de uma forma *on-line*, palavra por palavra – isso é re-empacotamento. Telefones não são simplesmente telégrafos de voz. Computadores não são simplesmente calculadoras com teclados. Devemos resistir ao imperialismo da Mídia – a tendência de colonizar, de definir novas tecnologias em termos do antigo. (...) Redefinir, não re-empacotar! Redefinir a missão de empreendimentos de risco é algo que pode ser demorado, mas não é perda de tempo. (...) Não há nada a ser ganho forçando-se novas oportunidades em caixas de experiências do passado. Um novo meio pode fortalecê-lo e liberá-lo, se você assim deixar. Mas se você não tentar conquistar o formato correto – se você tentar espremer sua revista através de um plugue telefônico e chamar isso de

interativo – você não irá a lugar algum. Por que você não terá meditado o suficiente sobre o que significa ser interativo.“

Na busca desse novo meio de tornar disponível o conhecimento, a tecnologia de realidade virtual surge como uma opção particularmente interessante. Podendo simular fenômenos do mundo físico, através do uso de programas e equipamentos especiais, ou mesmo incluindo elementos não necessariamente ligados à realidade, a realidade virtual mostra-se como uma nova mídia eletrônica a ser incorporada aos materiais comumente utilizados na comunicação como um todo, incluindo a educação a distância.

A justificativa final para o uso de realidade virtual na educação a distância advém da possibilidade de apresentar a complexidade de situações do mundo real de tal maneira que pessoas possam observar diretamente os resultados de suas próprias decisões (Jacobs, 1987). A integração da tecnologia de realidade virtual à Internet gera novas possibilidades no aprendizado de indivíduos, permitindo que qualquer um, a qualquer hora, em qualquer lugar possa compartilhar um mesmo espaço virtual.

Esse espaço compartilhado pode assumir o aspecto de uma sala de aula comum, para que professores apresentem conteúdos específicos para alunos; o de um grande auditório, para que indivíduos ministrem palestras e realizem debates; ou o de laboratórios com equipamentos sofisticados, para que pessoas possam realizar experimentos e avaliar resultados. Além disso, como não está necessariamente preso às regras do mundo real, esse mesmo espaço compartilhado pode, por exemplo, se tornar uma grande floresta tropical, repleta de plantas e animais falantes, que podem conversar com alunos e professores, mostrando o funcionamento de complexos ecossistemas (Figura 1).



Figura 1: Exemplo de simulação em realidade virtual de uma floresta tropical (Rolim, 2000).

Esse espaço virtual compartilhado também pode transportar seus participantes tanto no espaço, como no tempo, transformando-se, por exemplo, na região do oráculo de Delfos, em plena Grécia, no século V a.c., permitindo aos diversos usuários a realização de excursões extraordinárias. Pode-se notar que simplesmente não há limites para o conjunto de possibilidades de exploração desse tipo de recurso (Figura 2).



Figura 2: Exemplo de simulação em realidade virtual de um templo grego (Rolim, 2000).

O uso da realidade virtual, no entanto, esbarra em sérios problemas, dentre os quais podem ser destacados: o alto custo na aquisição de hardware especial, a complexidade na definição e implementação de estruturas computacionais de suporte à geração de estímulos a indivíduos, o controle de respostas a eventos oriundos de interações e a caracterização realista de ambientes. Somando-se a isso as necessidades específicas provenientes da utilização da Internet como meio de suporte ao compartilhamento de espaços virtuais a múltiplos usuários e os poucos recursos oriundos dos geralmente baixos orçamentos das instituições de ensino atuais, principalmente as públicas, um sério problema está caracterizado: como viabilizar a utilização de recursos de realidade virtual através da Internet para a educação a distância?

1.2 Objetivos

O presente trabalho apresenta a arquitetura Ataxia, que tem como função básica tornar disponível, através da Internet, espaços virtuais compartilhados a um baixo custo. Para que isso seja possível, a arquitetura Ataxia define um conjunto de componentes que podem ser executados em diversos microcomputadores comuns, de maneira simultânea, fornecendo o suporte às necessidades desse tipo de sistema multiusuário. Além disso, a

arquitetura Ataxia faz uso de um conjunto de técnicas voltadas para a minimização da utilização da rede de comunicação e para um melhor aproveitamento da estrutura distribuída de processamento como um todo.

Para atingir o objetivo principal do trabalho, que é a criação da arquitetura Ataxia, foi executada uma análise geral das ferramentas utilizadas na educação a distância, desde os primórdios da escrita até o surgimento da Internet. Também foi realizado um levantamento sobre a realidade virtual e seus possíveis empregos, destacando-se seus atuais usos na educação. Foi feito, também, um estudo acerca de NVE's (*Networked Virtual Environments* – sistemas multiusuários de realidade virtual), incluindo as diversas técnicas empregadas para tornar disponíveis suas respectivas informações através de redes de computadores comuns.

A partir de todas as informações obtidas, foi proposta a ESCREV – a Escola “Realmente” Virtual, que consiste de um modelo básico que descreve as necessidades básicas de uma escola virtual voltada para a educação a distância através da Internet. Da análise das necessidades da ESCREV, surge, então, a arquitetura Ataxia e um conjunto de implementações para a realização de testes práticos e para a comprovação da viabilidade dos componentes dessa arquitetura.

1.3 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho encontra-se organizado em oito capítulos e dois anexos, cujos conteúdos estão resumidos a seguir.

No Capítulo II, define-se o que vem a ser a educação a distância; apresenta-se a evolução da educação a distância nos contextos mundial, brasileiro e cearense e, ao final, expõe-se e discute-se a utilização da Internet como ferramenta de apoio à educação a distância. No Capítulo III, a tecnologia de realidade virtual, incluindo sua evolução, é apresentada, e exemplos práticos de sua utilização em educação local e a distância são expostos e discutidos. No Capítulo IV, discutem-se os conceitos de virtualização, imersão e presença; estendendo-os, em seguida, a estruturas utilizadas por mais de um participante simultaneamente. Ao final desse capítulo, discute-se o emprego de personagens virtuais para a personificação de participantes e as conseqüentes implicações na comunicação entre usuários. No Capítulo V, apresenta-se a tecnologia de realidade virtual, conceituando-a

mais formalmente e mostrando sua evolução e exemplos de seu uso na educação. No Capítulo VI, apresenta-se o modelo ESCREV de escola virtual voltada para a educação a distância através da Internet, expondo-se suas características e recursos básicos e definindo-se todas as categorias de elementos possíveis em sua estrutura. No Capítulo VII, apresenta-se o modelo de referência ESCREV, baseado no modelo de escola virtual ESCREV. A partir desse modelo de referência, expõe-se a arquitetura Ataxia, incluindo-se as características e os componentes definidos pela mesma. No Capítulo VIII, apresentam-se algumas conclusões finais do trabalho e enumeram-se alguns possíveis trabalhos futuros. O Apêndice A apresenta as atuais implementações da arquitetura Ataxia.

Capítulo II

A Educação a Distância antes da Realidade Virtual

A preocupação de educar um número cada vez maior de indivíduos distribuídos, muitas vezes, em extensas regiões geográficas fez surgir uma modalidade específica de educação, denominada de educação a distância, que vem, a cada dia, se aprimorando com os avanços tecnológicos mais recentes. Nesse capítulo, primeiramente define-se o que é educação a distância. Em seguida, apresenta-se um breve histórico da educação a distância num contexto mundial, seguido de discussões no contexto nacional e no do Estado do Ceará. E, finalmente, discute-se o uso da Internet como meio de comunicação para a viabilização da educação a distância.

2.1 O Que é Educação a Distância

Yoakam (1996) define educação a distância como sendo o processo que fornece uma ligação entre instruídos e instrutores, de um lado, e a informação remota, de outro lado, fazendo uso de alguma tecnologia. Apesar de consistente, essa definição não apresenta o principal diferencial da educação a distância, quando comparada aos modelos de ensino comuns. Esse diferencial é o conceito de distância espacial e temporal entre o instrutor e os instruídos, e a necessária comunicação em duas vias entre os mesmos. Por sua vez, Jeffries (2000) estabelece, a partir das noções desenvolvidas em Garrison (1987) e Shale (1988), um conjunto de critérios necessários para caracterizar educação a distância:

- educação a distância implica em que a maior parte da comunicação educacional ocorre de forma geograficamente remota;
- educação a distância envolve comunicação em dois sentidos entre professor e aluno com o propósito de facilitar e dar suporte ao processo educacional; e,
- educação a distância utiliza tecnologia para mediar a comunicação em duas vias.

Dessa forma, a educação a distância pode fornecer subsídios àquilo que Mugridge (1991) convencionou chamar de Open Learning. O Open Learning é uma maneira de prover quaisquer oportunidades educacionais a qualquer um, em qualquer lugar, a qualquer hora. É importante notar que para que isso seja possível – como foi enfatizado posteriormente em (Yoakam, 1996) e (Jeffries, 2000) – a tecnologia empregada tem de ser a responsável direta pelo processo de transmissão da informação.

Logo, pode ser percebido que o processo de educação a distância é influenciado pelos mais diversos meios de comunicação, podendo ir do envio de uma simples carta à utilização de redes de computadores, passando pela utilização do rádio e da televisão. A adoção de cada uma dessas tecnologias é um dos fatores a serem considerados no que tange ao alcance do aprendizado. Assim, a evolução das tecnologias de comunicação pode definir as diversas fases pelas quais a educação a distância tem passado.

2.2 A Evolução da Educação a Distância

Do surgimento da escrita à invenção do computador, a humanidade vem assistindo à progressiva evolução da educação a distância. Surgida inicialmente como um modelo educacional baseado na simples troca de idéias entre dois indivíduos, a educação a distância tornou-se, mais tarde, também uma maneira eficiente de se prover conhecimento às massas – principalmente após o aprimoramento dos sistemas de correios e ao surgimento de novos meios de comunicação como o telefone, o rádio e a televisão. A seguir é descrita a evolução da educação a distância com relação aos contextos mundial, brasileiro e cearense.

2.2.1 A Educação a Distância no Contexto Mundial

Uma descrição, em ordem cronológica, da evolução da educação a distância é encontrada em Spodick (1995) e Jeffries (2000). Segundo esses autores, a criação da educação a distância remonta ao advento da própria escrita, quando os manuscritos foram, por muitos séculos, os únicos meios utilizados para disseminação de conhecimento a comunidades afastadas do centro de produção desse conhecimento. Naquele período, a

comunicação em dois sentidos entre o escritor e o leitor era bastante dificultada em função das grandes distâncias entre eles e da precariedade dos sistemas de mensagens e dos meios de transporte. Havia também o problema da restrição do acesso a esse tipo de material por determinadas camadas da sociedade, principalmente devido à alta taxa de analfabetismo.

A criação dos tipos móveis por Gutemberg, e o conseqüente surgimento da imprensa, mostrou-se como a primeira revolução tecnológica nos meios de comunicação. Isso, combinado aos emergentes serviços postais internacionais, culminou na criação dos primeiros cursos por correspondência – o principal material de educação a distância entre meados do Século XIX e primórdios do Século XX. A noção de comunicação em dois sentidos entre o professor e o aluno começava a se tornar mais prática.

Em 1892, a Penn State University, nos Estados Unidos, iniciou seu primeiro curso por correspondência. Atualmente, essa instituição recebe aproximadamente 20.000 matrículas por ano e utiliza-se de materiais muito mais modernos que o simples material impresso, como recursos de áudio e vídeo, teleconferência, e-mail, Web, entre outros (Penn State, 2000). Essa evolução em mídias, porém, demorou bastante a acontecer.

No começo do Século XX, surgiram os primeiros dispositivos audiovisuais. Em 1910, foi confeccionado o primeiro catálogo de filmes educativos e, na década de vinte, apareceram os primeiros slides e projeções animadas (Reiser, 1987).

A invenção do transmissor de rádio caracterizou a próxima fase da educação a distância. Nessa fase, foram elaborados os primeiros programas voltados para a educação das massas, reduzindo-se, assim, a barreira da distância. Em 1932, a State University of Iowa, E.U.A., transmitiu os primeiros cursos a distância através desse meio de comunicação. No entanto, ainda naquela década, atestou-se a falência do rádio instrucional, uma vez que somente o recurso de transmissão de sons restringia bastante o processo de educação como um todo.

A invenção da televisão, ainda na década de 30, fez ressurgir a proposta de educação a distância para massas – já que agora era possível transmitir tanto sons como imagens. Mas, a utilização do meio televisivo nas escolas sofreu um certo atraso durante a Segunda Guerra Mundial. Porém, a utilização, de forma eficaz, dos métodos audiovisuais no treinamento de militares durante o período de guerra (Wright, 1991), acabou dando novo impulso à adoção desses métodos em escolas no período pós-guerra (Reiser, 1987).

Na década de 40, o interesse pelo uso da televisão ressurgiu, sendo mais uma vez a State University of Iowa, E.U.A., a primeira universidade do mundo a experimentar esse meio de comunicação para fins de educação. A partir dessa época, começaram a surgir programas educativos para a televisão, complementados por estudos por correspondência. Em 1956, Gayle Childs realizou um estudo sobre o impacto dessa combinação no aprendizado de alunos e concluiu que a televisão não é um método instrucional, mas sim um instrumento para transmitir instrução, não havendo diferenças de ganho no nível de aprendizado (Almeda, 1988). Entretanto, a utilização da televisão (ou do rádio) apresentava alguns sérios problemas: a comunicação era apenas unidirecional e a programação só estava disponível ao vivo.

O aparecimento das fitas de áudio e de vídeo e da fotocópia permitiu que a confecção de materiais didáticos fosse realizada a um menor custo, o que, aliado à expansão do sistema telefônico em várias partes do mundo, acabou por possibilitar a comunicação direta entre alunos e professores (Douglas, 1993). Nas últimas décadas, assistiu-se a um grande aumento na utilização da televisão como meio de difusão de conhecimento, devido, principalmente, ao aprimoramento das tecnologias de micro-ondas e de satélites. Os críticos, porém, continuam a acusá-la de ser simplesmente um passivo transmissor de informação acadêmica (Cartwright, 1994).

Durante os anos 60 e 70, algumas mudanças tais como o custo cada vez mais elevado da educação universitária, o aumento do interesse pela educação não tradicional por uma população mais móvel e o sucesso da Open University britânica pavimentou o caminho para numerosos experimentos em educação superior (Gerrity, 1976).

A Open University, em 1971, iniciou suas atividades no Reino Unido, matriculando cerca de 24.000 estudantes. Utilizando-se de recursos variados, indo das simples apostilas ao rádio, a Open University contava, em 1996, com mais de 150.000 alunos em 350 cursos de graduação e pós-graduação (Open University, 2000). Esse modelo de educação a distância, baseado em vários recursos de apresentação da informação, foi também empregado por muitas instituições, destacando-se os cursos de graduação externos da Univeristy Without Walls, nos EUA (Jeffries, 2000).

Em 1979, a China criou uma rede integrada de rádio e televisão para a educação de adultos. Essa rede foi utilizada para atender à grande demanda que o sistema normal de

educação não comportava. Atualmente, mais de 530.000 alunos encontram-se hoje matriculados em cerca de 350 cursos básicos e especializados (China, 2000).

Nessa mesma época, a utilização dos mais diversos meios de comunicação para a transmissão de informações foi avaliada em escala mundial, incluindo-se as teleconferências¹.

O surgimento da áudio-conferência, baseada em telefone, teve um papel importante na comunicação necessária à educação a distância, sendo porém um meio caro e não muito apropriado, já que não era prático para o professor instruir todos os seus alunos simultaneamente dessa maneira. Máquinas de fac-símile facilitaram a comunicação entre o grupo difusor de informação e os alunos, agilizando principalmente tarefas administrativas (gerenciamento de matrículas, emissão de boletins, etc.), porém acarretaram em custos elevados e em pouca praticidade (DeLoughry, 1994).

Com o aprimoramento das tecnologias de comunicação de dados, surgiu a videoconferência de sala (*room videoconference*), que é um caso particular de teleconferência envolvendo a transmissão de áudio e vídeo em tempo real entre vários participantes. Essa técnica, embora bastante utilizada hoje, tem seu emprego restrito a aplicações especiais, devido ao grande volume de dados gerados em pequenos intervalos de tempo. Em geral, para evitar problemas de transmissão que inviabilizem a execução dessa tarefa, os recursos necessários são superdimensionados e incluem equipamentos de alta tecnologia e circuitos de comunicação dedicados, o que faz com que os custos sejam altíssimos (Moura Filho, 1998).

Nos últimos anos, com a popularização dos computadores, surgiu uma forte tendência em se utilizar a junção de elementos da computação, das telecomunicações e das artes e técnicas gráficas e visuais – aquilo que Dreifuss (1996) convencionou chamar de complexo teleinfocomputrônico – como principal meio de tornar disponível o conhecimento. O avanço do hardware, tornando disponíveis microcomputadores com recursos de armazenamento e processamento de texto, áudio, vídeo, animação, entre outros, tem possibilitado a combinação desses diversos meios, gerando um grande impacto na educação (Quartiero, 1999).

¹ Conjunto de possibilidades de comunicação em tempo real envolvendo a transmissão e recepção de diversos tipos de mídia e uma possível combinação das mesmas (Oliveira, 1996).

Atualmente, mais de 80 países, nos cinco continentes, fazem uso da educação a distância em todos os níveis de ensino (Nunes, 2000). O Brasil, dentre eles, vem ganhando importância no que se refere à abrangência de cursos e tecnologias.

2.2.2 A Educação a Distância no Contexto Brasileiro

A utilização de técnicas de ensino a distância, não baseadas em publicações impressas, iniciou-se no Brasil na década de 70. Após muitas experiências – algumas delas mal-sucedidas – esse tipo de ensino acabou por se popularizar nas décadas seguintes, devido principalmente à sua praticidade e ao seu baixo custo.

A primeira experiência real de educação a distância efetuada no Brasil foi realizada pela Fundação Educacional e Cultural Padre Landell de Moura – FEPLAM. Essa instituição foi responsável pela criação do programa de rádio “Colégio do Ar” e da série de cursos profissionalizantes “Aprenda pela TV”, em 1973. Essa experiência logrou sucesso e acabou se estendendo a outros projetos. Desde então, até 1992, a FEPLAM já havia beneficiado uma enorme quantidade de pessoas: 110.703 alunos ao nível de alfabetização, educação básica, pré-escola e educação supletiva; 53.000 alunos na área de educação cívico-social, incluindo programas de educação comunitária e de reforço de currículo escolar; 391.509 alunos em cursos de capacitação rural e palestras informativas e 60.401 alunos em cursos de iniciação profissional, tais como mecânica de automóveis, conserto de eletrodomésticos, operação de computadores e outros (Malheiros, 1992).

O projeto ACESSO, uma iniciativa mantida pela Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRÁS, em parceria com o Centro de Ensino Técnico de Brasília – CETEB, foi Criado em 1975. O ACESSO baseia-se no ensino autônomo por parte do aluno. São ministrados cursos de 1º e 2º graus supletivos, divididos em módulos, incluindo profissionalização específica para a indústria petrolífera. O aluno é aprovado após demonstrar suficiência em instrumentos auto-instrucionais em cada um dos módulos estudados. Voltado para funcionários entre 20 e 40 anos, com mais de cinco anos de interrupção de estudos regulares, o ACESSO já havia formado, até 1999, 2.258 alunos.

O licenciamento, em meados da década de 70, do material da Open University inglesa, incluindo direitos de tradução, por parte da Universidade de Brasília – UnB, foi a primeira iniciativa universitária de educação a distância no Brasil. A tentativa não teve

sucesso, principalmente devido ao conturbado período político que vivia o País. A diretoria daquela universidade, ligada ao regime militar antidemocrático, defendia a adoção do novo modelo em substituição total às aulas presenciais. Além disso, a maneira como foi conduzido o projeto acabou por impossibilitar a colaboração crítica dos quadros da própria universidade na produção, avaliação e administração dos recursos. Trabalhos com educação a distância acabaram cessando em poucos anos.

Mais tarde, em 1985, com a democratização da UnB, novos experimentos lograram êxito. O curso sobre a Constituição Brasileira, que estava por ser re-elaborada naquela época, levou ao debate mais de 100.000 alunos em todo o País. Com o sucesso desse curso, muitos outros foram criados, grande parte deles em estreita colaboração com os quadros da Universidade, dentro da área de extensão Universitária com a supervisão direta da Reitoria.

Atualmente, a UnB conta com um Centro de Educação Aberta, Continuada e a Distância – CEAD, que já produziu vários cursos de grande sucesso. O de maior destaque é o “Direito Achado na Rua”, coordenado pelo Prof. José Geraldo de Sousa Júnior, utilizado também em outras universidades e outras organizações da sociedade civil. Esse curso transformou-se em “Introdução Crítica ao Direito”, e é ministrado através de materiais impressos, vídeo e tutoria a distância. Além desse, a UnB produziu cursos sobre Abuso de Drogas, Freud, Introdução à Informática e vários outros (Nunes, 2000).

Em 1978, o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI, de São Paulo, criou, a nível experimental, o programa Auto-Instrução com Monitoria (AIM). A partir de 1980, o AIM tornou-se regular, oferecendo cursos de leitura e interpretação de desenho técnico mecânico, matemática básica e eletrônica. Mais tarde, foram criados, também, cursos de tecnologia mecânica, usinagem, elementos de máquinas, resistência de materiais, formação de microempresários e outros. Entre 1980 e 1990, cerca de 23.700 alunos concluíram cursos ofertados pelo AIM (SENAI, S/d).

Algumas outras experiências realizadas no Brasil também merecem ser destacadas. A Associação Brasileira de Tecnologia Educacional iniciou, em 1980, o Programa de Aperfeiçoamento do Magistério de 1º e 3º Graus a Distância. Esse programa atendeu, até 1991, 18.368 professores-alunos, localizados em 697 municípios, incluindo-se convênios com secretarias de educação e universidades. A Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior já formou, desde 1982, mais de 5.000 profissionais em sua pós-graduação *latu-sensu* baseada em tutoria a distância. A Fundação Brasileira para o

Desenvolvimento do Ensino de Ciências ofereceu um curso de matemática por correspondência voltado a professores de 1º grau. Esse curso foi veiculado pelo Jornal do Professor, editado pelo Instituto Nacional de Estudos Pedagógicos, recebeu 24.934 inscrições, sendo que até 1991, 7.000 alunos haviam concluído a primeira parte do curso (Nunes, 2000).

Iniciativas como essa aconteceram em várias regiões do País, principalmente devido à grande extensão do território brasileiro com um grande número de analfabetos e com uma grande carência por mão-de-obra especializada. Nesse cenário destaca-se o Estado do Ceará, com a introdução de uma política intensiva de telensino.

2.2.3 A Educação a Distância no Contexto do Estado do Ceará

Em 1974, foi criada a Fundação de Teleducação do Ceará – FUNTELC. Vinte anos depois, o Estado do Ceará passou a ter o telensino como principal responsável pela oferta das quatro séries finais de seu ensino fundamental. A utilização da televisão como meio de transmissão em massa da informação, aliada ao trabalho local do orientador de aprendizagem e à adoção de livros didáticos como complemento pedagógico, levaram o Estado a obter um relativo sucesso. Desde sua criação, a FUNTELC passou a implantar telessalas em grande parte dos municípios do Estado. No ano de sua criação, contava com 4.139 telealunos, nas 5ª e 6ª séries, distribuídos em 8 municípios. Em 1992 já contava com 60.822 telealunos cursando da 5ª a 8ª séries, distribuídos em 94 municípios, 400 distritos, 725 escolas e 2.300 telessalas. Em 1993, a matrícula passou a 102.170 alunos, atingindo 150 municípios. (Mesquita, 1992).

Apesar de todos os esforços despendidos para com o telensino, o Estado do Ceará vem enfrentando sérios problemas de qualificação de seus orientadores de aprendizagem. Segundo Farias (1998), dos 7.129 orientadores de aprendizagem em todo o Estado, em 1998, 77% têm apenas o 2º grau (nível médio), sendo que 46% desse total possuem habilitação para o magistério (normal) e 31% têm outra formação. Os 23% restantes apresentam-se com formação superior sendo que apenas 17% desses são portadores de licenciatura. Considerando-se esse perfil, no Ceará, há uma necessidade de habilitar emergencialmente uma grande quantidade desses docentes. Para isso, o Governo tem negociado parcerias com as universidades instaladas no Estado de forma a contemplar em

pequena escala as licenciaturas tradicionais por disciplina (licenciaturas em matemática, em física, etc.) e a oferecer, de forma mais abrangente, um novo tipo de licenciatura – a do orientador de aprendizagem – de forma a incorporar tal contingente numa licenciatura específica. Essa tem caráter polivalente, exigindo o domínio de conteúdos curriculares da 5ª a 8ª séries, o conhecimento de toda a problemática das relações da dinâmica de grupo, de sistema de avaliação e da educação a distância (CEC, 2000).

A necessidade de treinamento de um grande contingente de professores despreparados para o ensino de 1º e 2º graus é reforçada pela exigência da nova Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, Lei 9394/96, a LDB, (LDB, 1996), que estabeleceu as seguintes diretrizes em relação à formação dos docentes que vão atuar ou que atuam na Educação Básica:

"Art. 62 - A formação de docentes para atuar na educação básica far-se-á em nível superior, em curso de licenciatura, de graduação plena, em universidades e institutos superiores de educação, admitida como formação mínima para o exercício do magistério na Educação Infantil e nas quatro primeiras séries do ensino fundamental, a oferecida em nível médio, na modalidade Normal."

Na seqüência de um detalhamento do que dispôs a LDB no seu art. 62, a Resolução n.º 3/97 da Câmara de Educação Básica do Conselho Nacional de Educação (Resolução, 1997), no Art, 4º, assim determina:

"Art. 4º - O exercício da docência na carreira do magistério exige, como qualificação mínima:

I – ensino médio completo, na modalidade normal, para a docência na educação infantil e nas quatro primeiras séries do ensino fundamental;

II – ensino superior em curso de licenciatura, de graduação plena, com habilitações específicas em área própria, para a docência nas séries finais do ensino fundamental e no ensino médio;

III – formação superior em área correspondente e complementação nos termos da legislação vigente, para a docência em áreas específicas das séries finais do ensino fundamental e do ensino médio."

O Conselho Nacional de Educação também estabelece critérios para a implementação dos programas de desenvolvimento profissional de docentes em exercício, no Parágrafo Único, do Art. 5º, da mesma Resolução, considerando:

- I – a prioridade em áreas curriculares carentes de professores;
- II – a situação funcional dos professores de modo a priorizar os que terão mais tempo no exercício a ser cumprido no sistema;
- III – a utilização de metodologias diversificadas, incluindo os que empregam recursos de educação a distância.

Fundamentada também nesse último item, foi proposta a criação de um programa de educação a distância específico. Esse programa está voltado essencialmente para suprir as necessidades de capacitação do quadro de docentes da rede pública de ensino. Ele explora os avanços tecnológicos recentes em computação e comunicação, possibilitando obter sensíveis ganhos em termos de tempo de re-treinamento. Para isso, entretanto, foi necessária a implantação de uma “Rede Estadual de Telecomunicações”, capaz de trafegar dados, som e imagem. (Pequeno, 1998).

Está sendo criada, dessa forma, uma Rede de Vídeo-Conferência e uma Rede de Dados (Figura 3), onde a Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará – SECITECE foi a responsável pela coordenação da implantação da infra-estrutura de comunicação necessária, através do Projeto Infovias do Desenvolvimento.

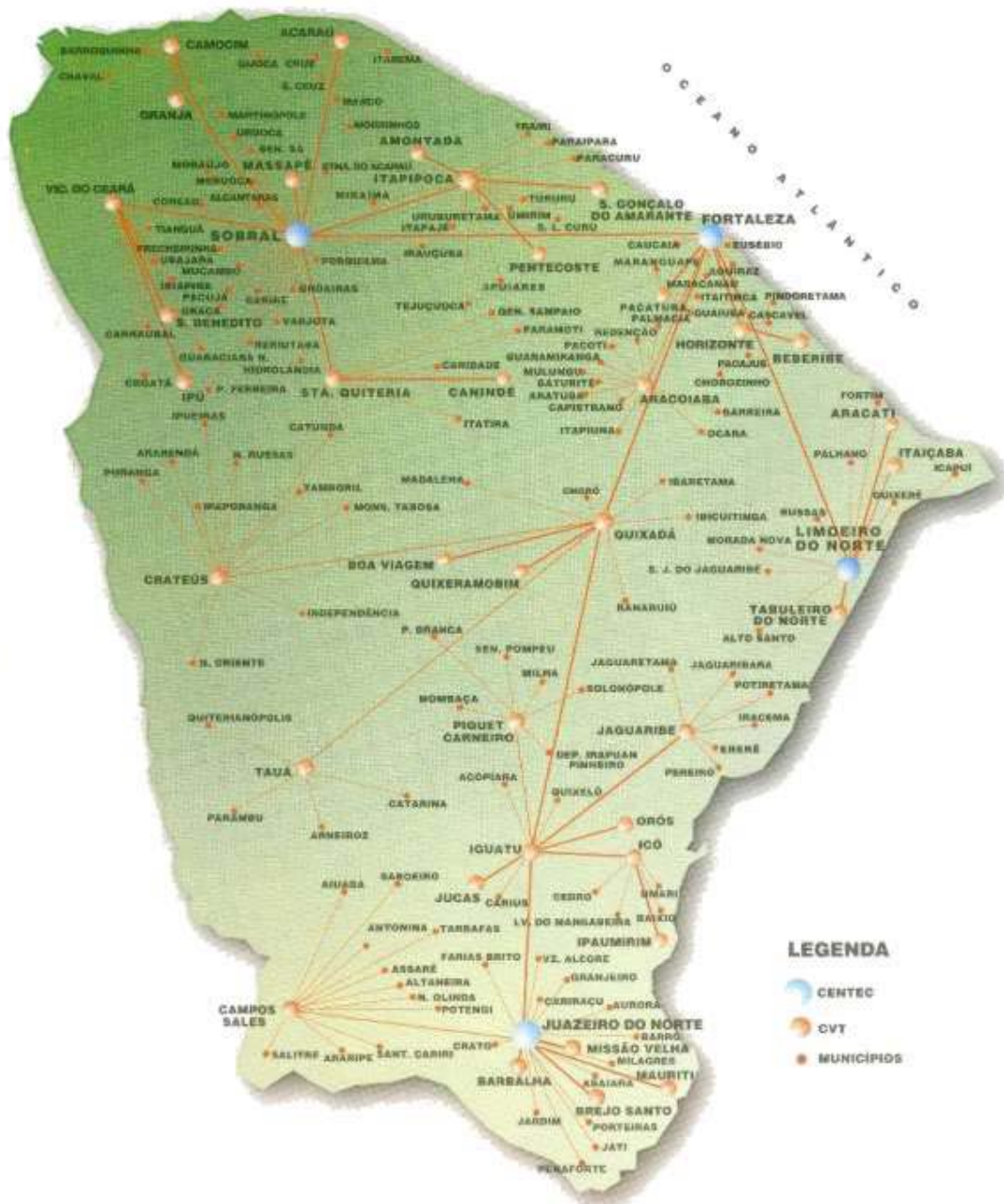


Figura 3: Mapa de conexões do Projeto Infovias do Desenvolvimento (SECITECE, 2000).

A rede de videoconferência prevista compreenderá uma sala especial, localizada na própria SECITECE, onde as conferências serão proferidas, e oito salas de recepção, instaladas nos Centros Vocacionais Tecnológicos – CVT’s, dos municípios de Acaraú, Santa Quitéria, Iguatu, Jaguaribe e Crateús e nos Centros de Ensino Tecnológico – CENTEC’s, dos municípios de Limoeiro do Norte, Sobral e Juazeiro do Norte. A transmissão de informações será realizada através de fibras ópticas e, opcionalmente, via

satélite, em trechos onde não for possível instalar cabeamento terrestre. A velocidade de transmissão será de 256 Kbps.

A rede de dados proposta está dividida em dois segmentos, o da Capital e o do Interior, com informações trafegando a uma velocidade de 64Kbps. Do segmento da capital participam o Instituto do Software do Ceará, escolas públicas, a Universidade Federal do Ceará, a Universidade Estadual do Ceará, o Centro de Formação de Instrutores e a SECITECE. E do segmento do interior participam os oito pontos de videoconferências anteriormente citados (cinco CVT's e três CENTEC's).

Ainda segundo Pequeno (1998), está prevista, também, a participação de instituições locais nesse projeto, sendo as mesmas responsáveis pelo oferecimento de cursos a distância que supram a demanda no Estado.

A Universidade Federal do Ceará deverá ministrar, inicialmente, cursos de Licenciatura Plena em Matemática, Física, Química e Biologia a professores do ensino fundamental. Posteriormente, um curso de Especialização em Gestão Escolar será ofertado a diretores e professores da rede pública de ensino. Deverá ser oferecido, ainda, um curso de Especialização em Capacitação Pedagógica para graduados em áreas profissionalizantes (agronomia, engenharias, direito, etc.) que queiram dedicar-se ao ensino fundamental, obedecendo às exigências da nova LDB.

A Universidade Estadual do Ceará, através do Núcleo de Educação Continuada e a Distância, oferecerá inicialmente o curso de Formação de Professores para o Ensino Fundamental, destinado a professores das redes públicas de ensino estadual e municipal. Deverá ser oferecido também um curso de especialização para gestores de escolas da rede pública, além de diversos "Cursos de Extensão". Esses últimos serão cursos de profissionalização/atualização de curta duração voltados para profissionais liberais e grupos específicos.

A Escola de Saúde Pública do Ceará deverá oferecer seminários sobre saúde da família, através de videoconferência. Médicos e enfermeiros receberão, dessa forma, educação continuada abordando tópicos gerenciais e clínicos.

A Secretaria de Educação Básica do estado do Ceará deverá oferecer um Curso de Formação Continuada em Informática na Educação. Esse curso tem como objetivo propiciar, a professores multiplicadores de NTE's, embasamento pedagógico necessário à utilização de computadores na educação.

Os diversos cursos oferecidos permitirão interações diretas e indiretas. As interações diretas compreenderão aulas de videoconferência uma vez por semana para cada curso e a utilização de ferramentas de *chat*² para a Internet. As interações indiretas deverão se dar através de ferramentas de correio eletrônico via Internet. Material didático impresso também será utilizado.

2.3 A Internet na Educação a Distância

A interligação de microcomputadores em redes eletrônicas mundiais surge como uma resposta ao problema de comunicação bidirecional, presente na grande maioria dos meios utilizados na educação a distância. As redes de comunicação digital permitem que professores e alunos possam comunicar-se de forma rápida e eficiente. A Internet, a maior rede mundial de computadores, em particular, permite a manipulação de informações e novas maneiras de formação de conhecimento, de um modo mais rápido e com objetivos mais amplos do que qualquer outro recurso tecnológico até hoje utilizado (Lucena, 1999).

A Internet mostra-se atualmente como uma espécie de enciclopédia humana (Lucena, 1997), onde grande parte do conhecimento de toda a humanidade se encontra armazenado, e em constante expansão. A grande facilidade na distribuição de informações através dessa grande rede advém, principalmente, da utilização da Web e de recursos conjugados de comunicação, como o correio eletrônico e as listas de discussões; essa rede está, assim, provendo mecanismos para mudanças fundamentais na maneira como as pessoas aprendem (Spodick, 1995).

Santos (1999) reúne algumas das atuais experiências de sucesso na utilização da Internet como ferramenta para a educação a distância, onde podem ser destacados:

- The Internet Public Library (<http://www.ipl.org/ref>) – biblioteca virtual reunindo sites com informações e software sobre uma gama muito variada de tópicos curriculares e de interesse geral. Essa biblioteca apresenta uma interface e conteúdos selecionáveis e configuráveis para dois tipos de usuários (adolescentes e jovens);

² Aplicações que fazem uso de mensagens de texto, e algumas vezes, também, elementos multimídia, a fim de permitir a comunicação de indivíduos através de uma rede de computadores.

- Projeto Kidlink (Lucena, 1997) – projeto que integra alunos de diversas partes do mundo através de canais de IRC (Internet Relay Chat). A troca de experiências (informações sobre as regiões em que moram, situações em que vivem, etc.) entre alunos é incentivada por professores na forma de trabalhos em grupo;
- LearningSpace (<http://www.lotus.com/home/nsf/tabs/leanspace>) – ambiente para desenvolvimento de cursos a partir de bases de dados Lotus Notes interconectadas. Professores podem tornar disponíveis materiais para estudos (textos, vídeos, gráficos, planilhas eletrônicas, etc.) a diversos alunos, os quais podem manter discussões entre si e com o professor, para o compartilhamento de informações e execução de trabalhos em grupo;
- WebCT (<http://homebrew1.cs.ubc.ca/webct/>) – sistema para a criação de ambientes educacionais baseados na Web, fornecendo uma variedade de ferramentas, como chat, recursos para organização de projetos em grupo, mecanismos de auto-avaliação, criação de *home-pages* de alunos, etc.;
- AulaNet (<http://aulanet.les.inf.puc-rio.br/aulanet/>) – ambiente para criação, manutenção e assistência de cursos na Web. O conteúdo dos cursos pode ser apresentado como transparências, textos de aulas, vídeos, etc. Estão disponíveis, também, recursos de correio eletrônico, grupos de discussão, chat, videoconferência entre outros (Lucena et al., 1998); e,
- CaMILE – Collaborative and Multimedia Interactive Learning Environment (<http://www.cc.gatech.edu/gvu/edtech/CaMILE.html>) – ambiente assíncrono de suporte à colaboração para Web, com o objetivo de estimular a aprendizagem. Todos os acessos ao sistema são realizados através do navegador Web, que acessa um servidor único. A interface do sistema é baseada em formulários e é igual para todos os usuários. Sua utilização é bastante semelhante a uma ferramenta de newsgroups³, mas, segundo Gudzial (1997), uma diferença importante entre newsgroups e CaMILE é que esse ambiente apóia colaboração ancorada, ou seja, cada

informação em um formulário pode conter hiperlinks para outras informações no mesmo ou em outro formulário.

2.3.1 Grupos de Colaboração

A metodologia educacional presente na grande maioria dos cursos oferecidos via Internet faz uso de grupos de colaboração. Apesar de o aluno se tornar parte ativa do grupo de aprendizagem (onde também está inserido o instrutor), ele pode proceder a seu estudo e à compreensão de fatos em uma base individual, independente da velocidade dos demais participantes do grupo. Dessa forma, estabelece-se uma relação de aprendizagem colaborativa, onde se enfatiza a cooperação entre membros do grupo através da participação ativa e interação entre alunos e professores. Possibilita-se, assim, o surgimento de novos conhecimentos a partir do diálogo entre todos aqueles que partilham idéias e informações (Bourton, 1983 e Whipple, 1987).

Com a utilização de recursos de comunicação simples assíncrona (mensagens eletrônicas, newsgroups e outros) ou síncrona (IRC e outros), foram criados serviços de conferência, onde professores podem discutir com seus alunos sobre os mais diversos assuntos. Esses grupos têm, geralmente, um indivíduo responsável pelos processos de inclusão e exclusão de participantes, sendo quase sempre o instrutor o responsável por essa tarefa. Uma única questão pode ser feita a todo o conjunto de alunos que tem acesso àquele fórum de discussão, possibilitando uma maior integração do grupo como um todo, bem como a possibilidade de geração de novas dúvidas e conseqüentes discussões (Bjedov, 1995 e Dankel, 1997).

Esse tipo de discussão através da Web apresenta também um aspecto bastante interessante no que se refere à comunicação entre professores. O compartilhamento de conhecimento, as trocas de idéias e a comparação de estratégias de ensino entre diferentes professores são atividades capazes de tornar, posteriormente, o ensino a distância mais eficiente, privilegiando o aluno (Lawhead et al., 1997).

³ Serviço que armazena mensagens de uma forma hierárquica, geralmente perguntas e respostas, de um grupo de usuários de um sistema em rede.

Da mesma forma, e utilizando-se dos mesmos mecanismos, um professor pode realizar atividades de perguntas e respostas, onde, após o professor apresentar uma pergunta a todos, cada aluno deve fornecer suas próprias respostas, antes de poder consultar as respostas dos demais. Permite-se, assim, uma maior e igual participação de todos. Isso pode representar um enorme ganho em relação às aulas presenciais, onde tais discussões são geralmente dominadas pela mesma pequena percentagem de alunos (Turoff, 1995).

A resolução de problemas e a execução de tarefas de forma colaborativa permitem ao instrutor acompanhar cada um dos participantes do grupo de aprendizagem, a fim de proceder com a exposição de material auxiliar e tarefas. Após as discussões, os alunos podem se reunir em grupos de três a sete membros e trabalhar em uma tarefa de grupo. A aceitação de *feedback* e críticas, nesse caso, torna-se mais fácil devido ao pequeno número de alunos e ao menor contato pessoal mantido pelos mesmos (Hartley et al., 1996).

Pesquisas mostram que para alunos maduros e motivados, o modelo de aprendizagem colaborativa tem sido bem mais interativo e mais eficiente que o tradicional (físico) (Welsch, 1982; Davie, 1984 e Harasim, 1990).

2.3.2 Vantagens da Utilização da Internet na Aprendizagem a Distância

Em Lawhead et al. (1997) são encontradas algumas das principais vantagens da utilização da Web como ferramenta de aprendizado, entre as quais podem ser destacadas:

- **Acessibilidade** – a possibilidade de acessar material de qualidade (desde os textos mais genéricos aos modelos de simulação mais específicos) a partir de virtualmente qualquer ponto do planeta, a um baixo custo relativo, mostra-se como um enorme diferencial, quando comparamos a Internet aos demais meios utilizados para a educação a distância. Adicionando-se a isso o fato de que esse material pode ser consultado em praticamente qualquer horário, mesmo em áreas remotas, onde o ensino comum não pode ser oferecido, a Internet apresenta um enorme potencial de comunicação – devido principalmente à sua interatividade. E, devido também a essa interatividade, existe a possibilidade de comunicação

rápida e eficiente entre indivíduos, a fim de se partilhar conceitos e discutir idéias. Esse último fator aponta a Internet como um meio efetivo de treinamento de pessoal, distribuindo o conhecimento de instrutores qualificados a praticamente qualquer um em qualquer lugar;

- Ênfase na criação de aprendizes como produtores – a utilização da Internet fornece tanto a professores como a alunos a oportunidade única de passarem de simples consumidores de informação a produtores ativos de conhecimento, com respeito à transmissão de seus próprios conteúdos on-line (Dyrli & Kinnaman, 1996); e,
- Globalização de cursos – a habilidade da Internet em prover um ambiente no qual o aprendiz tem a oportunidade de se comunicar com pessoas de qualquer país, trocando experiências próprias, é um aspecto bastante positivo que deve ser considerado, também. Munido das ferramentas corretas, tornadas disponíveis através da própria Internet, o aluno tem a chance de tornar-se um “membro de um grupo colaborativo que ultrapassa continentes e culturas” (Horn, 1996).

2.3.3 Problemas da Educação a Distância na Internet

A utilização da Internet como ferramenta educacional para prática a distância ainda apresenta uma série de problemas (Lawhead, 1997). Muitos deles são intrínsecos aos processos de educação a distância, mas alguns novos reverses acabaram surgindo a partir da utilização dessa nova tecnologia.

Um dos problemas mais sérios apresentados pela utilização de meios eletrônicos, e, nesse caso, notadamente a Internet, no ensino a distância diz respeito à questão da ética. Com a possibilidade de aquisição de material da Web através de uma simples operação de “copiar-colar”, o estudante, ou mesmo o professor, pode se apropriar facilmente de trabalhos realizados por outros, apresentando-os como de sua autoria. Além disso, na realização de testes, um outro indivíduo pode se passar facilmente pelo aluno que está sendo avaliado. Fica, então, clara a necessidade do estabelecimento de políticas de identificação de usuários e de acesso a informação nos ambientes de aprendizado – no caso

da Internet, principalmente em *web-sites*. A tomada de medidas de segurança quanto ao armazenamento dos elementos multimídia tornados disponíveis como um todo (backup), destacando-se trabalhos executados por alunos e professores, também é fundamental para se evitar a perda ou adulteração de conteúdo.

Com respeito também à avaliação de alunos, ainda não foi estabelecida nenhuma metodologia realmente eficiente para a realização automática de testes de conhecimento. E, tampouco, foi definido algum modelo capaz de qualificar o conteúdo de sites educacionais, considerando-se diretamente as necessidades do estudante. A análise da qualidade do material estudado fica, geralmente, restrita a seu próprio criador, o instrutor. E esse é um dos grandes problemas da educação a distância como um todo; mas que, nesse caso, tem mudado através da criação de ferramentas específicas para a geração de cursos na Web .

Os custos de criação de todo o material que compõe um curso e o preço dos equipamentos necessários ao seu fornecimento e posterior utilização devem ser cuidadosamente avaliados. O uso inapropriado de determinadas tecnologias de apresentação de informações ou de acesso a serviços específicos por parte do aluno ou instrutor podem acabar inviabilizando o projeto.

Quando um curso é transmitido através de meio eletrônico, esse deve ser confiável e estar sempre disponível. Se o sistema computacional sair do ar com frequência, se apresentar um tempo de resposta inaceitável, se a tecnologia utilizada for de difícil utilização, ou se elementos do sistema não estiverem disponíveis ou não funcionarem corretamente, os alunos rapidamente tornar-se-ão frustrados. Isso vai de encontro à idéia básica do ensino a distância, que tem como uma de suas premissas o estímulo ao aprendizado.

Uma possível solução para muitos dos problemas de educação a distância através da Internet é o emprego da realidade virtual. Segundo Spodick (1995), “essa é a próxima grande direção a ser tomada nos caminhos da educação a distância baseada na Internet, tendo o potencial para ser uma ordem de magnitude mais efetiva que qualquer outro mecanismo previamente desenvolvido”.

Capítulo III

A Realidade Virtual e a Educação a Distância

A realidade virtual tem se tornado, nos últimos anos, uma alternativa viável e particularmente interessante para sanar muitos dos problemas ainda encontrados no ensino através de computadores. Ela possibilita a criação de novos modelos de ferramentas educacionais, incluindo-se também instrumentos para o ensino a distância, devido à sua capacidade ímpar de permitir ao aluno que explore determinadas situações ou, mesmo, faça parte do próprio fenômeno estudado. Além disso, por se valerem de respostas a estímulos físicos de senso comum, os ambientes de aprendizado construídos a partir de recursos dessa tecnologia podem proporcionar ao estudante um rápido desenvolvimento do sentimento de domínio do conteúdo, ao invés do sentimento frustrante de não ter a quem recorrer em situações típicas geradas pelas tentativas de utilização de uma aplicação computacional não familiar (Dede et al., 1994). Isso acaba por se refletir diretamente em uma melhor compreensão conceitual dos mais variados assuntos (Byrne, 1996).

A seguir é apresentada a tecnologia de realidade virtual, incluindo conceitos envolvidos e sua evolução. O emprego da realidade virtual na educação local e a distância é posteriormente exposto, através de exemplos, e discutido.

3.1 O Que é Realidade Virtual

Apesar de muitas vezes ter seu emprego exagerado – ou mesmo inadequado – o termo “realidade virtual” significa, de uma forma bastante genérica, a união de diversas tecnologias oriundas da ciência da computação e da eletrônica capazes de oferecer a um ser humano um alto grau de interação com a máquina e, possivelmente, com outros indivíduos. Segundo Hamit (1993), o termo “realidade virtual” foi criado, de acordo com alguns relatos, no Massachusetts Institute of Technology – MIT, no final da década de 70, para expressar a idéia de presença humana em um espaço gerado por computador. Ela foi transferida para o Atari Labs, onde muitos graduados do MIT foram trabalhar sob a direção de Alan Kay, no início dos anos 80. O termo caiu então em uso comum na indústria de jogos de computador, para descrever os cenários de vários videogames. Foi usado mais

tarde, por Jaron Lanier, para descrever a imersão de alguém num mundo virtual, pelo uso de um HMD (Head-Mounted Display – tipo especial de capacete que possui um mini-monitor e, geralmente, também um par de auto-falantes) e um dataglove (luvas especiais que atuam como interface direta entre a mão de um indivíduo e sua representação no interior de um ambiente de realidade virtual) (Figura 4).



Figura 4: Pessoa utilizando um HMD e um par de datagloves.

Kirner (2000), a partir de Burdea et al. (1994), Jacobson (1991) e Krueger (1991), define realidade virtual como “uma técnica avançada de interface, onde o usuário pode realizar imersão, navegação e interação em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, utilizando canais multisensoriais em tempo real.” Cabe somente ressaltar que esse ambiente sintético representa, não necessariamente, aquilo que pode ser considerado real, mas também fenômenos que não tenham relação direta com as leis da física, por exemplo. Em suma, “realidade virtual é o lugar onde computadores e humanos fazem contato” (Pimentel et al., 1995).

O modelo de realidade virtual ideal poderia ser considerado como sendo a ferramenta navegacional definitiva, onde o usuário literalmente tornar-se-ia imerso em dados. Isso representaria uma interface homem-máquina perfeita, onde todos os sentidos humanos (odor, visão, audição, tato, paladar, equilíbrio e orientação) estariam integrados, em uma interface direta com o computador. De uma forma bastante realista, o humano tornar-se-ia parte do computador, convivendo dentro de um ambiente de informação gerado no interior do mesmo. Essa interface seria construída a partir das capacidades humanas cognitivas e de percepção, não forçando o indivíduo a compensar estímulos incompletos fornecidos pelo computador, devido à sua inabilidade para analisar, interpretar e comunicar informações de forma precisa. Como o computador estaria unido ao humano,

seria permitido ao indivíduo realizar sua própria interpretação direta dos dados. Isso definitivamente redefiniria o significado de interação homem-máquina e, possivelmente, de interação homem-homem (Smith, 1991).

3.1.1 Histórico da Realidade Virtual

O aparecimento da realidade virtual retorna ao surgimento das primeiras pinturas renascentistas, no final da Idade Média, quando a introdução da perspectiva gerou imagens mais realistas a partir do estímulo à sensação de profundidade. Esse maior realismo acabou causando um forte impacto na população da época e, desde então, passou a redefinir a arte de representar o real.

Mais tarde, em 1838, experiências com sistemas óticos utilizados em câmeras e telescópios levaram ao surgimento do que se convencionou chamar de visão estereoscópica e da estereoscopia. A estereoscopia é a ciência que lida com o fato de que cada um dos olhos humanos, devido à sua localização na face, vê imagens ligeiramente diferentes do objeto observado (Pimentel et al., 1995). Naquela época, um dispositivo de visão tridimensional conhecido como stereopticon tornou-se popular porque permitia a integração das imagens percebidas individualmente pelo olho esquerdo e pelo olho direito (Figura 5). A imagem integrada permitia ao usuário observar o cenário fotografado como se estivesse presente no ambiente real (Hamit, 1993).



Figura 5: Modelo de estereopticon (*Stereoscopic Dinosaur*, 2000).

A invenção e o aperfeiçoamento do Cinema apresentaram uma nova forma de comunicação de incrível potencial realístico. Isso ficou demonstrado já a partir de uma das primeiras projeções dos irmãos Lumière, onde a platéia se dispersou para fugir de uma

locomotiva que acreditava avançar em sua direção, saindo da imagem silenciosa, em preto e branco, na tela.

O desenvolvimento da tecnologia de simulação de vôo antes da Segunda Guerra Mundial representou outro passo no caminho da realidade virtual. O Link Trainer, patenteado em 1929, usava sistemas articulados com movimentações disparadas por ar comprimido, para fazer o simulador realizar vários movimentos em resposta aos controles. Dessa forma, o Link Trainer foi um dos primeiros equipamentos que, além de permitir interação, oferecia uma sensação de movimento satisfatória. Quando esse simulador de vôo foi desenvolvido, os panoramas observados pelas janelas foram simulados, primeiro usando fotografias tiradas de aviões em pleno vôo e, depois, utilizando fotografias de miniaturas.

Durante a Segunda Guerra Mundial, Fred Waller propôs às forças armadas americanas uma técnica de projeção de um filme especial, com imagens geradas por múltiplas câmeras sincronizadas, sobre uma grande abóbada a fim de melhorar os simuladores de vôo da época. A aplicação comercial dessa técnica, com três telas e três câmeras sincronizadas, ficou conhecida como Cinerama e tornou-se extremamente popular em todo o mundo devido à grande sensação de imersão que proporcionava às platéias

Em 1961, influenciado por projeções de cinerama, Morton Heilig, um produtor de filmes com uma forte inclinação para consertos e invenções, criou o que chamou de “cinema experimental” ou, como ficou mais conhecido, o Sensorama (Figura 6).



Figura 6: O Sensorama em 1965 (www.telepresence.org, 2000).

O Sensorama consistia em uma espécie de máquina de fliperama, em cujo interior havia um assento móvel e barras de apoio. O indivíduo sentava-se e, através de uns óculos especiais estereoscópicos, podia vivenciar “a suprema experiência cinematográfica”: uma viagem multisensorial através de um mercado de flores, de uma praia e das ruas do Brooklyn, em Nova York, nos Estados Unidos (Jacobson, 1994). Para tornar a experiência do Sensorama mais realista, eram utilizadas seqüências de vídeo tridimensional e de som estéreo, vibrações do assento, aromas artificiais e vento gerado por ventiladores. Sobre sua experiência com o último Sensorama existente, Hamit (1993) escreve:

“A máquina Sensorama colocava o espectador numa sala cinematográfica para uma única pessoa. Por vinte e cinco centavos de dólar americano, o espectador podia assistir a um dos cinco filmes tridimensionais, totalmente coloridos, de dois minutos, com sensações de som, movimento, vento no rosto e odores. Apenas uma dessas máquinas sobreviveu até hoje. Ela está nos fundos da casa de Mort Heilig, em Los Angeles. O filme tem sujeira de mosca, o som está velho e range, as características de odor e movimento

funcionam desordenadamente, quando funcionam. Por tudo isso, ela representa uma série de apresentações absolutamente surpreendente: um passeio de motocicleta por Nova York; um passeio de bugre nas dunas; um passeio de bicicleta, com uma linda garota; um passeio de helicóptero sobre Century City, em 1960; e, finalmente, uma dança do ventre sensual. Com seus olhos por trás dos óculos estereoscópicos e a alta resolução do filme colorido, há um sentimento de ‘estar lá’. Isso é realidade virtual sem computadores!”

Nos anos 60, a realidade virtual começou a tomar um novo rumo. Nessa época, Ivan Sutherland propôs a idéia de se desenhar projetos de engenharia diretamente em telas de computadores, com a ajuda de uma light-pen⁴. Enquanto estudava para seu doutorado no MIT, ele escreveu o Sketchpad, a primeira ferramenta de CAD (Computer Aided Design) conhecida e acabou por definir tudo aquilo que hoje é conhecido como Computação Gráfica. Em 1966, quando já lecionava na Universidade de Harvard, ele criou o projeto “The Ultimate Display”, onde foi construída uma espécie de videocapacete (um monitor de computador preso a uma estrutura que deveria ser posta na cabeça do usuário), com um rastreador ultrassônico de movimento (o primeiro do mundo). Apesar de incômodo, pesado e instável, o videocapacete permitia que o usuário que o utilizava visse uma estrutura aramada de um cubo flutuando no espaço, de vários ângulos, bastando para isso somente movimentar sua cabeça (Pimentel, 1995).

Em 1972, Myron Krueger acabou seu livro *Artificial Reality*, que seria publicado somente 10 anos depois. Era o relato de um conjunto de experiências que levaram à criação do que ele chamou de realidade artificial. Um novo paradigma em interfaces homem-máquina, onde a utilização de imagens capturadas através de câmeras de vídeo comuns, de um humano em tempo real e processadas por um computador formava a base de toda a interação. Seu projeto mais importante, o VIDEOPLACE, na Universidade de Winsconsin, em 1975, que consistia na filmagem de humanos em um fundo azul (técnica conhecida como “chroma-key”) e posterior inclusão de imagens geradas por computador (Figura 7). Depois de processada, a imagem final era então projetada em uma grande tela. Esse tipo de técnica tornou-se também, mais tarde, conhecida como realidade virtual de Projeção

⁴ Dispositivo ótico, geralmente na forma de uma caneta, utilizado como interface de entrada de dados, através de seu uso direto em um monitor de vídeo.

(Jacobson, 1994). No VIDEOPLACE, pessoas podiam interagir entre si e com o *Critter* (um programa de computador que interagia diretamente com as imagens gráficas das pessoas, imitando o comportamento de uma irritante mosca), que Myron Krueger chamou de personalidades virtuais (Hamit, 1993).

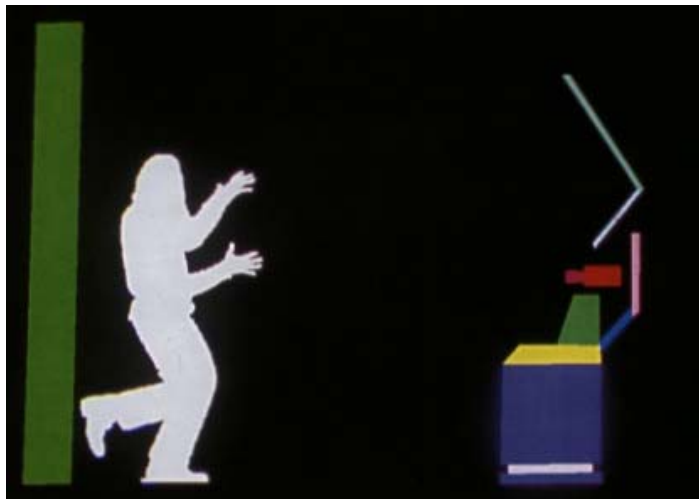


Figura 7: Exemplo de imagem gerada no projeto VIDEOPLACE (Muller, 2000).

Em 1977, pesquisas lideradas por Thomas Furness para a Força Aérea Americana levaram à criação do VCASS (*Visually Coupled Airbourne Systems Simulator*). Esse era um capacete especial, que integrava todas as inovações criadas no projeto SuperCockpit do Governo Americano. Ele continha um monitor de 1.200 linhas de resolução que projetava uma representação, através de símbolos e da inclusão de 75 mostradores e 300 controles de um *cockpit* completo de um avião e de todo o espaço exterior ao avião. O piloto que o utilizasse deveria aceitar uma realidade totalmente artificial, que poderia ser controlada pelos menores movimentos de seus olhos, cabeça ou membros. A intenção de Thomas Furness era colocar o piloto literalmente no meio das informações e, para tanto, incluiu, mais tarde, recursos de reconhecimento de voz ao capacete e também criou o primeiro gerador de som tridimensional. O maior problema do VCASS, no entanto, acabou sendo seu alto custo, que atingia milhões de dólares.

Alguns anos depois, em 1984, surgia o romance de ficção científica “*Neuromancer*” (Gibson, 1984), o qual descrevia o que vinha a ser um Espaço Cibernético. O espaço cibernético é um espaço virtual onde homens e máquinas podem interagir entre si de qualquer forma possível, não existindo, necessariamente, distinção entre quem é humano e quem é máquina. O conceito de espaço cibernético é utilizado até hoje sem maiores modificações.

Também em 1984, Michael McGreevy juntou-se ao projeto VIVED (Virtual Visual Environment Display) para a criação de um novo modelo de ferramenta de visualização para ambientes virtuais, baseado na tecnologia de cristal líquido. Dois monitores de cristal líquido e um conjunto de pequenos alto-falantes foram montados em uma máscara de mergulho. Apesar de apresentar uma resolução inferior à do VCASS, as imagens do visor criado eram estereoscópicas e seu custo final era bem mais atrativo. Em 1985, com a chegada de Scott Fisher ao mesmo projeto, foram incluídas pesquisas sobre luvas de realidade virtual, reconhecimento de voz, síntese de som 3D e dispositivos de feedback tátil (Pimentel, 1995). Também nesse ano, Thomas Zimmerman e Jaron Lanier fundaram a VPL Research, uma empresa que passou a trabalhar em desenvolvimento voltado principalmente para as pesquisas realizadas no Virtual Environment Display System Laboratory, da NASA – National Aeronautics and Space Administration. O primeiro produto da VPL Research foi a DataGlove, que consistia em uma luva capaz de captar a movimentação e a inclinação dos dedos da mão de seu operador (Jacobson, 1994). Ainda em 1985, uma dessas luvas foi comprada para o projeto VIVED.

Ao final de 1986, a equipe da NASA já possuía um ambiente que permitia aos usuários ordenar comandos pela voz, escutar fala sintetizada e som 3D, e manipular objetos virtuais diretamente através do movimento das mãos. O mais importante é que através do Projeto VIVED, foi possível verificar a possibilidade de comercialização de um conjunto de novas tecnologias tanto para centros de pesquisa, como a NASA, como para o público em geral, sendo que o preço de aquisição e desenvolvimento tornava-se cada vez mais acessível (Pimentel, 1995).

Em 1988, Chris Gentil desenvolveu a PowerGlove para a Nintendo Home Entertainment System (Figura 8). O equipamento, baseado na tecnologia DataGlove™ da VPL Research, permitia aos jogadores do videogame Nintendo usar a luva para manipular objetos na tela. Licenciada e vendida pela Mattel, Inc, a PowerGlove tornou-se o brinquedo mais vendido nos anos de 1989 e 1990. No fim de 1988, a IBM criou um grupo de pesquisa chamado de Veridical Environment Department. John Walker, da Autodesk, Inc, editor do software AutoCAD, publicou um relatório interno chamado “*Trough The Looking Glass*” e estimulou o projeto de espaço cibernético da firma. A partir de 1989, a imprensa começou a divulgar a realidade virtual como uma nova e empolgante tecnologia.

No fim de 1990, apareceram artigos não só em publicações científicas e de classe, mas também em publicações como Rolling Stone, Forbes e The Wall Street Journal.



Figura 8: A PowerGlove.

Em 1991, a W. Industries, de Leicester, Inglaterra, lançou um sistema completo de realidade virtual chamado Virtuality. Sua aplicação básica era para jogos de computadores interpessoais e interativos; apesar de poderem ser usados também para desenho e outros trabalhos. Esse sistema tornou-se o primeiro produto a conquistar mercados mundialmente (Hamit, 1993).

Desde então, com a contínua evolução de hardware e software, o uso de recursos de realidade virtual nas mais diversas aplicações tem-se tornado cada vez mais comum. A diminuição de custos de equipamentos e o surgimento de novos padrões em ferramentas de programação específica para essa área têm proporcionado a empresas de todos os setores uma forma mais eficiente de agilizar e enriquecer seus projetos (Gradecki, 1994).

Atualmente, simuladores baseados em realidade virtual estão sendo utilizados até mesmo no treinamento de forças policiais e corpos de bombeiros de todo o mundo. Esses recursos avançados têm sido também empregados para treinamento em medicina, em agricultura (Ex.: proteção e gerenciamento de colheitas), em trabalhos sociais (Ex.: exploração virtual de bairros pobres para a diminuição das taxas de criminalidade) e em ciências educacionais (Ex.: condução de experiências perigosas) (Auld et al., 1999).

3.1.2 *Porque Utilizar Realidade Virtual*

Morton Heilig sugere que “se o computador deve alcançar todo o seu potencial como professor, curandeiro, ou inspirador, ele precisa dialogar com o homem da mesma maneira que esse dialogou com a natureza, durante milhões de anos. Isto é, o computador deve falar com o homem, estimulando todos os seus sentidos e permitindo que ele reaja com todas as suas respostas motoras” (Hamit, 1993). Essa seria, então, a base para a necessidade da utilização de recursos da realidade virtual nas diversas aplicações humanas: aproveitar o potencial dos computadores da forma mais eficaz e transparente possível, permitindo, finalmente, o crescimento pessoal do próprio homem. Para que isso seja possível, é necessário que sejam estendidos os princípios das interfaces homem-máquina atuais.

Considerando-se que 70% dos receptores do sentido humano encontram-se nos olhos, tornando-os assim os grandes “monopolistas dos sentidos” (Ackerman, 1994), uma abordagem especial deve ser empregada em relação ao estímulo do sentido da visão humana. Comparando o uso de aplicações comuns em sistemas de realidade virtual e em sistemas baseados na tecnologia WIMP⁵ (Window, Icon, Menu and Pointer), Smith (1991) aponta alguns aspectos importantes da utilização do primeiro em detrimento do segundo:

- O 3D é um superconjunto do 2D. Isso significa que tudo o que pode ser feito em uma tela plana (monitor do computador) pode ser feito em um mundo tridimensional. Não há necessidade de que desistamos de utilizar editores de texto ou planilhas eletrônicas. Esses aplicativos recebem, sim, dimensões adicionais, as quais provarão ter grande valor;
- A sobreposição de janelas esconde a informação. Como resultado direto de muitos dados tendo de partilhar o mesmo espaço de trabalho bidimensional extremamente limitado, o usuário acaba por gastar parte de seu tempo na organização de sua área de trabalho e na busca de seus documentos. Uma solução para esse problema tem sido a iconização dos documentos, onde pequenas figuras são usadas para representar o

⁵ Modelo de interação com computador bastante comum atualmente devido ao uso de interfaces gráficas bidimensionais baseadas em janelas.

original. No entanto, isso tende a encobrir ainda mais a informação como um todo. Em um ambiente virtual, um documento pode ser colocado em um determinado local (a uma certa distância, a fim de tirá-lo do caminho). O resultado é que temos uma iconização espacial, através da distância, e ainda possuímos o documento original para trabalho. A distância cognitiva é verdadeiramente menor. Apesar de objetos ainda poderem se situar entre outros objetos, desde que o usuário possa instantaneamente mover-se no espaço para alcançar um novo ponto de visualização, não há necessidade de reorganizar o mundo virtual para se obter os dados; e,

- A distância não é importante em um mundo virtual. A distância perceptiva de um objeto não apresenta necessariamente qualquer ligação com a quantidade de tempo que ele leva para ser acessado. Um simples comando de “vá para” e o usuário é instantaneamente transportado.

Nota-se, assim, a partir dessas observações, que a utilização de um mundo virtual apresenta grandes vantagens em relação às GUI's (*Graphical User Interfaces*) comuns. Porém, como já foi visto, a imersão em um ambiente virtual considera ainda muito mais que somente estímulos ao sentido humano da visão. O aplicativo de realidade virtual é uma simulação animada que permite definir e exibir um objeto 3D, alterar seu ponto de referência e campo de visão do usuário, manipular e interagir com os objetos e fazer com que esses objetos afetem uns aos outros (Jacobson, 1994). A esses aplicativos é permitido permear objetos, contidos num mundo virtual, com comportamentos pré-definidos e propriedades físicas, programados para ativarem algum tipo de feedback visual, auditivo ou tátil quando um evento específico ocorre (Machado, 1995).

Além da imersão simbólica e da imersão através de ações, os avanços propostos na tecnologia de interfaces baseadas em realidade virtual induzem um senso de imersão física, em um contexto sintético, que envolve a manipulação sensorial, a fim de possibilitar a suspensão da percepção de que o indivíduo está envolto por um mundo virtual. A impressão é de se estar em uma nova realidade, ao invés de se estar olhando através de uma janela do monitor para um ambiente sintético. Isso é o equivalente a mergulhar ao invés de simplesmente navegar em um barco com fundo de vidro (Dede, 1994).

Os conceitos de “recursos mágicos” (intrínsecos à realidade virtual) e de “recursos literais” (que espelham o mundo real) interagem em um mundo virtual. Mágica é o que dá à realidade virtual seu potencial de utilização, possibilitando que usuários experimentem situações que normalmente não encontrariam na vida real (Wickens, 1992), como, por exemplo, ler um livro de terror à meia-noite, em um ambiente virtual de uma casa estranha, constrói um sentimento crescente de terror, mesmo que indivíduo esteja fisicamente em um ambiente real seguro e imutável. A mágica invoca arquétipos intelectuais, emocionais e normativos dependentes da experiência do indivíduo no ambiente virtual, impondo uma camada complexa de modelos mentais associativos. Muita mágica, porém, pode conflitar com a usabilidade e a percepção (Dede, 1994). A possibilidade de o usuário se tornar uma “Alice no País das Maravilhas” é bastante sedutora (Smith, 1991), mas encontrar o balanceamento apropriado entre o que é mágico e o que é literal é o real desafio.

Mas, apesar de todo o poderio fornecido pela realidade virtual, ainda há muito o que se evoluir, principalmente no que diz respeito ao hardware especial para interação em mundos virtuais. Não muita ênfase, no entanto, tem sido depositada em fatores humanos. Smith (1991) exemplifica isso através do mau uso observado por ele de dispositivos do tipo DataGlove. Para ele, humanos movimentam suas mãos no mundo real simplesmente por que não têm outra opção melhor para executar algumas tarefas. Segundo ele, a verdade é que humanos devem ser encarados como construtores e usuários de ferramentas. O simples uso de uma interface baseada na utilização de um mouse é suficiente para se perceber que humanos não têm nenhum problema em aprender a mapear movimentos de um espaço para outro. Qualquer tipo de uso de ferramenta envolve esse mapeamento entre espaços. Assim, existem casos em que a interface “natural” não é, necessariamente, a melhor. A expectativa de Smith era que DataGloves e outros dispositivos similares se tornassem “light-pens dos anos 90” – algo que, apesar de extremamente intuitivo, não foi adotado de fato como interface padrão para o acesso aos computadores.

3.2 O Emprego de Realidade Virtual na Educação

Inicialmente, são discutidos alguns aspectos da realidade virtual como ferramenta educacional; em seguida, esses aspectos são estendidos a aplicações voltadas para a

educação a distância e, finalmente, são expostos exemplos práticos do uso da realidade virtual na educação.

3.2.1 Aspectos da Realidade Virtual como Ferramenta Educacional

Uma metodologia de ensino está sempre baseada em dois princípios básicos. Primeiro, a instrução deve desenvolver as habilidades do aprendiz para compreender intuitivamente como o mundo natural funciona, antes de absorver as representações formais e as habilidades de raciocínio que os cientistas utilizam. Segundo, a instrução deve ajudar o aprendiz a evoluir seus modelos mentais para conceitos mais precisos da realidade (Dede, 1994). Os diversos modelos educacionais baseados em algum tipo de tecnologia geralmente consideram esses dois princípios básicos.

A realidade virtual, por utilizar-se de alguns recursos não disponíveis nas demais mídias educacionais, pode atingir objetivos de aprendizagem mais facilmente e de um modo mais eficiente e estimulante para o aluno. Entre esses recursos, podem ser destacados (Dede, 1994):

- Imersão – a impressão subjetiva de que o aprendiz participa em um “mundo” compreensível e realista o suficiente para induzir a suspensão momentânea da percepção do mundo real. Assim, por exemplo, no interior de um HMD, o foco de atenção de um aluno pode ser controlado mais facilmente no mundo virtual, sem as distrações presentes em muitos outros tipos de ambientes de aprendizagem;
- Telepresença – presença simultânea em um ambiente virtual de vários aprendizes separados geograficamente; e,
- Comunicação direta – através de sistemas com interfaces baseadas em realidade virtual, alunos podem interpretar estímulos visuais, auditivos e hápticos, captados por seus órgãos sensoriais, a fim de obter informações enquanto navegam e controlam objetos no ambiente sintético (Regian et al., 1992).

Dessa forma, a partir dessa perspectiva educacional, mais alguns aspectos positivos para o uso de realidade virtual, mesmo em modalidades simples de *desktop virtual reality*⁶, podem ser identificados (Salzman et al., 2000):

- A realidade virtual suporta um aprendizado realmente baseado em experiências. Alunos podem controlar ativamente o ambiente e observar diretamente o comportamento de objetos no interior do mundo virtual.;
- A realidade virtual é tridimensional. Essa interface sensorial de imersão representa objetos em um ambiente tridimensional, o que facilita múltiplas camadas de referências. Essa capacidade tem o potencial de ampliar o significado de fenômenos multidimensionais e de fornecer uma melhor compreensão em termos qualitativos (Erickson, 1993);
- A realidade virtual oferece comunicação multisensorial. Alunos podem ver, ouvir ou sentir os efeitos de fatores “invisíveis” que influenciam o comportamento de objetos. Eles são, então, capazes de perceber abstrações que não podem notar no mundo real. Tais estímulos multisensoriais podem se mostrar valiosos na pronta aprendizagem, através de lembranças de situações vivenciadas no ambiente virtual; e,
- A realidade virtual motiva o usuário. Alunos são estimulados por suas interações em ambientes educacionais baseados em realidade virtual, induzindo-os a passar a dar mais atenção e utilizar-se de uma maior concentração em uma tarefa (Bricken et al., 1993).

Explorando muitos dos recursos acima citados da realidade virtual, alunos podem construir, com suas próprias mãos, átomos a partir de partículas subatômicas (Byrne et al., 1995), manipular diretamente forças da natureza em um laboratório virtual de física (Dede, 1994) ou aprender Japonês através da movimentação de caixas virtuais em diferentes configurações à medida que o computador pronuncia as palavras formadas (Rose et al., 1995). Todos esses exemplos apresentados são genericamente conhecidos como micro-mundos, ambientes virtuais capazes de simular e, muitas vezes, estender a realidade de maneiras inusitadas. Segundo Malone & Lepper (1984), os micro-mundos estimulam a fantasia e a curiosidade dos alunos de maneira familiar, já que muitos desses alunos já

⁶ Modalidade de realidade virtual não imersiva que faz uso de equipamentos comuns, como monitores de vídeo e mouse (Machado, 1995).

possuem boas experiências com videogames. Essa associação a jogos, no entanto, acaba, muitas vezes, por gerar um certo preconceito entre educadores; mas esse tipo de crítica somente mostra a falta de visão acerca das potencialidades da realidade virtual como ferramenta educacional.

Apesar do sucesso da utilização de micro-mundos, o emprego de realidade virtual voltada para a educação nem sempre é bem recebido por professores pelos mais diversos motivos. Em Hamit (1993), por exemplo, pode-se observar o seguinte comentário:

“(...) No entanto, os educadores são inerentemente conservadores e tendem a apegar-se somente àquilo que já foi comprovado. Quando o então senador Al Gore perguntou sobre aplicações na educação, numa audiência de um sub-comitê do Senado, em 8 de maio de 1991, Jaron Lanier respondeu que sua firma, a VPL Research, originalmente desenvolveu seus equipamentos para esse mercado. ‘Lutamos durante anos para fazer um sistema de realidade virtual a baixo custo para a educação. Simplesmente não conseguimos identificar um mercado para isso’. O Dr Fred Brooks, da Universidade da Carolina do Norte, acrescentou que essas aplicações provavelmente começariam com a educação profissional, industrial e militar, em que qualquer aperfeiçoamento das habilidades do estudante tem uma relação de custo-benefício, e então permitiriam que a tecnologia fluísse para o setor público.”

Essa visão, apesar de ter mudado nos últimos anos, ainda predomina, agravada principalmente pelos altos custos que geralmente envolvem pesquisas em realidade virtual. Porém, com a constante evolução do software e do hardware, trabalhos que se utilizam principalmente de desktop virtual reality têm mostrado alternativas viáveis a muitos educadores.

David Traubb é um dos primeiros pesquisadores a propor a utilização da realidade virtual como ferramenta educacional. A partir de um modelo inicialmente proposto por David Perkins, da Universidade de Harvard, Traubb sugere que um sistema educacional em realidade virtual pode usar livros e vídeos para fornecer aos estudantes conceitos e informações e usar cenários de jogos de simulação colaborativos para desenvolver habilidades na resolução de problemas. Eles escreveriam relatórios para justificar as ações tomadas na simulação de personagens, e as discussões conduzidas pelo professor

explorariam as idéias fundamentais por trás dessas ações. É exatamente esse tipo de utilização combinada com as mídias educacionais clássicas que tem aproximado educadores da realidade virtual. Em Hamit (1993) encontramos a síntese do pensamento de Traubb: “Piaget disse uma vez que o caminho do aprendizado é através da vida. Meu objetivo é um ambiente baseado na simulação que minimize a interface ou a distância entre o usuário e o conceito interativo, enquanto maximize a habilidade do usuário para controlar a descoberta.”

3.2.2 Realidade Virtual em Educação a Distância

A possibilidade de unir vários alunos e professores em um mesmo espaço virtual, mesmo que esse diversos participantes estejam dispersos geograficamente no mundo real, traz novas possibilidades para a educação a distância. A perspectiva inovadora de alguém controlando e experimentando um fenômeno natural, ao invés de agir como um observador passivo, é intrinsecamente motivadora, e essa motivação pode atingir seu ponto máximo quando o estudo desse fenômeno é realizado de uma forma cooperativa, juntamente com outros participantes (Dede, 1994).

Esse tipo de colaboração é bastante importante, uma vez que a interação social permite, muitas vezes, um maior envolvimento do grupo como um todo com a resolução de uma tarefa, provocando um aumento substancial nas possibilidades de aprendizado de um determinado assunto, com uma compreensão mais profunda do mesmo. Indivíduos podem se envolver em determinadas situações no interior de um mundo virtual, comunicando-se e interagindo diretamente, com o intuito de resolver problemas em conjunto.

3.2.3 Exemplos de Realidade Virtual na Educação

O emprego de recursos de realidade virtual na educação já rendeu vários experimentos de sucesso e até mesmo uma publicação digital específica, o “VR in the Schools” (<http://www.soe.ecu.edu/vr/pub.htm>). Algumas experiências nessa área são apresentadas a seguir.

O ScienceSpace é uma coleção de mundos virtuais desenvolvida para explorar o potencial da percepção multisensorial, da imersão física (através do uso de hardware especial para realidade virtual) e da aprendizagem construtivista voltadas para a aprendizagem (Dede et al., 1997). Atualmente há três mundos virtuais disponíveis. O primeiro, o NewtonWorld, é voltado para o ensino de física através de colisões de esferas que podem ser controladas, observadas a partir de diferentes pontos de vista, ouvidas e sentidas por um único participante por vez. No segundo mundo, o PaulingWorld, um aluno pode manipular diversas moléculas, visualizando suas formas de uma maneira bem mais estimulante que a apresentada em modelos bidimensionais, comuns em livros, por exemplo. O terceiro mundo, o MaxwellWorld, consiste em uma estrutura para a construção de campos eletrostáticos. Um aluno pode adotar um ponto de referência egocêntrico, tornando-se uma carga de prova, que é influenciada pelas forças do campo eletrostático; ou um ponto de referência exocêntrico, para a manipulação do fenômeno. A razão para a utilização desses dois diferentes pontos de referência é a melhor apreensão dos conceitos de força e energia, podendo o usuário senti-los através de estímulos visuais, auditivos e hápticos.

O projeto Vari House (Youngblut, 1998), ao contrário do ScienceSpace, faz uso de recursos de realidade virtual não imersiva (modalidade de realidade virtual que faz uso somente de hardware comum, como monitor, teclado, mouse, etc.). Dois ambientes virtuais interligados apresentam a imagem da região de Vari, na Grécia, em escavações recentes e em uma cópia reconstruída por arqueólogos. Um estudante pode explorar o exterior e o interior do local virtual, respondendo a perguntas (em caixas de texto), desenvolvendo assim seu senso crítico em relação aos achados da região real e à arqueologia como um todo. O objetivo desse projeto é integrar dados arqueológicos a técnicas de computação gráfica para suportar a análises de dados e a preservação do patrimônio cultural da região de Vari.

Na mesma linha do projeto Vari House, mas utilizando-se de recursos de realidade virtual imersiva, o Learning Sites (Keppel et al., 1997) apresenta cópias virtuais bastante precisas de diferentes sítios arqueológicos de todo o mundo. Os dados necessários à geração de gráficos para a exibição de informações adicionais foram obtidos diretamente a partir dos respectivos locais do mundo real. Fällman (2000) aponta a possibilidade de exploração especializada como um grande diferencial desse projeto: "... por exemplo, se

uma pintura em uma parede interessa a um usuário em particular, esse pode investigar aquela área específica em mais detalhes, completamente ignorando o restante do local. Ambientes altamente desenvolvidos como o Learning Sites podem atrair diferentes tipos de usuários, indo desde crianças pequenas de escolas sendo guiadas em uma excursão virtual a arqueólogos reais, realizando trabalho real de pesquisa. (...) essa lista – de possíveis usuários – pode aumentar indefinidamente, mas mesmo que ainda permaneçam no reino da ficção científica, trabalhos nessa direção estão sendo realizados e a utopia não está tão longe, como muitos podem imaginar.”

Outra experiência de sucesso é o projeto Zengo Sayo (Youngblut, 1998). Essa é uma sala virtual, na forma de um tatami, que é projetada para fornecer a abordagem de alguns aspectos da língua japonesa. Equipamentos de realidade virtual imersiva são utilizados por estudantes, que interagem com objetos do ambiente através da escuta e da fala da língua japonesa.

O projeto Global Change (Fällman, 2000) apresenta relações de causa e efeito referentes a modificações do meio-ambiente. Através de realidade virtual imersiva, são apresentadas visões variadas da cidade de Seattle, nos Estados Unidos. Um determinado participante pode modificar valores de um conjunto de variáveis, como quantidades de fábricas e carros, e observar os respectivos efeitos dessas mudanças no ambiente virtual.

No âmbito brasileiro, destaca-se o Projeto Professor Virtual, coordenado pelo Prof. Cláudio Kirner, que tem como objetivo “levar o conhecimento e o saber a um maior número de pessoas, através do ensino à distância. Com o uso de técnicas de realidade virtual deseja-se criar um sistema de baixo custo, capaz de ampliar o alcance do ensino no País. O projeto visa também disseminar a potencialidade da realidade virtual como uma ferramenta de apoio ao ensino” (Professor Virtual, 2000). A fim de cumprir esses objetivos, o Projeto Professor Virtual deverá desenvolver um ambiente virtual compartilhado que simule uma sala de aula ou qualquer outro espaço necessário às interações entre professores e alunos. O acesso a esses ambientes pode ser realizado a distância (Kubo et al., 2000).

Também no Brasil, o Projeto AVAL – Ambientes Virtuais para o Aprendizado de Línguas (Vidal, 1999) está desenvolvendo ambientes virtuais multiusuários para o treinamento de guias de turismo a distância, através do compartilhamento de vivências de situações comuns ao cotidiano de profissionais dessa área. Um dos destaques do Projeto

AVAL é o emprego de personagens virtuais controlados por computadores e a integração dos sistemas gerados a ferramentas externas de bancos de dados e à Web (Vidal et al., 2000).

Capítulo IV

NVE's – Networked Virtual Environments

Nesse capítulo são discutidas as características básicas de ambientes virtuais em rede (NVE's). Inicialmente, o processo de virtualização é definido e os aspectos de imersão e presença são conceituados. Em seguida, esses conceitos são estendidos para ambientes virtuais em rede. Finalmente, o uso de avatares como formas de representar os participantes e as implicações no processo de comunicação entre os mesmos, no ambiente virtual compartilhado, são discutidos.

4.1 O Processo de Virtualização

Ellis (1991) define o conceito de *virtualização* como sendo “o processo pelo qual o espectador humano interpreta uma impressão sensorial padronizada como um objeto estendido em um ambiente além do qual ele existe fisicamente.” O mesmo autor também categoriza a virtualização em três níveis: espaço virtual, imagem virtual e ambiente virtual. De uma forma simplificada, espaço virtual é uma superfície plana na qual imagens são projetadas, permitindo que o observador possa visualizar objetos tridimensionais através da mesma. Imagem virtual refere-se à percepção do objeto em profundidade, onde o observador geralmente faz uso de HMD's ou óculos especiais para visualizar imagens estereoscópicas. Ambiente virtual diz respeito a uma estrutura que torna o próprio observador parte de um mundo virtual, onde seu ponto de vista e suas ações nesse mundo correspondem àquelas do mundo físico.

Os estímulos sensoriais considerados na virtualização são tornados disponíveis através da utilização de hardware apropriado. Na concepção de Ellis (1991), um ambiente virtual ideal deve ser encarado como a interseção de três outros ambientes: ambiente visual, ambiente auditivo e ambiente háptico-cinestésico⁷. Cada um desses três ambientes fornece, respectivamente, estímulos visuais, auditivos e háptico-cinestésicos, responsáveis

⁷ Que se refere a sensações táteis e à percepção de movimento.

pelo conjunto de interações disponíveis ao participante dos mesmos. Tais estímulos são os responsáveis pela recriação de sensações do mundo real no ambiente virtual.

Apesar da definição anterior de ambiente virtual, baseada na interseção de três conjuntos de ambientes, ser geralmente bem aceita pela comunidade acadêmica, há estruturas que fazem uso de outros subconjuntos de elementos desses três ambientes que também podem ser consideradas ambientes virtuais (Çapin et al., 1999). Dessa forma, Kalawsky (1993) define ambiente virtual de um modo mais abrangente, como sendo “o conjunto de experiências sensoriais sintéticas que faz a ligação entre componentes físicos e abstratos a operadores humanos ou participantes. A experiência sintética é gerada por sistemas computacionais que, no futuro, poderão apresentar interfaces que fornecerão estímulos, aos sistemas sensoriais humanos, indistinguíveis daqueles oriundos do mundo físico real.”

A partir dessa nova definição, Çapin et al. (1999) apresentam uma definição ainda mais ampla, e também mais completa, do que viria a ser um ambiente virtual:

“Ambiente virtual refere-se à tecnologia capaz de transportar um indivíduo para um ambiente diferente do real, sem movê-lo fisicamente. Para esse fim, as informações destinadas aos órgãos sensoriais humanos são manipuladas de tal forma que o ambiente percebido é associado ao ambiente virtual desejado, e não ao ambiente físico. Esse processo de manipulação é controlado por um modelo computacional que está baseado na descrição física daquele ambiente virtual. Conseqüentemente, essa tecnologia estaria apta a criar, quase que arbitrariamente, qualquer ambiente possível. É importante notar que o suporte da totalidade de sentidos é necessário para fazer com que o participante sinta-se presente naquela circunvizinhança virtual.”

Ambientes virtuais têm sido utilizados com sucesso em diversas aplicações (Mine, 1997), merecendo um destaque especial aquelas observadas na Tabela 1.

Tabela 1: Aplicações atuais de ambientes virtuais (Mine, 1997).

Domínio	Aplicação exemplo
Experiência de estar presente	Terapia de fobias (Rothbaum et al., 1995) Estética (Davies & Harrison, 1996) Entretenimento (Pausch et al., 1996)
Treinamento e prática em	Cirurgia (Hunter et al., 1993)

diferentes áreas do conhecimento	Treinamento militar (Macedonia et al., 1995) Manutenção de equipamentos (Wilson et al., 1995) Busca de caminhos em labirintos
Visualização de objetos ainda não construídos ou inacabados	Arquitetura (Brooks 1986) Escoamento de fluidos (Bryson & Levit, 1992) Nanosuperfícies (Taylor et al., 1993)
Desenho	Modelos tridimensionais (Butterworth et al., 1992) Urbanização (Mapes, 1995)

4.2 Imersão em Ambientes Virtuais

O termo imersão refere-se à tecnologia empregada para tentar estimular um indivíduo a se sentir inserido em um ambiente virtual. Uma condição ideal para a ocorrência da imersão é a noção apresentada anteriormente, de que um ambiente virtual ideal deve ser encarado como a interseção do ambiente visual, do ambiente auditivo e do ambiente háptico-cinestésico (Ellis, 1991). Para que haja imersão, tal condição deve ser mantida em pelo menos uma modalidade sensorial, tipicamente a visual. Nesse caso específico onde há apenas estímulo visual, tem-se o que é comumente conhecido como mundo virtual: a representação tridimensional de um ambiente virtual.

A imersão é conseguida através de uma percepção própria do indivíduo sobre o mundo virtual, e pode ser atingida em diferentes níveis, dependendo do tipo de tecnologia empregada na geração de estímulos. Além do suporte à visualização da estrutura tridimensional do ambiente, mecanismos básicos de interação também devem estar disponíveis ao participante. Tais mecanismos devem privilegiar a navegação no ambiente virtual e, opcionalmente, a manipulação de objetos existentes no interior do mesmo. Assim, segundo Çapin et al. (1999), para que o participante esteja imerso no ambiente virtual, ele deve praticamente tornar-se parte do mesmo.

Já, de acordo com Slater et al. (1994), duas premissas básicas devem ser respeitadas para considerar que um participante esteja imerso em um ambiente virtual. A primeira premissa consiste no ambiente virtual tornar disponível, de maneira eficiente, os dados sensoriais referentes a todas as estruturas que o compõem, inclusive uma representação do

corpo do próprio participante. A forma como esses estímulos sensoriais são percebidos pelo participante depende da posição e orientação definidas por seu corpo virtual dentro do ambiente. A segunda premissa diz respeito ao mapeamento entre os estímulos oriundos do mundo virtual e as sensações sentidas pelo corpo real do participante. As partes do corpo humano consideradas (geralmente a cabeça e um dos membros) devem ser estimuladas com dados sensoriais consistentes sobre a representação e comportamento do mesmo no interior do ambiente virtual.

Os ambientes virtuais que respeitam as duas premissas básicas apresentadas acima são conhecidos como ambientes virtuais imersivos. Slater et al. (1994) define que um ambiente imersivo ideal é aquele onde todos os órgãos sensoriais do participante são estimulados de maneira contínua, sendo esses estímulos supridos pelo sistema computacional.

Alguns autores também consideram a existência de ambientes virtuais semi-imersivos e ambientes virtuais não imersivos. Qualquer estrutura computacional que respeite ao menos parte das duas premissas básicas de um ambiente virtual imersivo é considerada um ambiente semi-imersivo. Já aplicações computacionais capazes de apresentar um modelo tridimensional interativo, que pode ser observado através de monitores comuns e sem a ajuda de qualquer instrumento de estereoscopia, são consideradas aplicações de realidade virtual não imersiva. A interação em ambientes não imersivos é realizada através de periféricos comuns, como teclado, mouse ou joystick. Ainda não há, porém, um consenso acerca das definições de realidade virtual semi-imersiva e não imersiva, permanecendo ainda um certo grau de ambigüidade.

O grau de imersão do participante de um ambiente virtual é variável, e pode ser incrementado através da inclusão consistente de novos estímulos aos órgãos sensoriais do participante.

4.3 Presença em Ambientes Virtuais

Presença é o senso psicológico de sentir-se parte do ambiente virtual e de sentir-se capaz de interagir com seus elementos componentes. Um dado sistema imersivo, porém, nem sempre pode levar todos que dele fazem uso a um “sentido de presença”. Dessa

forma, segundo Çapin et al. (1999), a presença somente pode ser garantida a um determinado indivíduo se:

- ele for levado a desconsiderar momentaneamente o mundo físico externo, tratando o mundo virtual como real; e,
- ele exibir comportamentos no ambiente virtual semelhantes àqueles praticados, em circunstâncias similares, no mundo real.

A imersão está associada a um tipo de tecnologia, enquanto que a presença representa um estado de consciência relativo à imersão (Slater & Usoh, 1994). De forma resumida, pode-se, inclusive, dizer que a imersão leva à presença. No entanto, além da tecnologia de imersão, a interação com o ambiente e a correlação entre o desempenho de atividades do dia-a-dia no mundo físico e a forma como as mesmas são replicadas no mundo virtual (Ex.: caminhadas, manipulação de objetos, etc.) são outros fatores que contribuem para a sensação de presença (Çapin et al., 1999).

4.4 Os NVE's

Os NVE's são sistemas que permitem a interação entre usuários geograficamente distantes no interior de um ambiente virtual compartilhado. Cada participante faz uso de uma cópia específica desse ambiente, geralmente através de um sistema computacional próprio. Os NVE's são oriundos da junção de três tipos de áreas de aplicações da computação: a de aplicações compartilhadas através de redes de computadores, a de computação gráfica e a de realidade virtual (Durlach & Mavor, 1995).

Em um NVE, os participantes podem interagir com objetos do próprio ambiente ou com os outros usuários no interior do mesmo. Assim, sempre que um evento provocar alteração do estado de uma das cópias do ambiente virtual compartilhado, ele é transmitido automaticamente aos computadores utilizados pelos participantes, para que as cópias do ambiente virtual sejam atualizadas. Dessa forma, a consistência geral do NVE é mantida e os participantes têm a impressão de compartilhar um único ambiente virtual. Essa impressão de compartilhamento, que existe em um NVE, estimula fortemente a colaboração entre os participantes para a execução das mais variadas tarefas (Çapin et al., 1999).

Segundo alguns autores (Doenges et al., 1997; Zyda & Sheehan, 1997), NVE's têm sido empregados com sucesso em:

- teleconferência virtual com troca de objetos multimídia;
- trabalhos colaborativos envolvendo modelos tridimensionais;
- ambientes de jogos multiusuários;
- *teleshopping*, envolvendo modelos tridimensionais, imagens, sons;
- aplicações médicas (diagnósticos a distância, cirurgias virtuais para treinamento);
- agência de viagens virtual;
- estúdio virtual de vídeo com integração de mídias através de rede; e,
- aprendizagem e treinamento a distância.

Nos últimos anos, a significativa evolução do poder de processamento gráfico dos computadores e o grande aumento da capacidade de transmissão de dados em redes de computadores têm viabilizado as aplicações em NVE's, tornando-as cada vez mais atrativas. A gama de aplicações potenciais em NVE's tem atraído o interesse de pesquisadores que têm focalizado suas pesquisas em aspectos específicos dos NVE's, tais como: a escalabilidade e as topologias de rede (Macedonia et al., 1994; Singh et al., 1995; Funkhouser, 1996); a estruturação eficiente do espaço (Barrus et al., 1996; Benford et al., 1995); as simulações em tempo-real (Rohlf & Helman, 1994); e o sentimento de presença (Benford et al., 1995; Welch et al., 1996; Hendrix & Barfield, 1996; Tromp, 1995).

Stytz (1996) compilou um conjunto de condições que, a seu ver, deveriam ser atendidas para a manutenção de um nível aceitável de fidelidade entre o mundo virtual e o mundo real em um NVE:

- Fidelidade de realismo visual – o ambiente deve ser o mais realista possível;
- Fidelidade de modelagem – os objetos devem apresentar proporções corretas entre si e ser movimentados em velocidades realistas, sendo seus comportamentos replicados de forma precisa a todos os participantes;
- Fidelidade de tempo – deve haver um atraso mínimo entre a ação de uma determinada entidade virtual (objetos, personagens, etc) e a retransmissão da mesma às cópias de ambiente de todos os participantes;

- Fidelidade de informação – a quantidade e consistência das informações distribuídas no NVE devem ser suficientes para o desenvolvimento de todas as situações previstas e para o suporte à tomada de decisões, tanto pelos diversos participantes do NVE, como pelos possíveis personagens controlados por computadores;
- Fidelidade do comportamento de personagens – o comportamento de possíveis personagens controlados por computadores deve simular as ações desempenhadas por personagens controlados por humanos face às mesmas circunstâncias;
- Fidelidade física – o NVE deve incluir efeitos físicos existentes no mundo real;
- Fidelidade sensorial – informações visuais, auditivas e háptico-cinestésicas apresentadas aos participantes devem replicar o mundo real da melhor forma possível;
- Fidelidade dos dispositivos de entrada – o hardware utilizado para interagir com o NVE deve responder de acordo com as ferramentas simuladas do mundo real; e,
- Fidelidade do sistema – as atividades e respostas dos diversos participantes do NVE (humanos ou máquinas) devem, quando consideradas como um todo, apresentar um comportamento geral próximo àquele do mundo real.

De acordo com Çapın, et al. (1999), para minimizar a complexidade do NVE e torná-lo mais eficiente, em geral, algumas das condições de fidelidade descritas anteriormente são relaxadas ou desconsideradas. Eles sugerem os seguintes aprimoramentos dos parâmetros empregados nas diversas categorias de fidelidade de um NVE, para que as mesmas sejam melhor exploradas:

- a padronização pelo próprio NVE do comportamento de certos objetos deve ser estabelecida, a fim de minimizar a complexidade da definição do mundo virtual (Ex.: gravidade);
- o tratamento de colisões deve ser considerado, uma vez que ele melhora significativamente a qualidade das simulações nos ambientes virtuais;

- a atribuição de direitos de acesso individualizado deve ser considerada, para minimizar os problemas de manipulação de objetos e de partes do mundo virtual, que ocorrem quando o NVE é compartilhado por um grande número de participantes. Esses direitos de manipulação de objetos e de entrada em determinados recintos virtuais devem ser assegurados a partir das necessidades individuais de cada participante;
- técnicas refinadas de seleção e manipulação de objetos ou de suas partes (Boulic et al., 1996) devem ser utilizadas a fim de melhorar a interação entre o participante do NVE e os elementos do mundo virtual; e,
- estímulos háptico-cinestésicos devem ser explorados, através de *force feedback*⁸, pois provêem os usuários com um maior grupo de sensações e, conseqüentemente, um maior realismo final.

4.4.1 A Presença em NVE's

Analisando o conjunto de estímulos fornecidos por NVE's a seus diversos participantes, Slater et al. (1996) propõem a noção de *presença compartilhada*. Segundo esses autores, a presença compartilhada decorre da existência de vários participantes no interior de um NVE, estendendo-se o conceito de presença em um mundo virtual monousuário e considerando-se dois elementos principais: o senso de presença de outros indivíduos no mesmo ambiente virtual e o senso de ser parte do grupo.

Uma vez que a presença pessoal é um pré-requisito para a presença compartilhada as seguintes prerrogativas são válidas:

- a tecnologia de imersão fornecida aos participantes afeta diretamente a presença compartilhada;
- o corpo virtual do participante apresenta uma importância bem maior na presença compartilhada do que na presença pessoal, pois esse corpo é utilizado também como um meio de obtenção de informações espaciais, acústicas e, idealmente, táteis da presença de outros participantes; e,

⁸ Técnica que faz uso de dispositivos interativos que podem gerar forças opostas a determinados movimentos humanos.

- a representação dos diversos participantes é essencial à presença compartilhada, e indivíduos podem responder de formas diferentes a diferentes representações de seus corpos. Alguns participantes podem contentar-se com representações simplistas, enquanto outros podem exigir personagens com alta qualidade gráfica para que se sintam realmente presentes no NVE.

4.4.2 Avatares⁹

Avatares são utilizados em ambientes virtuais para o aprimoramento do sentido de presença (Slater & Usoh, 1994) e são o meio pelo qual o indivíduo pode estabelecer relações interativas com todo o mundo virtual. No caso específico de NVE's, o emprego de avatares ganha ainda mais importância, uma vez que estes devem representar, de maneira autêntica e coerente, os diversos participantes e permitir a presença compartilhada dos mesmos. Em NVE's, avatares apresentam ainda mais funções do que aquelas encontradas em ambientes virtuais monousuários (Çapin, et al., 1999), tais como:

- Função de percepção – o emprego de avatares para a representação dos participantes de um NVE torna possível a qualquer indivíduo reconhecer se há mais algum participante no ambiente. Nesse caso, quanto mais realista for o avatar, mais simples a tarefa de distinguir um determinado participante de um objeto virtual qualquer;
- Função de localização – o uso de um avatar torna disponível, de uma forma bastante simples, as informações sobre posicionamento e orientação de participantes no interior do NVE;
- Função de identificação – sempre que um participante possui uma certa liberdade de escolha de seu respectivo avatar no NVE, a tarefa de diferenciação de indivíduos torna-se um processo simples de visualização e reconhecimento por parte dos próprios usuários;

⁹ O termo avatar tem sua origem no hinduísmo, e designa qualquer encarnação de uma divindade na forma de um homem ou de um animal.

- Função de visualização do foco de interesse de outros participantes – a orientação de avatares no interior do mundo virtual compartilhado pode definir qual o foco de interesse no qual se concentra um determinado usuário. Isso é crucial para a manutenção de interações entre os participantes. Em situações específicas de comunicação não verbal, o direcionamento do avatar pode, inclusive, servir como um modo bastante eficiente de se especificar um determinado local no mundo virtual;
- Função de visualização das ações de outros participantes – processos de manipulação de objetos no interior do NVE podem ser percebidos através da simples observação do comportamento de um determinado avatar. Isso é particularmente interessante para a execução de tarefas de forma colaborativa. Do mesmo modo, é possível, inclusive, a transmissão de emoções entre participantes, através da visualização das feições e movimentos dos avatares. Esse tipo de comunicação não verbal, no entanto, exige a modificação do estado de partes de um avatar (expressões faciais, por exemplo), o que nem sempre é possível ou viável; e,
- Função de representação social do indivíduo através de adornos – como complemento da possível função de comunicação não verbal anterior, o acoplamento de adornos ao avatar (roupas, acessórios, etc.) permite que os participantes expressem reações ou sentimentos de uma forma mais completa. Vale salientar que nem sempre tais recursos encontram-se disponíveis no NVE, uma vez que opções de seleção de diferentes vestimentas e o uso de objetos de decoração e de trabalho acrescem bastante a complexidade da implementação desses ambientes.

Apesar da prerrogativa anterior, quando os recursos computacionais ou financeiros disponíveis para a criação de um NVE são escassos, a interação e a troca de informações entre os diversos participantes do NVE são preferíveis à existência dos corpos dos mesmos. Um exemplo do caso onde os participantes não apresentam corpos no NVE, mas podem manter relações interativas diretamente através de suas ações, é o BrickNet (Singh et al., 1994).

A fim de tornar possível o emprego de diversos avatares no interior de um NVE, Çapin et al. (1999) apresentam os quatro principais fatores a serem considerados:

- seleção de uma arquitetura escalável, capaz de combinar tanto as aplicações computacionais que tornam disponíveis o NVE aos participantes como, também, os diferentes comportamentos dos avatares;
- modelagem realista de avatares;
- geração de animações para a representação realista de comportamentos;
- e,
- diminuição do tráfego da rede de computadores para a troca de informações complexas entre os participantes.

Esse último fator é de especial interesse para a pesquisa de NVE's; pois, na grande maioria dos sistemas atuais, os avatares são representados por formas simples, devido principalmente a problemas de desempenho das redes de computadores. Algumas das formas mais comumente utilizadas são: os avatares em forma de cubos (Greenhalg & Benford, 1995), os avatares não articulados em forma de humanos ou personagens de desenhos animados (Benford et al., 1995) e os avatares articulados com segmentos corporais rígidos (Barrus et al., 1996; Carlsson & Hagsand, 1993; Pratt et al., 1997).

4.4.3 Comunicação entre Usuários em NVE's

Devido principalmente à sensação de presença compartilhada encontrada em um NVE, os diversos participantes são estimulados a se comunicarem. Essa comunicação pode ser dada das mais diversas formas, tais como: o *chat* (bate-papo textual); os canais de voz (Barrus et al., 1996; Greenhalg & Benford, 1995) e a comunicação puramente gestual, geralmente através de animações pré-definidas de comportamentos simples e de gestos humanos simulados (Carlsson & Hagsand, 1993; Pratt et al., 1997). Qualquer que seja a forma de comunicação utilizada, ela é, em geral, tornada disponível através de uma GUI bastante intuitiva, baseada em realidade virtual.

Como recurso adicional de comunicação, movimentos reais de participantes de NVE's podem ser rastreados através de dispositivos específicos e replicados em seus respectivos avatares em tempo real. Tais dispositivos, porém, não são adequados para a

captura de expressões faciais, uma vez que os pontos a serem mapeados encontram-se muito próximos. Experiências nesse sentido têm sido realizadas através da construção do VISTEL (do ATR Research Lab., no Japão), que é um sistema de videoconferência que utiliza realidade virtual e permite o compartilhamento de objetos virtuais entre dois usuários para a realização de tarefas colaborativas (Ohya et al., 1995).

O VISTEL não é considerado realmente um NVE, uma vez que o sistema permite a interação de somente dois usuários, e ainda desconsidera soluções de problemas de topologias de rede, estruturação de espaço e controle de acesso de participantes (Çapin et al., 1999). Apesar disso, o VISTEL, consegue mapear expressões faciais reais em avatares do sistema, que representam seus dois participantes. Câmeras de vídeo filmam diretamente os rostos dos participantes marcados com fitas coloridas. Um algoritmo específico extrai as posições dessas fitas e replica-as, em tempo-real, nos respectivos avatares. Devido ao relativo sucesso alcançado por essa técnica de mapeamento de expressões faciais, soluções equivalentes podem vir a ser empregadas em um futuro próximo em diversos NVE's. Além disso, o VISTEL também faz uso da técnica de rastreamento de partes do corpo real do participante do NVE para movimentar a estrutura tridimensional do respectivo avatar no interior do ambiente virtual (Figura 9).

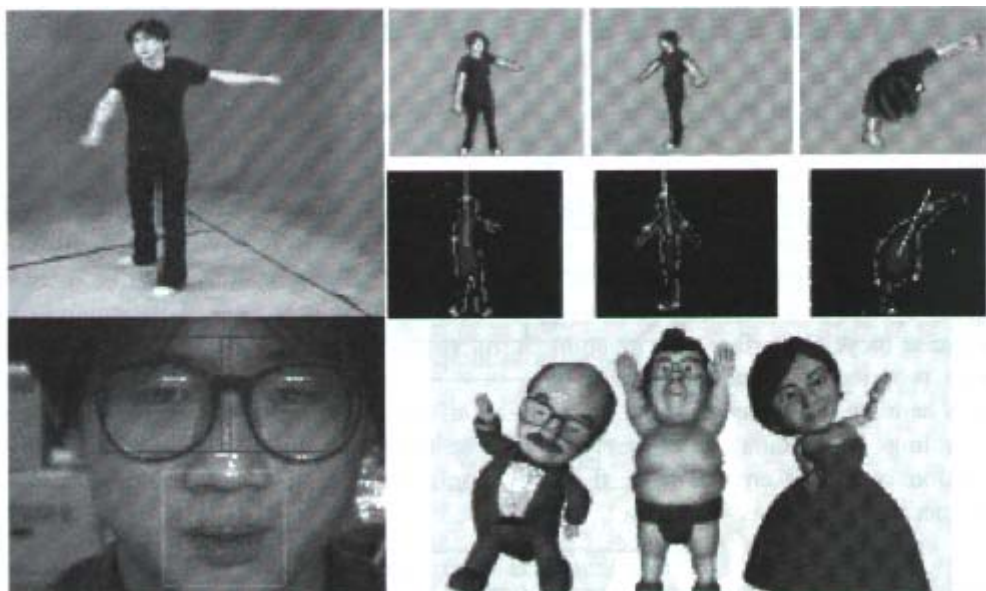


Figura 9: Mapeamento de movimentos e expressões faciais reais em avatares, no sistema VISTEL (Ohya et al., 1995).

De uma forma geral, ainda há alguns recursos, como a inclusão de movimentos labiais de um avatar que estejam sincronizados com a voz do respectivo participante, que poderiam enriquecer bastante a comunicação no interior do NVE. No entanto, esses recursos ainda são pouco explorados, devido principalmente a dificuldades técnicas (Ohya et al., 1995).

Capítulo V

Viabilizando NVE's em Redes Comuns de Computadores

Esse capítulo apresenta as técnicas geralmente utilizadas para se viabilizar o funcionamento de um NVE em redes comumente utilizadas para a comunicação digital. Inicialmente são expostos os conceitos de latência e largura de banda, bem como suas implicações para o provimento de NVE's. Posteriormente é discutida a comunicação de dados em redes, incluindo topologias, protocolos de comunicação e técnicas de otimização de tráfego. Ao final são debatidas técnicas de particionamento geográfico do ambiente virtual compartilhado.

5.1 A Rede em NVE's

Uma rede de computadores é a base para a transmissão das diversas informações que fluem em um NVE. As cópias do ambiente compartilhado devem ser atualizadas nos computadores de cada um dos participantes no menor tempo possível, a fim de se evitar que haja problemas de inconsistência ou tempos de resposta muito altos, o que inviabilizaria a sensação de presença.

Atualmente, o grande desafio encontrado na implementação de NVE's é o baixo desempenho em geral das redes de computadores. Alguns sistemas específicos, como o NPSNET-IV (Macedonia et al., 1994), utilizam-se de redes de alto desempenho, mas esses podem ser considerados exceções.

5.1.1. Latência

O maior problema das redes comuns de computadores é o de latência, que consiste no tempo requerido para transferir um bit de dados de um ponto a outro de uma rede de comunicação.

Segundo Singhal & Zyda (1999), a latência causa um impacto direto no realismo de um NVE, uma vez que ela determina quando a informação necessária à atualização do

mundo virtual é recebida nos computadores de cada participante; e há muito pouco o que os projetistas de NVE's podem fazer para reduzi-la.

Esses autores também explicam que os valores de latência encontram-se em uma grande faixa de possibilidades. Para redes locais (Local Area Networks, LAN's), a latência é de cerca de 10 milissegundos. Embora essa latência seja muito pequena, o tempo final de atualização em um NVE pode ser substancialmente influenciado por ela, dependendo da forma como o NVE faz uso da rede. O problema da latência torna-se mais crítico quando o NVE deve ser utilizado por muitos participantes, distribuídos em uma rede de alcance global (Wide Area Network, WAN). Nesse caso, com a utilização de modem's e linhas telefônicas comuns, a latência mínima é da ordem de 100 milissegundos. Caso essa comunicação seja continental, a latência pode atingir entre 160 e 250 milissegundos (Stallings, 1998). Para transferências intercontinentais de dados, a latência total pode ser superior a 500 milissegundos.

5.1.2. Largura de Banda

Um outro fator a ser considerado na implementação de NVE's é a largura de banda disponível na rede. Por largura de banda, entende-se o volume médio de tráfego disponível em um determinado segmento de uma rede (Stallings, 1998).

Para fins de comparação da taxa de transmissão de diferentes meios de transmissão de dados, em NVE's, pode ser utilizada como métrica a PDU DIS (IEEE 1995). A PDU DIS (*Protocol Data Unit; e Distributed Interactive System*) é uma unidade básica de transmissão de dados em um NVE. A PDU DIS é um pacote de informações de 144 bytes (1.152 bits).

As medidas de geração de PDU's DIS apresentadas pelo NVE NPSNET-IV (Macedonia et al., 1994) podem ser tomadas como base para cálculo. É importante salientar que o NPSNET-IV, que se originou de um projeto militar americano voltado para o treinamento de soldados para a guerra, apresenta um excelente desempenho gráfico de 30 quadros por segundo e utiliza-se de uma rede local de comunicações dedicada. Apesar da grande maioria dos NVE's não exigir recursos tão sofisticados quanto os do NPSNET-IV, suas medidas de emissão de PDU's DIS por entidade do ambiente virtual podem ser utilizadas para estimar o comportamento do tráfego em uma rede de comunicação. Assim,

aeronaves geram 12 PDU's DIS por segundo; veículos terrestres geram 5 PDU's DIS por segundo; disparos de armas geram 3 PDU's DIS por segundo; e corpos virtuais humanos completamente articulados geram 30 PDU's DIS por segundo.

Ainda para fins de comparação, desconsiderando-se informações relacionadas ao gerenciamento do próprio meio de transmissão, uma LAN comum padrão Ethernet apresenta uma velocidade de 10 Mb por segundo e modem's, 56 Kb por segundo, com conexões respeitando o padrão V.90 (especificação de comunicação via modem que permite a recepção de dados a taxas acima de 33.6 Kb por segundo).

A partir de todas as informações anteriores, Dawson (1998) procedeu uma série de cálculos. Por exemplo, em uma LAN podem ser transmitidas cerca de 8.680 PDU's DIS por segundo; se todos os participantes do NVE forem considerados como controladores de personagens com corpos virtuais totalmente articulados (30 PDU's DIS por segundo), que disparam suas armas uma vez por segundo (3 PDU's DIS por segundo), essa LAN comportará até 263 participantes. Para participantes controlando aeronaves (12 PDU's DIS por segundo), disparando suas armas uma vez por segundo (3 PDU's DIS por segundo), a LAN comportará 578 participantes. Já se todos os participantes estiverem controlando veículos terrestres (5 PDU's DIS por segundo), a LAN comportará cerca de 1.085 participantes. Assim, em uma LAN típica, seria possível a participação de 263 a 1.085 indivíduos. No NPSNET-IV, devido a restrições quanto a ciclos dos processadores e limitações da rede quanto a seu gerenciamento (Macedonia et al., 1994), o número máximo de participantes é de aproximadamente 300 indivíduos.

Apesar dos números obtidos nos cálculos não serem reais, consegue-se uma boa estimativa de utilização da rede por NVE's. Repetindo-se os mesmos cálculos anteriores para conexões via modem de 56 kbps, obtém-se a transmissão de cerca de 48 PDU's DIS, o que equivale a participantes controlando ou somente 1 humano, ou 3 aeronaves ou 6 veículos terrestres no interior do NVE.

As PDU's DIS, no entanto, podem ser trocadas por PDU's de um *game-like protocol*, protocolo utilizado em aplicações cujas interações entre participantes são semelhantes àquelas encontradas em jogos multiusuários. Essa troca reduz em quase 78% o tamanho original do pacote básico de transmissão de informações no NVE. Assim, do pacote original de 144 bytes, atinge-se o tamanho de somente 32 bytes, sem perda de conteúdo. Isso é possível uma vez que PDU's DIS, ao contrario de PDU's de game-like

protocols, apresentam regiões de redundância e não fazem uso de qualquer esquema de compressão (Cohen, 1994).

Dessa forma, conexões via modem podem transmitir aproximadamente 218 PDU's de um game-like protocol, podendo atingir o número de 7 participantes controlando avatares, 14 pilotando aeronaves ou 27 dirigindo veículos terrestres.

Dados mais completos da comparação do comportamento de diversos tipos de redes em NVE's, utilizando tanto PDU's DIS como PDU's de um game-like protocol podem ser encontrados na Tabela 3 (Seção 5.4.3).

5.2 A Comunicação em Redes

Segundo Funkhouser (1996), os modelos de comunicação encontrados em redes de computadores utilizadas em NVE's podem ser divididos em:

- Conexões individuais – permite que duas entidades da rede enviem dados unidirecionalmente em um *link* orientado a conexão. Um exemplo particular desse tipo de rede é a conexão mantida entre dois modem's usando uma linha telefônica comum. Nesse caso, é estabelecida uma rede com transporte de dados orientado a conexão, bidirecional (duas conexões unidirecionais: uma da origem para o destino e outra do destino para a origem), com latência e largura de banda baixas;
- Unicast – permite que uma mesma mensagem seja enviada individualmente a cada uma das entidades da rede, através do uso de uma conexão distinta para cada destino. Esse tipo de estratégia de atualização é geralmente empregado na Internet;
- Broadcast – permite a organização de todos os elementos da rede em um único grande grupo. Um elemento consegue comunicar-se com todos os demais elementos do grupo através do envio de uma única mensagem; e,
- Multicast – permite a organização dos elementos da rede em vários grupos, podendo haver, inclusive, intersecção de elementos. O suporte às operações de multicast em redes não é um recurso muito comum, devido principalmente à complexidade de gerenciamento dos grupos de

conexões e à grande carga computacional decorrente desse tipo de processamento.

Os quatro modelos de comunicação em rede acima citados podem ser combinados a fim de se formar uma rede heterogênea. Essa opção é particularmente interessante em casos onde as diversas entidades da rede podem ser agrupadas para um melhor aproveitamento das características específicas de cada um desses modelos. Por exemplo, modems podem ser utilizados para conectar microcomputadores em casas de usuários a computadores de grande porte, que por sua vez podem estar interligados através de redes multicast ou unicast, processando ocorrências de porções específicas do ambiente virtual compartilhado (Macedonia et al, 1995).

5.3 Topologias de Redes

De uma forma simplista, sem o emprego de qualquer solução alternativa, a transmissão de um evento que ocorra em qualquer uma das cópias do ambiente virtual requer bastantes recursos da rede, sendo o número total de conexões necessárias em cada um dos pontos de processamento da rede (computador utilizado por um participante do NVE) da ordem de $O(N^2)$, onde N representa o número total de usuários do NVE (Figura 10).

Com o intuito de organizar a comunicação realizada através de redes de computadores, existem esquemas específicos para tornar disponíveis as possíveis conexões entre os diversos computadores participantes da rede. A esses esquemas de organização dá-se o nome de topologias.

Diferentes topologias de rede podem ser utilizadas a fim de se aprimorar a troca de mensagens entre os vários participantes do NVE. Isso as torna, então, soluções básicas para a otimização do tráfego da rede decorrente do conjunto de atualizações necessárias ao funcionamento desse tipo de sistema multiusuário. As diferentes topologias de rede que podem ser empregadas na implementação de NVE's são descritas a seguir.

5.3.1 Ponto-a-Ponto

Uma topologia ponto-a-ponto caracteriza-se por permitir a comunicação direta entre qualquer um dos elementos da rede. O uso dessa topologia em redes que fazem uso de comunicação unicast, requer o estabelecimento de conexões de cada um dos elementos da rede para todos os outros (Figura 10). Nesse caso, quando um evento é gerado por qualquer um dos participantes do NVE, uma mensagem de atualização específica é diretamente enviada aos demais participantes.

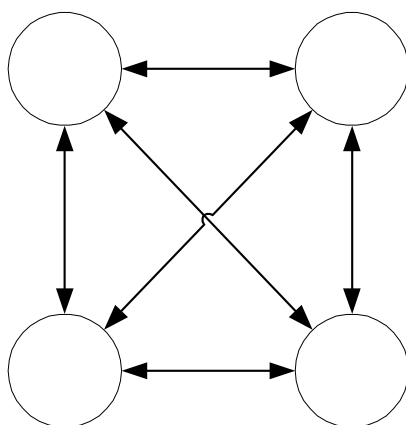


Figura 10: Topologia ponto-a-ponto com comunicação unicast.

Assim, assumindo-se que existam N participantes utilizando o NVE, são necessárias, no total, $O(N^2)$ conexões entre os mesmos (Çapin, 1999). Apesar de ser um modo simples de se definir a estrutura de um NVE, é fácil notar, no entanto, que esse tipo de solução não é muito prático, devido ao grande número de conexões necessárias. A estratégia de sincronização de cópias do ambiente virtual torna-se uma tarefa quase inaceitável. Além disso, o gerenciamento de seção (conjunto de medidas relacionadas à entrada ou saída de usuários de um determinado sistema) é bastante complexo, pois cada novo usuário do NVE deve conectar-se a todos os demais participantes. A obtenção de uma cópia atualizada do mundo virtual para o novo usuário também exige um grande esforço de busca. E, como revés final, a utilização da topologia ponto-a-ponto em redes de comunicação unicast apresenta o sério problema de não permitir a persistência de NVE's que não possuam nenhum usuário conectado, não havendo, então, nenhum nó de processamento do ambiente virtual (Çapin, 1999).

Apesar dos problemas intrínsecos a esse modelo de comunicação, a adoção da topologia ponto-a-ponto em redes unicast é utilizada por muitos NVE's atuais, dentre os quais podem ser destacados o VEOS (Bricken & Coco, 1993) e o MR Toolkit (Shaw & Green, 1993).

O emprego da topologia ponto-a-ponto e de broadcast é uma opção interessante para redes locais dedicadas, cujos computadores tenham como tarefa básica a manutenção de interações no interior do NVE. Caso algum elemento da rede seja utilizado com outro fim, que não o uso do NVE, esse perderá bastante tempo com a leitura, avaliação e posterior descarte das muitas mensagens referentes ao NVE, praticamente inviabilizando qualquer outra tarefa. Isso pode ocorrer devido ao fato de o emprego do broadcast acabar inundando a rede com mensagens específicas de sincronização das diversas cópias do ambiente virtual (Singhal & Zyda, 1999). O SIMNET (Pope & Schaffer, 1991) é um exemplo de sistema que utiliza essa configuração como base de comunicação, viabilizado devido à utilização de uma rede dedicada a tornar disponível o ambiente virtual compartilhado.

Em um NVE que adote a topologia ponto-a-ponto em uma rede que faça uso da comunicação multicast (Figura 11) há ganhos substanciais com relação ao número de mensagens enviadas para a sincronização das cópias do ambiente virtual. Uma vez que, na comunicação em redes que suportam multicast, um participante pode enviar a atualização de sua cópia do mundo virtual para os demais participantes do NVE através do envio de uma única mensagem, o número de conexões necessárias em cada um dos pontos de processamento cairá de $O(N^2)$ para $O(1)$, onde N representa o número total de participantes do NVE (Çapin, 1999).

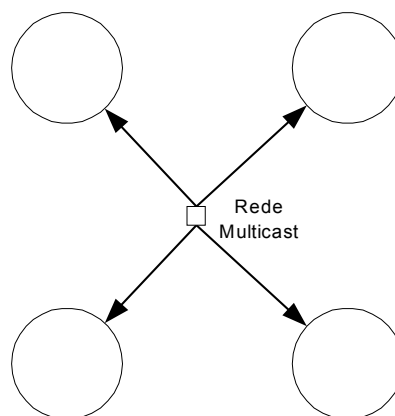


Figura 11: Topologia ponto-a-ponto com comunicação multicast.

Para Singhal & Zyda (1999), o uso desse modelo de comunicação baseado na topologia ponto-a-ponto e em multicast configura-se como a melhor opção para NVE's escaláveis (que podem ser utilizados em larga escala por muitos participantes de forma simultânea), pois as implementações necessárias à transmissão de mensagens entre os diversos participantes podem ser simplificadas, dividindo-os em grupos específicos. A adoção desse modelo em LAN's ou até mesmo MAN's (Metropolitan Area Networks) é geralmente uma tarefa simples, uma vez que esses tipos de redes geralmente suportam o multicast de forma nativa. O maior problema, no entanto, encontra-se no emprego de WAN's como base de comunicação do NVE; pois, nesse caso, a opção por multicast torna-se uma solução de alta complexidade. No caso da Internet, por exemplo, é necessária a configuração de elementos da rede para a missão específica de propagar mensagens para grupos através dos vários segmentos de rede que podem estar sendo utilizados pelo NVE (Singhal & Zyda, 1999). É exatamente por isso que alguns autores (Çapin et al., 1999) apontam o emprego da topologia cliente-servidor como solução ideal para NVE's de grande porte.

5.3.2 Cliente-Servidor

Nessa topologia de comunicação, os participantes do NVE - os clientes - não enviam mensagens diretamente para os demais usuários do sistema. Na rede há um elemento central especializado, que provê o serviço de repasse de mensagens - o servidor (Figura 12). A implementação da topologia cliente-servidor é geralmente realizada com os clientes ligando-se ao servidor através de conexões unicast bidirecionais. O envio de mensagens do servidor para os clientes pode se dar tanto através de unicast como de multicast, de acordo com as características da rede de comunicação utilizada.

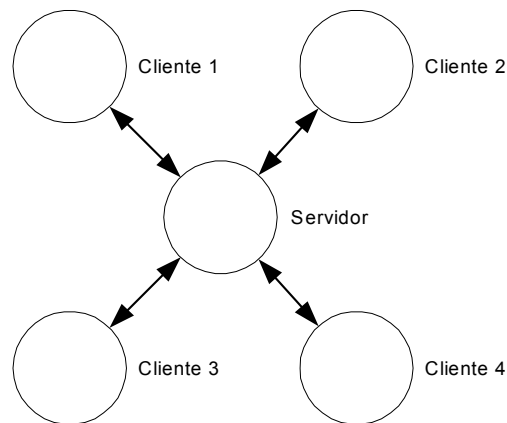


Figura 12: Topologia cliente-servidor.

O emprego da topologia cliente-servidor na rede traz como principal vantagem a possibilidade de o servidor de o sistema realizar algum tipo de processamento sobre as mensagens, antes de propagá-las aos demais clientes (Funkhouser, 1995). Dessa forma, pode-se encaminhar cópias de mensagens a destinatários específicos, gerar atualizações do NVE somente em clientes que estejam nas proximidades dos objetos alterados no interior do NVE, modificar mensagens a fim de torná-las menores, etc. Particularmente, no uso de conexões via modem para o NVE, existe a opção do servidor passar a descartar atualizações de forma seletiva, a fim de minimizar o tráfego. Isso permite que o número de usuários de um NVE utilizado via modem aumente de 6 (segundo o cálculo apresentado na Seção 5.1.2) para até 128, em média (Singhal & Zyda, 1999).

Há, no entanto, um grave problema de congestionamento do servidor, que surge a partir do aumento do número de clientes na rede, tanto em LAN's quanto em MAN's e WAN's, incluindo-se conexões via modem. É por isso que os computadores que realizam o papel de servidor geralmente apresentam uma grande capacidade de processamento. Nesse caso, independentemente do porte do servidor, o número de participantes aceitos em estruturas que seguem a topologia cliente-servidor é bastante inferior àquele obtido com a topologia ponto-a-ponto (Calvin et al, 1995 e Macedônia et al, 1995b).

5.3.3 Híbridas

Uma outra topologia de rede que pode ser empregada em NVE's é a topologia híbrida, que faz uso de conexões ponto-a-ponto para a interconexão de vários servidores, combinando, assim, recursos das duas topologias descritas anteriormente (Figura 13).

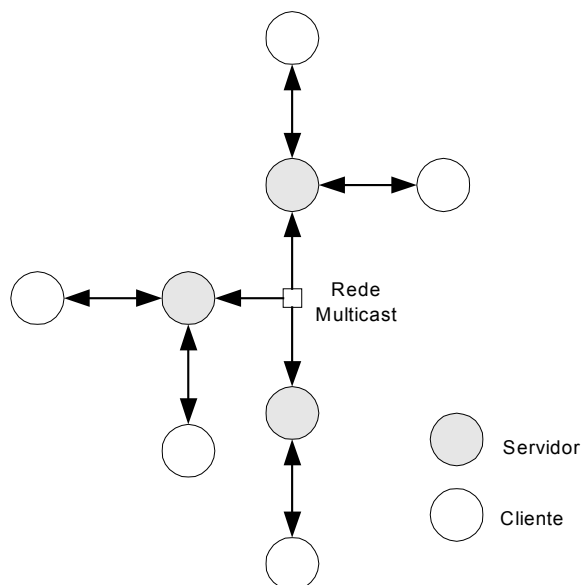


Figura 13: Exemplo de topología híbrida.

Segundo Çapin et al. (1999), há duas abordagens principais em relação ao emprego de topologias híbridas em NVE's:

- Subdivisão do mundo virtual – consiste na partição do mundo virtual em subespaços, gerenciados, cada um, por um servidor específico. À medida que um cliente percorre o mundo virtual, ocorrem conexões e desconexões dos respectivos servidores responsáveis pelo controle de cada um dos subespaços visitados. Nessa abordagem, cada servidor não tem controle sobre o número de clientes que podem se conectar a ele, uma vez que, geralmente, não pode ser previsto o número de participantes do NVE que querem visitar um determinado subespaço. Assim, caso seja atingido o limite de conexões de um determinado servidor, não será possível a inclusão de mais nenhum participante no subespaço gerenciado pelo mesmo; e,
- Subdivisão de participantes – consiste na geração de cópias completas do NVE em cada um dos servidores. O cliente tem a liberdade de conectar-

se a qualquer um dos servidores que disponibilizam o NVE, podendo optar por aquele que se encontre mais próximo fisicamente ou que apresente um menor tempo de resposta na rede. Essa abordagem de utilização de topologia híbrida somente se torna viável através do uso de conexões de alta velocidade entre os vários servidores, o que nem sempre é possível. Sua grande vantagem, no entanto, reside na tendência estatística de todos os servidores apresentarem um igual número de clientes. Caso essa tendência não seja observada, técnicas de migração de clientes de um servidor para outro podem ser empregadas a fim de se balancear o processamento de todo o NVE, evitando-se o congestionamento de determinados servidores (Das et al., 1997).

Esse tipo de modelo de comunicação pode contornar o problema típico de congestionamento do único servidor apresentado pela topologia cliente-servidor comum. Com o emprego dessa estrutura integrada de comunicação, é possível realizar a distribuição das conexões dos diversos clientes em dois ou mais servidores, possibilitando uma grande escalabilidade do sistema. Assim, o conjunto de servidores passa a ser responsável pelo compartilhamento do ambiente virtual, incluindo a manutenção do estado de objetos e o suporte à comunicação e à interação entre os diversos clientes.

É importante notar, no entanto, que a escalabilidade do sistema final dependerá, mais uma vez, assim como na topologia cliente-servidor, da própria capacidade de processamento de cada servidor. Um outro fator que deve também ser considerado para a escalabilidade do sistema é a velocidade das conexões utilizadas entre os servidores, devendo esta ser bastante alta, a fim de comportar a intensa troca de informações entre os mesmos (Singhal & Zyda, 1999).

O uso de vários servidores para tornar o NVE disponível pode permitir a participação de um grande número de usuários, porém apresenta algumas desvantagens. Primeiramente, fazem-se necessárias a criação e a manutenção de estruturas complexas de compartilhamento de estados de objetos do NVE por parte de todos os servidores e seus respectivos clientes. Além disso, pode haver uma maior latência para a troca de informações entre dois clientes conectados a diferentes servidores, uma vez que o caminho a ser percorrido é maior e os próprios servidores necessitarão de um certo processamento para o repasse dos dados. O maior problema, no entanto, reside na exigência do

estabelecimento de uma estratégia de balanceamento de tráfego da rede a fim de se tornar toda a estrutura de comunicação empregada realmente eficiente (Çapin et al., 1999).

A implementação de topologias híbridas para NVE's exige somente conexões unicast para as aplicações-cliente, o que, dependendo do caso, pode se revelar como uma grande vantagem para a construção de NVE's em determinadas redes que não suportem comunicação baseada em multicast.

A opção pela utilização de mais de um servidor também é particularmente interessante do ponto de vista da distribuição de processamento do sistema como um todo. Cada servidor pode ser especializado para cumprir somente determinadas funções específicas. Por exemplo, servidores podem realizar a tarefa de controlar determinados objetos do mundo virtual, incluindo suas reações a estímulos originados nos clientes. Essa abordagem ainda não é muito comum em NVE's, porém trás a grande vantagem de gerar servidores que exigem um menor poder computacional individual (Vidal et al., 2000).

5.4 Protocolos

A fim de se permitir a troca de informações entre diversas aplicações em uma rede de computadores, faz-se necessário o estabelecimento de padrões de regras de comunicação. Esses padrões de regras são conhecidos como protocolos, e são uma prerrogativa para o suporte e gerenciamento de qualquer sistema multiusuário.

Existem literalmente milhares de protocolos em uso atualmente. Cada um deles é especializado para a realização de uma tarefa em particular, indo desde o *download* de documentos da World Wide Web até a troca de áudio e vídeo em tempo real. De fato, quando duas aplicações se comunicam, elas estão tipicamente utilizando vários protocolos simultaneamente. Há um protocolo para a troca de informações entre as aplicações, e um outro para a troca de informações entre os computadores onde essas aplicações se encontram em execução. Caso esteja sendo utilizada uma LAN, há também um protocolo para a comunicação entre os computadores e o próprio barramento da rede. E, se uma das aplicações encontrar-se em um computador interligado à LAN através de um modem, há também um protocolo de comunicação específico para a interligação desse modem à rede.

Em NVE's, podem ser empregados os mais diversos padrões de comunicação entre computadores em rede, sendo inclusive permitido, como citado anteriormente, o emprego

de diversos padrões simultaneamente, desde que devidamente associados. No entanto, deve existir um protocolo comum de integração entre as diversas aplicações empregadas para tornar disponível o ambiente virtual compartilhado. Esse protocolo de integração merece atenção especial, e sua definição deve levar em consideração todos os recursos disponíveis no NVE, incluindo a troca de dados entre seus diversos participantes, a atualização dos estados de todo o conjunto de entidades existentes no interior do mundo virtual e mesmo a restrição de acesso de usuários a determinados objetos ou recintos virtuais. Assim como outros protocolos, o protocolo utilizado no NVE deve preconizar, sempre, o melhor aproveitamento da rede de comunicação utilizada, integrando de forma eficiente os recursos de todas as aplicações que dele fazem parte.

Na evolução dos NVE's, dois modelos de protocolos básicos merecem destaque: os *DIS-like protocols* e os *game-like protocols*, esses últimos também conhecidos como SRMP's (Scalable Reliable Multicast Protocols).

5.4.1. *DIS-Like Protocols*

O Protocolo DIS (*Distributed Interactive Simulation*) (IEEE, 1995) consiste em um grupo de padrões desenvolvidos pelo Departamento de Defesa Americano e por entidades da indústria americana voltados para arquiteturas de comunicação, formato e conteúdo de dados, interação e informação sobre entidades virtuais, gerenciamento de simulações, medidas de desempenho, emissões de radiocomunicação, instrumentação de campo, segurança, formatos de bases de dados, fidelidade, controle de exercícios, até o feedback de dispositivos de interação (utilizados ou não em sistemas de realidade virtual). Apesar das possíveis áreas de aplicação do protocolo DIS serem bastante amplas, seu maior emprego encontra-se hoje na construção de simuladores voltados para fins militares, mais especificamente para campos de batalha. Isso é possível devido ao seu vasto suporte a simulações, permitindo a utilização simultânea de diversas aplicações específicas, com milhares ou até mesmo milhões de variáveis analisadas. O resultado final é bastante realista e contempla praticamente todas as situações envolvidas em guerras, desde o comportamento individual de equipamentos até modificações no clima de uma dada região.

Protocolos de NVE's que seguem a especificação do protocolo DIS são conhecidos como *DIS-like protocols* (Synghall & Zyda, 1999). Esse protocolo faz uso de vinte e sete

PDU's, das quais somente quatro são realmente utilizadas para interações entre entidades virtuais, e as demais são responsáveis pela troca de dados sobre ações, controle de simulações, etc.

O NPSNET-IV (Macedonia et al., 1994, é um NVE experimental da Naval Post-graduate School (NPS) que se utiliza do protocolo DIS para comunicação ao nível de aplicação entre simuladores desenvolvidos independentemente por outras entidades que não a NPS (Ex.: sistemas legados de simulação de aeronaves, modelos de construção de peças e veículos equipados em campo). No ambiente virtual do NPSNET-IV, a PDU responsável pelo gerenciamento do estado das entidades virtuais controladas pelos participantes humanos ou aplicações específicas é a PDU de estado de entidade do protocolo DIS. O tamanho dessa PDU é de, no mínimo, 144 bytes (entidades com corpos não articulados), e contém informações sobre a identificação da aplicação do participante que gerou a PDU; sua localização, orientação, velocidade e aceleração no ambiente virtual; dados sobre as articulações do corpo virtual utilizado para sua representação, etc. (Tabela 2).

Tabela 2: A PDU DIS de estado de entidade.

Tamanho (Bytes)	Nome do Campo	Descrição
12	PDU Header	Protocol version PDU Type Padding Time stamp Length in bytes
6	Entity ID	Site Application Entity
1	Force ID	
1	Number of articulation parameters	N
8	Entity type	Entity kind Domain Country Category

		Subcategory
		Specific
		Extra
8	Alternative entity type	Mesma anterior
12	Linear velocity	X, Y, Z (32-bit components)
24	Location	X, Y, Z (64-bit componentes)
12	Orientation	H, P, R (32-bit components)
4	Appearance	
40	Dead reckoning parameters	Algorithm
		Other parameters
		Entity linear acceleration
		Entity angular velocity
12	Entity markings	
4	Capabilities	32 Boolean fields
N x 16	Articulation parameters	Change
		ID
		Parameter type
		Parameter value

Pode-se notar, pela especificação de sua PDU de estado de entidade, que esse protocolo permite uma completa representação de uma entidade virtual em um NVE. Porém, por ter sido concebido para simulações de campos de batalha, esse protocolo não é eficiente para descrever o comportamento dos corpos virtuais devido ao número elevado de articulações existentes nos mesmos, gerando PDU's muito grandes. Esse fato, em geral, não é notado devido à utilização de redes de alta velocidade específicas para o NVE. No NPSNET-IV, por exemplo, essas redes de alta velocidade possibilitam uma latência máxima de 100 milissegundos. Uma outra falha grave do protocolo DIS, mais uma vez uma consequência direta de suas finalidades militares, é sua não preocupação com a interação e conversação entre participantes humanos de forma natural, não existindo estruturas específicas para o suporte a esse tipo de funcionalidade (Çapin et al., 1999).

5.4.2 *Game-Like Protocols*

Uma outra abordagem utilizada em protocolos de NVE's é inspirada em jogos multiusuários de computadores. Nessa abordagem, a de game-like protocols, busca-se somente a existência de cópias aproximadas do mundo virtual nos computadores de cada um dos participantes do NVE. Essa abordagem trata o problema como uma sincronização de bancos de dados, garantindo o envio de mensagens sem a necessidade do uso de mensagens do tipo keep-alive (checagem constante referente ao funcionamento normal de um determinado elemento da rede). Apesar de não se preocupar com a precisão das diversas réplicas do ambiente virtual compartilhado, os game-like protocols são bastante eficazes. Por serem desenvolvidos especificamente para o uso em NVE's, eles geralmente apresentam PDU's bastante pequenas, capazes de transmitir as informações vitais ao correto funcionamento do NVE. Essa transmissão dá-se de uma forma rápida e eficiente, com um tempo de atualização global de todas as aplicações envolvidas geralmente baixo. Isso acaba por garantir um sincronismo quase ótimo de todas as cópias do ambiente virtual compartilhado espalhadas pelos vários computadores utilizados para seu acesso.

Ao contrário do protocolo DIS, os game-like protocols não precisam transmitir definições completas do estado de objetos, podendo apresentar diversos tipos de PDU's especializadas para cada operação realizada por uma determinada entidade virtual (mover, animar, falar, etc). Hagsand (1996) discute o uso de game-like protocols implementados na forma de canais multicast confiáveis, mostrando que não necessariamente a rede necessita dar suporte a multicast. Para isso, podem ser construídas estruturas responsáveis pelo repasse de informações às diversas aplicações necessárias ao funcionamento do NVE. Os game-like protocols são também conhecidos por SRMP's (Scalable Reliable Multicast Protocols – protocolos escaláveis por multicast confiável) por que originalmente utilizavam-se de canais multicast confiáveis.

Nota-se, porém, que os game-like protocols exigem redes de média ou alta confiabilidade, com estruturas robustas de transmissão de informações. Isso, no entanto, não é realmente uma restrição, uma vez que a própria Internet pode ser encarada como uma rede desse tipo.

5.4.3 Comparação do Desempenho de Protocolos em Diversas Redes

A comparação do desempenho de DIS-like protocols e game-like protocols pode ser observada na Tabela 3. Nota-se que o uso de DIS-like protocols só pode ser realmente justificado em raros casos, quando há necessidade de uma alta precisão no sincronismo das cópias do NVE ou quando é preciso integrar alguma aplicação especificamente projetada para esse tipo de protocolo.

Tabela 3: Comparação do número de participantes suportados por DIS-like Protocols e game-like protocol em diferentes tecnologias de comunicação de dados (Dawson, 1998).

Tecnologia	Velocidade Mínima (bps)	Velocidade Máxima (bps)	Máximo de Participantes com DIS-Like Protocol	Máximo de Participantes com Game-Like Protocol
Modem V.90	28.800	56.000	6	27
DSL	384.000	1.500.000	163	732
T-1	384.000	1.500.000	163	732
Cable modem	2.000.000	10.000.000	1.085	4883
10 BT	7.000.000	10.000.000	1.085	4883
100 BT	70.000.000	100.000.000	10.851	48.826

Nota: Valores estimados de acordo com as considerações da Seção 5.1.2.

5.4.4 Otimização de Tráfego de PDU's na Rede

Além do uso de protocolos com PDU's pequenas, um conjunto de outras técnicas pode ser utilizado a fim de obter-se um melhor aproveitamento da infra-estrutura de comunicação utilizada pelo NVE. Entre essas técnicas, merece destaque o dead reckoning, que é uma técnica de extrapolação com predição e correção de trajetórias, que tem sua origem na navegação de grandes barcos. A partir de dados simples, como posição, velocidade e aceleração em um determinado instante, a trajetória de um dado navio pode ser antecipada com um bom grau de precisão. Para tanto, somente são necessários um mapa cartográfico e cálculos simples. A técnica de dead reckoning é adaptada para a utilização em NVE's, com a finalidade de diminuir substancialmente a quantidade de informações sobre o re-posicionamento de entidades no interior do ambiente virtual, sendo

empregada em diversos protocolos, incluindo o próprio protocolo DIS (IEEE, 1995). Assim, ao invés de serem enviadas informações contendo cada posição visitada por um determinado objeto virtual, incluindo os corpos virtuais que representam os participantes, somente é necessária a transmissão de informações acerca de sua localização, velocidade e aceleração, em certos momentos, tais como parada e mudança de sentido de movimentação (Guttman et al., 2000).

Além do uso de dead reckoning, cada um dos microcomputadores pode armazenar tanto uma cópia do mundo virtual compartilhado, como o próprio comportamento de elementos do mesmo (Çapin et al., 1999). Dessa forma, o processamento de ocorrências existentes no NVE pode ser descentralizado, sendo realizado localmente por cada uma das aplicações utilizadas pelos participantes. Apesar de descentralizado, esse tipo de processamento dá-se de forma sincronizada, uma vez que ocorre quase que simultaneamente nos computadores utilizados pelos diversos usuários do sistema. O protocolo empregado no NVE deve prever esse tipo de funcionalidade, definindo uma ou mais PDU's específicas para o disparo de eventos e sua retransmissão a todos os usuários. Assim, scripts ou rotinas específicas podem controlar localmente ações, movimentos e mudanças de estados de diversos objetos. Esse tratamento descentralizado de eventos acaba evitando o envio na rede de um conjunto de PDU's que indiquem somente estados intermediários, substituindo esse grupo por uma única PDU indicativa de uma determinada ação, com estado inicial e final bem definidos. As informações adicionais, sobre todos os possíveis estados intermediários, podem encontrar-se armazenadas nas próprias aplicações utilizadas pelos participantes do NVE. Deve-se tomar cuidado, porém, com a possível diminuição da extensibilidade do sistema (emprego do ambiente virtual em outras áreas de aplicação, que não a sua original), pois uma má definição do funcionamento global do NVE assim distribuído pode levar a um sério problema, onde a adição de novos tipos de objetos virtuais pode exigir a modificação de todas as aplicações utilizadas pelos participantes do ambiente.

Além do uso de dead reckoning e da descentralização do processamento de eventos, outras técnicas podem ser empregadas em NVE's, para se agilizar a comunicação na rede, como a compressão e a filtragem de mensagens. A compressão de mensagens consiste em se diminuir o tamanho das PDU's utilizadas no protocolo do NVE, através de retirada de possíveis elementos redundantes ou da utilização de padrões alternativos de representação

de seus valores, sem a perda de seu conteúdo semântico. Já a filtragem de mensagens considera que nem todas as aplicações de usuários realmente necessitam receber determinadas alterações de estados de objetos; não sendo, portanto, necessário o envio das PDU's correspondentes às mesmas. A filtragem de mensagens exige a adoção de uma estratégia específica para a seleção de usuários receptores, que pode estar baseada, por exemplo, na distância entre a representação virtual do participante e o objeto que sofreu a alteração de estado. Nesse caso, se tal distância encontrar-se acima de um determinado valor, as modificações de estado não serão percebidas pelo usuário, não sendo, então, necessário o repasse das respectivas PDU's ao mesmo. Esse é um meio bastante eficiente de filtragem de mensagens, que se baseia no reenvio de PDU's de acordo com a partição espacial do NVE.

5.5 Partição Espacial de NVE's

Segundo Macedônia et al. (1995), a partição espacial de um NVE consiste na divisão de todo o ambiente compartilhado em determinadas áreas, que podem ser processadas independentemente em paralelo. Os participantes que se encontrarem nas mesmas partes do mundo virtual podem interagir entre si, sendo, dessa forma, necessária a troca de PDU's somente entre um subconjunto de participantes remotos. Esse tipo de distribuição auxilia tanto na diminuição da utilização da rede de comunicação quanto na carga computacional necessária ao processamento de todo o NVE, incluindo até mesmo o processo de geração gráfica e as simulações envolvidas (Macedônia et al., 1994). Isso ocorre por causa do menor número de participantes envolvidos nas atualizações de estados de objetos. Para NVE's pequenos, que comportam poucos usuários, a partição espacial é geralmente desnecessária; porém, para ambientes compartilhados por muitos participantes simultaneamente, esse tipo de estratégia de divisão do mundo pode ser considerado essencial. A seguir são apresentadas as estratégias de partição espacial mais comuns encontradas em NVE's.

5.5.1. Partição Geográfica

A partição geográfica dá-se através da divisão de todo o NVE em áreas específicas. Tais áreas geralmente apresentam um formato uniforme, como os hexágonos utilizados no NPSNET-IV (Macedonia et al., 1994), e são conhecidas como células. A escolha do formato de hexágono regular, aliás, mostra-se bastante interessante, uma vez que esse formato possui orientação e adjacência uniformes, o que torna o espaço de cada uma delas bastante interligado (Figura 14). Uma célula hexagonal pode estar ligada a até seis outras células, ao contrário de, por exemplo, células quadradas, que estariam ligadas a até somente quatro outras células (Çapin, 1999).

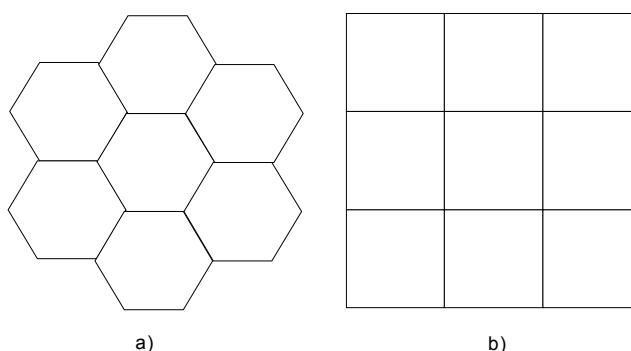


Figura 14: Particionamento por formas geométricas uniformes: a) hexágonos; b) quadrados.

Grupos de multicast são associados a cada uma das células. Os membros de cada um desses grupos de multicast recebem as mudanças de estado ocorridas em objetos existentes no interior de cada uma das células. Assim, à medida que um usuário atravessa uma determinada porção do NVE, ele percorre um conjunto de células, associando-se e desassociando-se automaticamente dos respectivos grupos de multicast.

Uma possível otimização dessa abordagem é conectar o usuário não somente ao grupo de multicast correspondente à célula em que seu corpo virtual se encontra, mas sim a todos os grupos multicast que circundam esta célula até uma determinada distância (critério de proximidade). Esse conjunto de células é conhecido por vizinhança, e essa modificação permite ao usuário do sistema receber informações de atualização de uma maneira mais completa, antecipando suas necessidades com relação a objetos que não pertençam a sua célula atual, mas que se encontrem em sua proximidade. Mais uma vez o formato hexagonal apresenta vantagens, permitindo que o número de grupos multicast conectados e desconectados seja praticamente o mesmo sempre que o participante do NVE

movimentar-se pelo ambiente (Figura 15-a). Para células quadradas, esse número seria bastante diferente, uma vez que a área utilizada para selecionar a vizinhança deve ser definida a partir de um círculo de raio igual ao critério de proximidade (Figura 15-b).

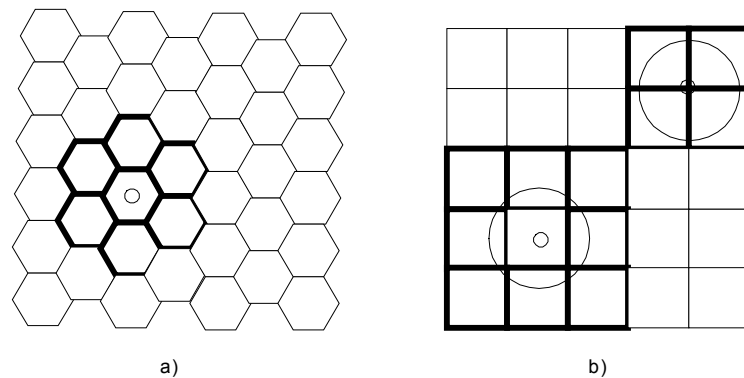


Figura 15: Vizinhança em: a) hexágonos; b) quadrados.

Barrus et al. (1996) propõem, também, a utilização de locais, formas geométricas arbitrárias, não necessariamente uniformes, como modo de particionar geograficamente o ambiente (Figura 16). Essa abordagem particular permite uma organização mais flexível do espaço virtual. Conseqüentemente, há um melhor aproveitamento dos grupos de multicast, pois a distribuição de usuários e objetos não necessariamente segue o formato de células uniformes, como hexágonos, por exemplo.

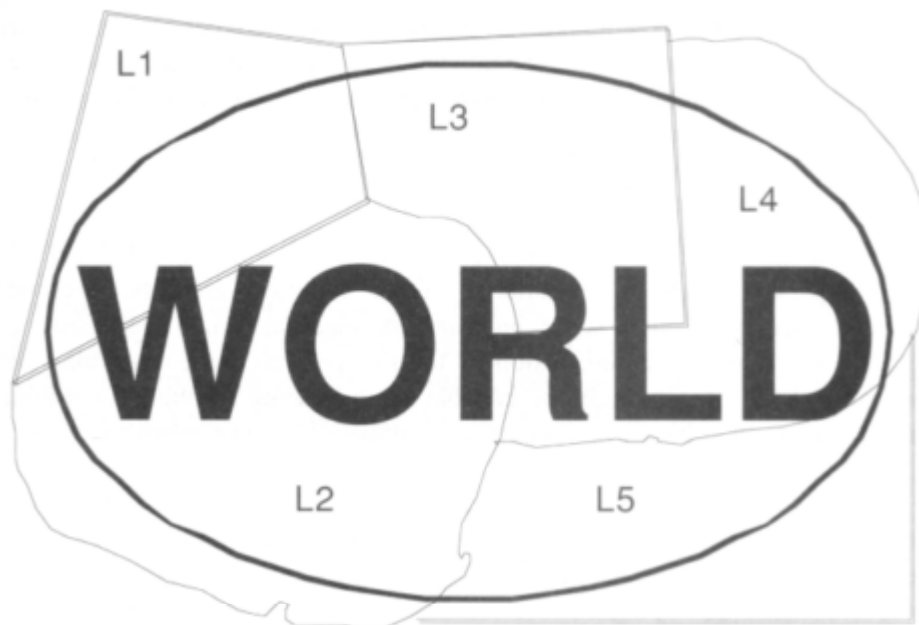


Figura 16: Exemplo de particionamento de ambiente virtual por locais (L1, ..., L5) (Funkhouser, 1995).

Uma outra otimização da partição geográfica, proposta por Funkhouser (1995), consiste em adotar-se locais definidos de acordo com a geometria das estruturas presentes no NVE. A seleção da vizinhança não obedece mais o critério de proximidade, mas sim um critério de visualização. A vizinhança passa a ser constituída por todos os locais que podem ser visualizados a partir da posição atual do participante no interior do NVE (Figura 17). A grande vantagem dessa modificação da partição geográfica é o número presumivelmente menor de grupos de multicast associados à vizinhança. Há, no entanto, um maior peso computacional decorrente dos algoritmos de identificação das possíveis zonas visualizadas. Além disso, essa estratégia de partição somente contempla regiões fechadas, sendo seu uso bastante inadequado para espaços virtuais muito amplos, o que acarretaria em locais muito grandes e ineficientes.

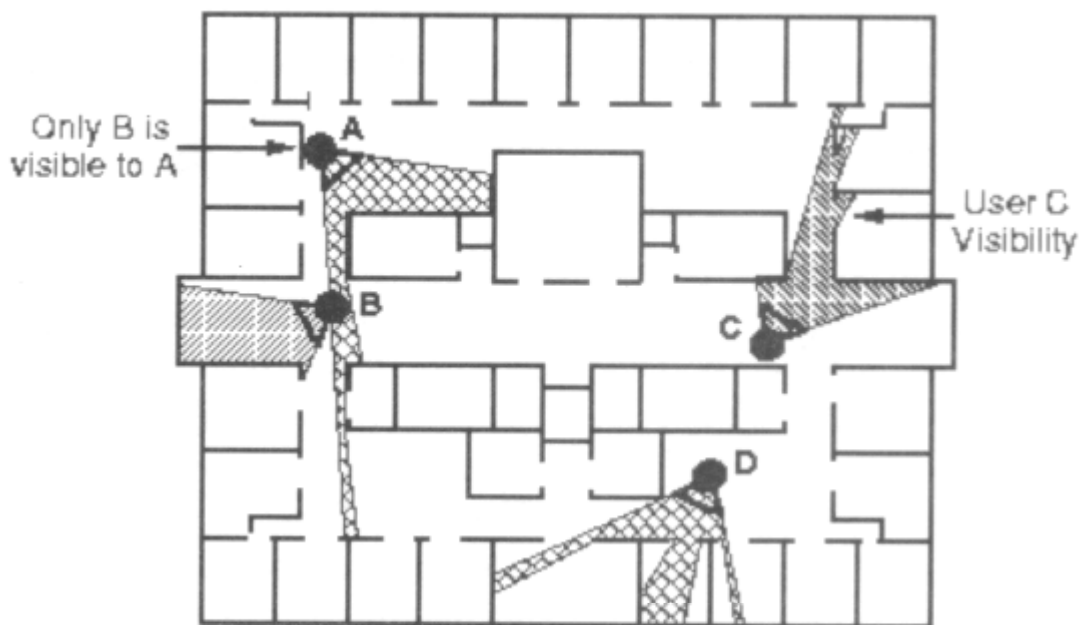


Figura 17: Exemplo de vizinhança definida através do critério de visualização (Funkhouser, 1995).

5.5.2 Partição por Servidores Separados

A partição por servidores separados é uma solução bastante simples de ser implementada e eficiente no que se refere ao controle de tráfego da rede. Nesse tipo de partição, o ambiente total compartilhado é composto, na verdade, por um conjunto de pequenos mundos virtuais compartilhados, cada um gerenciado por um servidor específico.

Os diversos servidores têm seus funcionamentos completamente independentes, não sendo possível a troca de mensagens entre os mesmos. Um determinado participante pode realizar conexões a cada um desses servidores individualmente, sendo capaz, assim, de percorrer todo o NVE. Podem existir, também, interligações entre os diversos servidores (comumente conhecidas como portais), permitindo que usuários transitem de um mundo virtual para outro. Como os portais são direcionais, somente é possível a volta do participante ao mundo anterior se o servidor atual fornecer um portal para tal retorno (Figura 18). Mesmo nesse caso, não há interconexão entre os servidores, ocorrendo, na verdade, somente conexões automáticas realizadas pela própria aplicação-cliente utilizada pelo participante para explorar o grande ambiente virtual.

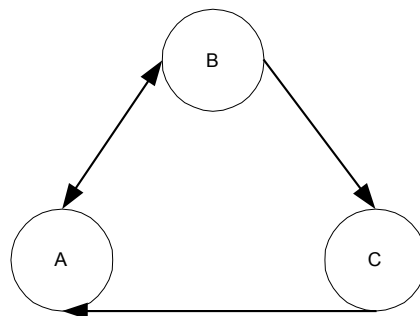


Figura 18: Exemplo do uso de portais onde um participante de C somente pode voltar a B através de A.

Esse modelo é bastante semelhante àquele utilizado na World Wide Web, onde home-pages podem apresentar links para outras home-pages, existentes em outros servidores HTTP (Hyper Text Transfer Protocol - servidores empregados tornar páginas da Web disponíveis). A vantagem apresentada por esse modelo é a sua simplicidade de implementação e a sua escalabilidade quase ilimitada. No entanto, não é possível a existência de espaços contínuos entre os diversos mundos virtuais que formam o NVE, uma vez que as ligações entre mundos encontram-se somente nos portais, que são pontos discretos do espaço virtual. Uma outra desvantagem é a complexidade de gerenciamento de NVE's muito amplos, formados por um número muito grande de servidores (Çapin et al., 1999).

Capítulo VI

ESCREV – A “Escola Realmente Virtual”

O objetivo desse capítulo é apresentar a ESCREV, a “Escola Realmente Virtual”, um modelo de NVE que pode ser empregado em processos de educação ou de treinamento de indivíduos, tanto localmente quanto a distância. Primeiramente são expostas as características básicas da ESCREV. Em seguida, são apresentadas todas as categorias de elementos que podem estar presentes nesse modelo de NVE. Posteriormente, são discutidos os recursos básicos disponíveis aos participantes da ESCREV; e, a partir desses, são definidos sub-ambientes da ESCREV para utilizações específicas. Finalmente, é exibida uma proposta de extensão e especialização da ESCREV, a fim de se permitir a criação de várias escolas virtuais para um grande número de usuários.

6.1 O NVE Proposto

A ESCREV tem como característica básica a representação de estruturas de escolas do mundo real em um grande ambiente virtual, compartilhado por vários indivíduos e por programas de computadores capazes de simular, de uma forma simplificada, comportamentos diversos, que vão desde o funcionamento de máquinas até o raciocínio humano. Como o acesso à ESCREV pode se dar através da Internet, todos os participantes podem encontrar-se geograficamente dispersos ou agrupados em locais específicos. Assim, permite-se que uma grande quantidade de alunos e professores possa compartilhar, de forma síncrona ou, em certas ocasiões, de forma assíncrona, um mesmo espaço virtual, trocando informações e discutindo idéias.

A fim de se viabilizar a utilização da ESCREV pelo maior número de pessoas, optou-se pelo emprego de desktop virtual reality como a tecnologia capaz de tornar disponível o mundo virtual compartilhado. Assim, com um mínimo de investimento (microcomputador comum, com acesso a Internet), é possível a qualquer um acessar e compartilhar informações de uma forma simples e eficiente.

Como o NVE aqui apresentado tem como função básica o mapeamento de estruturas comuns a escolas do mundo real, não há a necessidade de se apontar qualquer corrente pedagógica específica para sua utilização; da mesma forma que o prédio, construído com tijolos e cimento, de uma escola do mundo real, incluindo todos os objetos e equipamentos disponíveis, não necessariamente tem influência na adoção de qualquer metodologia de ensino. Apesar disso, teorias construtivistas e correntes correlatas (Dede et al., 1997; Youngblut, 1998) podem, particularmente, tornar-se bastante adequadas à ESCREV. Isso se deve à liberdade que a realidade virtual fornece à criação de mundos virtuais. Assim, determinados sub-ambientes da ESCREV podem apresentar situações dificilmente encontradas em escolas do mundo real, indo de visitas a locais remotos e observações de fenômenos físicos e químicos à interação com personagens históricos. No entanto, esse trabalho não tem como objetivo a discussão de qualquer possível metodologia pedagógica a ser aplicada à ESCREV, podendo tal tarefa tornar-se um possível objetivo de trabalhos futuros.

O ambiente da ESCREV pode ser formado por vários sub-ambientes interligados, sendo cada um deles responsável por fornecer a base para interações entre os diversos participantes (humanos ou máquinas), os quais podem estar conectados a esse NVE tanto através de uma rede local quanto através da Internet. A visita aos diversos sub-ambientes da ESCREV e a utilização dos respectivos recursos disponíveis são determinadas de acordo com uma política de acesso pré-definida. Tal política é estabelecida segundo as necessidades de cada indivíduo, enquadrando-o, sempre que possível, em grupos de estudo específicos. Dessa forma, é possível reunir pessoas com interesses semelhantes em um mesmo sub-ambiente em horários bem definidos – assim como acontece em escolas do mundo real – facilitando-se o processo de aprendizado como um todo (Salzman et al., 2000). A equipe de administração do NVE, composta por um ou mais indivíduos, é responsável pelo controle dos direitos de acesso dos participantes, pela agregação de novos sub-ambientes, com seus respectivos recursos, à ESCREV e pela organização desses sub-ambientes e recursos. Todas as ocorrências oriundas dos diversos sub-ambientes presentes na ESCREV podem ser documentadas, auxiliando o processo de tomada de decisão da equipe de administração quanto ao comportamento de participantes e funcionamento de locais virtuais.

As equipes de desenvolvimento e de administração da ESCREV têm a liberdade de criar e controlar as mais diversas possibilidades de sub-ambientes virtuais. Assim, laboratórios completos de Física e Química, bibliotecas contendo milhares de volumes e muitos outros sub-ambientes, que são estruturas bastante caras no mundo real, podem ser criados virtualmente, a custos muito mais baixos, e tornados disponíveis a um grande número de participantes da ESCREV.

6.2 A Utilização da ESCREV

É importante notar que uma escola virtual não precisa ser um mapeamento exato do espaço físico de uma escola real. Assim, por exemplo, se a escola virtual precisar atender a novecentos alunos matriculados na 8ª série do ensino fundamental, com turmas de trinta alunos, não há necessidade de se construir individualmente trinta salas de aula para abrigar essas turmas. Ao invés disso, é necessária somente a construção de uma única sala e a replicação dessa. Assim, 30 salas replicadas podem ser tornadas disponíveis na forma de sub-ambientes. Esses sub-ambientes podem ser utilizados simultaneamente pelos trinta grupos de alunos, já que, pela ESCREV ser um NVE, cada aluno terá em seu computador uma cópia da réplica referente a seu grupo, e nela estarão presentes apenas os personagens virtuais correspondentes aos seus colegas de turma. Em uma área de socialização da escola virtual, tal como ocorre em uma área de recreio de uma escola real, todos os novecentos alunos da 8ª série poderiam encontrar-se sem a restrição do agrupamento de turmas. Nesse espaço virtual comum, eles poderiam encontrar, também, todos os outros alunos da escola virtual.

O projeto da escola virtual e o dimensionamento de seus espaços devem levar em conta a forma de agrupamento adotada. Em princípio, a forma de agrupamento é totalmente livre e pode ser definida em função, por exemplo, da quantidade de professores especializados disponível, e da relação ótima de número de alunos por professor. Porém, a minimização do tráfego na rede é um fator que não pode deixar de ser levado em conta. Assim, a estrutura de uma escola virtual poderia ser projetada para atender um número ótimo de alunos e ser replicada para atender diferentes grupos de alunos, como se fossem escolas distintas do mundo real. Uma outra forma de construção de uma escola virtual como a ESCREV poderia levar em conta a organização dos espaços, de forma que salas de

aula virtual especializadas para cada disciplina estivessem disponíveis. O número total de sub-ambientes virtuais pode ser praticamente ilimitado.

O aspecto estético da escola virtual depende unicamente da criatividade da equipe de implementação que, nesse caso, não se encontra limitada pelas restrições de orçamento, o que é um dos fatores mais importantes na construção de uma escola real. Assim, a ESCREV pode assumir qualquer aparência, indo de construções básicas (Figura 19) a até uma grande estrutura (Figura 20); essa última, seria, na verdade, a base para o acesso a vários outros sub-ambientes específicos.



Figura 19: A ESCREV na forma de uma construção básica.

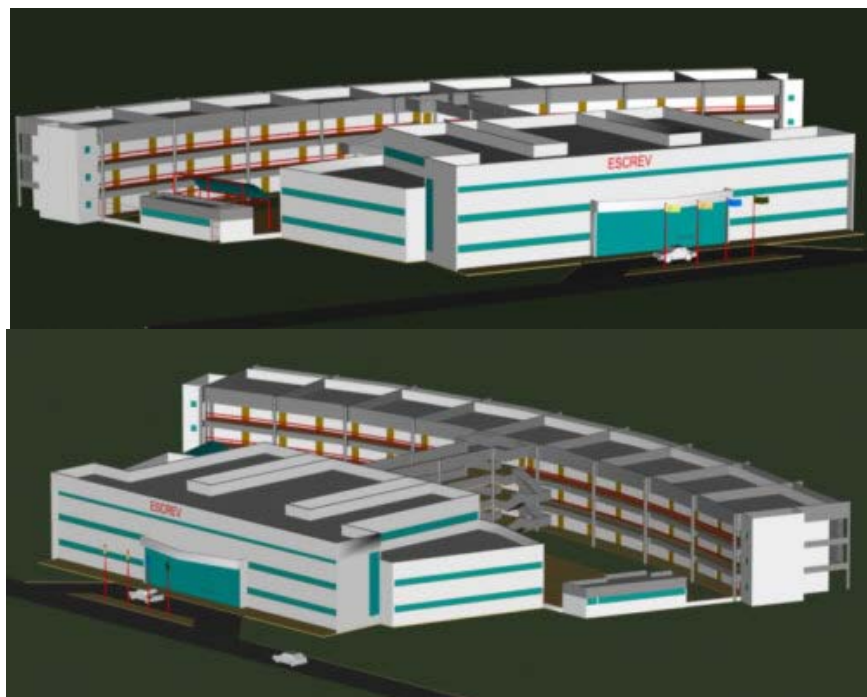


Figura 20: A ESCREV na forma de uma grande estrutura (Vidal Arquitetos, 2000).

A partir de informações obtidas diretamente do horário escolar dos participantes, a ESCREV pode decidir para onde enviar um determinado usuário em uma determinada hora. Assim, se um usuário que está matriculado na turma A da 8^a série tenta acessar a sala de química da ESCREV, é enviado para réplica da sala de química na qual estão seus colegas e professor. No entanto, se na mesma hora, um outro aluno, matriculado na turma B da 8^a série, também acessar a sala de química da ESCREV, esse pode ser enviado à réplica de um laboratório de química específico, a fim de realizar experimentos junto a seu grupo de estudos. Tudo pode depender somente dos horários escolares dos alunos.

6.3. Categorias de Entidades Virtuais

A ESCREV apresenta diversas categorias de entidades virtuais. Muitas dessas entidades são comuns à grande maioria dos NVE's atuais (avatars, objetos, etc.); outras, no entanto, são especialmente definidas na ESCREV para a realização de tarefas específicas, como é o caso dos simulóides de reprodução de ações e outros. Todas as categorias de entidades presentes na ESCREV encontram-se descritas a seguir.

6.3.1 Objetos

No interior da ESCREV podem ser encontrados diversos objetos, que são simulações de objetos do mundo real (Figura 21). Alguns deles são representados por simples corpos estáticos, como é o caso de quadros, armários e mapas, por exemplo. Outros objetos apresentam elaborados comportamentos dinâmicos, como os instrumentos de precisão encontrados em laboratórios. Na ESCREV estão definidas duas categorias de objetos, classificadas de acordo com suas respectivas características de interação com os usuários do NVE: os objetos não interativos e os objetos interativos.



Figura 21: Exemplos de objetos da ESCREV (3D Café, 2000).

Os objetos não interativos apenas contextualizam o ambiente virtual, não respondendo a ações de qualquer participante da ESCREV, seja ele humano ou máquina. Peças de decoração, sinais de indicação em determinados locais, por exemplo, podem ser considerados objetos não interativos. Vale salientar, no entanto, que não necessariamente, objetos não interativos são estáticos. Pode haver casos em que um objeto não apresente qualquer tipo de interação com o usuário, porém realize algum tipo de tarefa específica, muitas vezes repetitiva. Um relógio de parede, por exemplo, encaixa-se nesse perfil particular.

Por sua vez, os objetos interativos respondem a eventos disparados por usuários do NVE, podendo ser manipulados. As respostas dos objetos interativos, incluindo possíveis feedbacks táteis, visuais ou auditivos, às ações dos participantes da ESCREV são tanto mais complexas quanto maior for o realismo desejado. É importante notar, porém, que o realismo da simulação do comportamento de objetos interativos deve estar de acordo tanto com suas formas de utilização, quanto com o desempenho geral do sistema de realidade virtual. Ou seja, não se deve sacrificar o desempenho do ambiente virtual como um todo

em função de características desnecessárias do objeto interativo. Dessa forma, mais uma vez os administradores e desenvolvedores do NVE devem desempenhar o importante papel de avaliar o custo-benefício da inclusão de um determinado objeto interativo, julgando suas reais funcionalidades e o peso computacional adequado a seu uso.

6.3.2 Avatares

Avatares são personagens virtuais que representam usuários humanos na ESCREV. Os avatares podem fazer uso de praticamente qualquer corpo tridimensional animado. Porém, para fins de padronização e controle, na ESCREV somente são aceitos corpos que representem seres humanos, podendo os mesmos apresentar diferentes características individuais (altura, peso, cor da pele, vestimenta, idade, etc.) (Figura 22). Há, no entanto, algumas exceções a essa regra, como no caso de uso de exploratórios, por exemplo (discutidos na Seção 6.5.4), onde participantes podem utilizar-se de avatares das mais diversas formas. Os participantes da ESCREV podem selecionar seus avatares de acordo com suas preferências pessoais; no entanto, mais uma vez por motivos de padronização e controle, não é permitida aos usuários a criação de novos corpos virtuais, ficando essa tarefa restrita à administração e desenvolvimento do NVE.

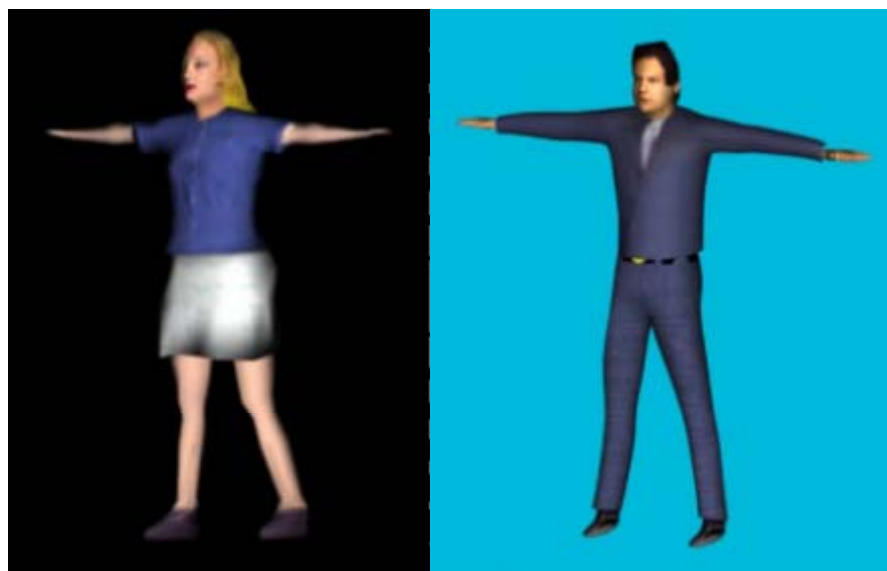


Figura 22: Exemplos de avatares encontrados na ESCREV (Rezende & Braga, 2000).

6.3.3. Simulóides

Simulóides são personagens virtuais controlados por computadores (Csordas, 2000). Por apresentarem uma alta disponibilidade, os simulóides, ao contrário de humanos, podem interagir com usuários (avatars) ou mesmo com outros simulóides, a qualquer hora do dia ou da noite. Essas interações são geralmente baseadas em mensagens trocadas através do serviço de chat ou do acesso a menus específicos. Elas podem resultar na execução de simples tarefas repetitivas, com a finalidade de treinar usuários para que se tornem aptos a executá-las. As interações entre simulóides também podem simular comportamentos mais complexos, desencadeando todo um conjunto de ações específicas. Entre esses comportamentos complexos, destaca-se a integração do NVE a aplicações externas, como sistemas gerenciadores de bases de dados, aplicações de simulação ou outras ferramentas (Vidal et al., 2000). A seguir estão apresentados alguns dos modelos de simulóides presentes na ESCREV.

6.3.4. Assistentes Pessoais

Cada participante humano da ESCREV tem à sua disposição um simulóide para sua assistência pessoal. Esse tipo de simulóide é responsável pelos seguintes serviços:

- *Help* do sistema – fornece informações básicas ao usuário do NVE sobre como navegar no interior da ESCREV, como executar determinadas ações, como acessar funcionalidades da ESCREV (comunicação com outros participantes, apresentação de mídias, etc.), entre outras;
- Guia do mundo virtual – mostra, a pedido do usuário do NVE, como chegar a um determinado sub-ambiente virtual da ESCREV;
- Agenda de compromissos – armazena informações (descrição, horário, local, etc.) referentes aos compromissos de um usuário (aluno ou professor) da ESCREV, geralmente de acordo com suas necessidades individuais e aulas agendadas. O assistente pessoal pode receber essas informações diretamente do usuário ou a partir de sistemas de bancos de dados mantidos pela equipe de administração e implementação do NVE;

- Apresentação de funcionalidades disponíveis em um dado sub-ambiente – assim que um usuário entra em um determinado sub-ambiente virtual, o assistente pessoal pode, se assim for desejado, fornecer informações acerca daquele local. Além disso, o assistente pessoal também pode apresentar um resumo de funcionalidades existentes no local (possível material de apoio para aulas, dados sobre objetos, etc.) e, posteriormente, auxiliá-lo no acesso às mesmas; e,
- Acesso a outros simulóides – os assistentes pessoais também podem auxiliar o usuário a evocar os serviços de outros simulóides da ESCREV (auxiliares de professores, simulóides de reprodução de ações, etc.), discutidos nas Seções 6.3.5 e 6.3.6.

6.3.5. Auxiliares de Professores

Professores da ESCREV podem ser ajudados por simulóides do tipo auxiliares de professores. Esse tipo de simulóide consiste em personagens virtuais que podem, a partir de interações com os usuários do ambiente virtual, tornar disponíveis informações oriundas de aplicações externas ao ambiente virtual da ESCREV. Para cada aplicação externa necessária a cada sub-ambiente virtual, pode ser tornado disponível, pelas equipes de administração e de implementação, um simulóide específico do tipo auxiliar de professor. As informações fornecidas por esses simulóides podem encontrar-se armazenadas, ou mesmo sendo processadas em tempo real, em aplicativos específicos. Em casos particulares, alguns participantes da ESCREV, geralmente professores, podem, além de receber informações de auxiliares de professores, acrescentar novas informações. Esse tipo de artifício permite ao professor humano incluir seu próprio conhecimento às bases de dados utilizadas, podendo tornar o aprendizado final de seus alunos mais rico e eficiente.

Por exemplo, um professor de matemática pode solicitar a um auxiliar de professor, conectado diretamente a uma aplicação de computação simbólica, que encontre a solução analítica de um determinado problema. E, da mesma forma, o professor pode inserir, através de interações diretas com o mesmo simulóide auxiliar de professor, algumas

equações que forem posteriormente necessárias em suas aulas, tornando-as disponíveis tanto a seus alunos quanto ao próprio professor.

6.3.6. *Simulóides de Reprodução de Ações*

Professores podem deixar armazenadas suas aulas na própria ESCREV. Para que isso seja possível, basta evocar um simulóide de reprodução de ações. Este tipo de simulóide captura todas as ações (movimentação do avatar, mensagens enviadas e recebidas, mídias apresentadas, etc.) realizadas pelo professor durante sua aula. Posteriormente, alunos que não puderam ter acesso àquela aula podem evocar o serviço do avatar de reprodução de ações utilizado pelo professor. Logicamente, não será possível interagir diretamente com esse personagem virtual, pois o simulóide de reprodução de ações simplesmente se limita a repetir todos os acontecimentos anteriormente capturados. Como complemento, simulóides auxiliares de professores também podem oferecer seus serviços aos alunos, a fim de complementar o aprendizado. Particularmente, essa solução pode se mostrar como uma excelente alternativa para o treinamento de usuários para a execução de tarefas simples, tais como experimentos químicos ou construção de *origamis*¹⁰, por exemplo.

6.3.7. *Outros*

Dependendo das necessidades específicas dos diversos participantes do NVE, muitos outros simulóides podem estar presentes na ESCREV. Como por exemplo: bibliotecárias, que auxiliam alunos e professores na busca de informações específicas na Web (Vidal et al., 2000); e secretárias que realizam matrículas, disponibilizam horários de aulas, fornecem notas de alunos, listas de chamadas e muitas outras informações (todas oriundas de sistemas gerenciadores de bases de dados mantidos pelas equipes de administração e de implementação do NVE).

¹⁰ Técnica japonesa de dobrar papéis para a criação de objetos.

As possibilidades de interações entre participantes da ESCREV e os diversos simulóides disponíveis somente estão limitadas pela capacidade de imaginação dos responsáveis pelo desenvolvimento dos sub-ambientes.

6.4 Recursos Disponíveis

A seguir, encontram-se descritos, e agrupados em categorias específicas, todos os recursos disponíveis para os diversos usuários da ESCREV.

6.4.1. Exploração em Realidade Virtual

Exploração em realidade virtual engloba todo o conjunto de possibilidades de utilização dos recursos de realidade virtual presentes no ambiente. O próprio mundo virtual da ESCREV com seus elementos componentes é o recurso disponível mais importante, que pode ser explorado pelos vários participantes. Para tornar isso possível, os seguintes recursos devem estar disponíveis.

Identificação

Independentemente da tecnologia de imersão utilizada, o usuário precisa escolher um avatar e um pseudônimo para que seja identificado no interior do ambiente virtual. Esse tipo de identificação também será uma das responsáveis pela sensação de presença do indivíduo. Na ESCREV, após a entrada no ambiente virtual, um crachá com o pseudônimo escolhido acompanhará o avatar do participante (Figura 23). Esse mesmo processo de identificação é adotado por simulóides para facilitar suas interações com os avatares. Assim, a identificação, tanto de avatares como de simulóides, fornece subsídios para uma melhor comunicação e posterior formação de grupos específicos, com fins bem definidos; como, por exemplo, as equipes formadas em salas de aula para a execução cooperativa de determinadas tarefas.



Figura 23: Avatar identificado.

Navegação

A navegação no interior do ambiente virtual é uma das prerrogativas para que ocorra a imersão do indivíduo no sistema. Assim, a possibilidade de se caminhar no plano onde se encontram as estruturas tridimensionais que formam o mundo virtual da ESCREV é um dos recursos básicos necessários. Em casos particulares, como no uso de sub-ambientes virtuais do tipo “exploratórios” – discutidos posteriormente –, pode ser dada ao participante a liberdade de “flutuação tridimensional” (Figura 24). A flutuação tridimensional consiste em um processo de navegação que vai além da simples caminhada no plano, permitindo aos usuários do NVE deslocarem-se em todos os sentidos no interior do mundo virtual. Ela pode ser utilizada, por exemplo, para a simulação de um mergulho em alto mar, onde os vários participantes da ESCREV podem nadar por entre corais ou escombros de navios naufragados. Esse tipo de navegação pode estimular bastante diversas práticas de observação, facilitando bastante a aquisição de conhecimento (Erickson, 1993).

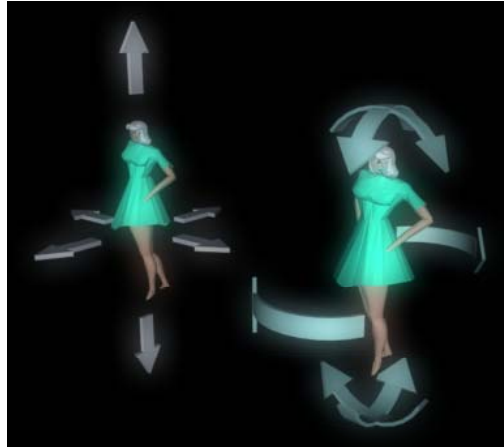


Figura 24: Possibilidades de movimentação do personagem em flutuação tridimensional (Rolim, 2000).

Interação com Objetos

A existência de objetos interativos na ESCREV permite aos avatares e simulóides realizarem processos simples de manipulação, tais como as aplicações de translação e rotação a esses tipos de objetos (Figura 25). Da mesma forma que pessoas podem realizar ações sobre objetos no mundo real, também na ESCREV é permitido que avatares ou simulóides sentem-se em cadeiras, movimentem mesas, etc.

Um modo de interação mais complexo é o da simulação de aparelhos mecânicos, eletromecânicos e eletrônicos no ambiente virtual, que, apesar de exigir uma maior preocupação com o realismo do comportamento desses objetos interativos, oferecem uma opção bastante interessante na construção de laboratórios virtuais, por exemplo. Mais uma vez, tais situações devem ser previstas de acordo com o funcionamento geral dos objetos, ficando o realismo da interação ligado às necessidades de desempenho do ambiente como um todo.

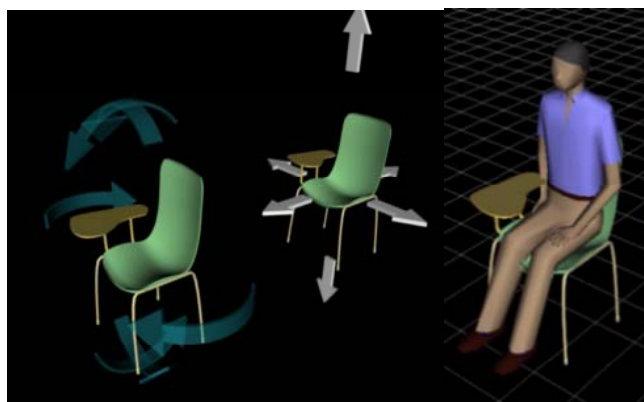


Figura 25: Possibilidades de interação com um determinado objeto (Rolim, 2000).

6.4.2. Comunicação

Recursos de comunicação são ferramentas bastante importantes em NVE's, pois, além de permitirem a troca de informações entre os participantes, são os principais responsáveis pela estruturação de esforços conjuntos para a realização de tarefas através de grupos de trabalho. Na ESCREV, os seguintes recursos de comunicação encontram-se disponíveis.

Chat

O recurso básico de comunicação da ESCREV é o chat. A troca de mensagens de texto entre os diversos participantes possibilita discussões acerca de temas específicos e o posterior compartilhamento do conhecimento como um todo. Além disso, o chat, por prover estruturas de comunicação simples entre indivíduos, permite uma maior integração entre todos, fornecendo subsídios reais para o estabelecimento de grupos específicos com interesses comuns. No ambiente virtual, o usuário pode conversar com todos os participantes que se encontrem em sua redondeza, podendo manter diálogos com todo o grupo ou com indivíduos específicos, através do uso de canais particulares na ESCREV. Para evitar que as discussões dos alunos se dispersem, os professores podem participar como mediadores na conversação.

A fim de tornar a comunicação da ESCREV semelhante às conversações existentes no mundo real, é definido o “limite de influência de comunicação”, que, para um dado usuário, é uma parte do sub-ambiente virtual na qual o mesmo pode manter comunicação textual com outros participantes do ambiente (Figura 26). Somente pode ser estabelecida a conversação entre indivíduos que apresentem intersecções em seus limites de influência de comunicação.

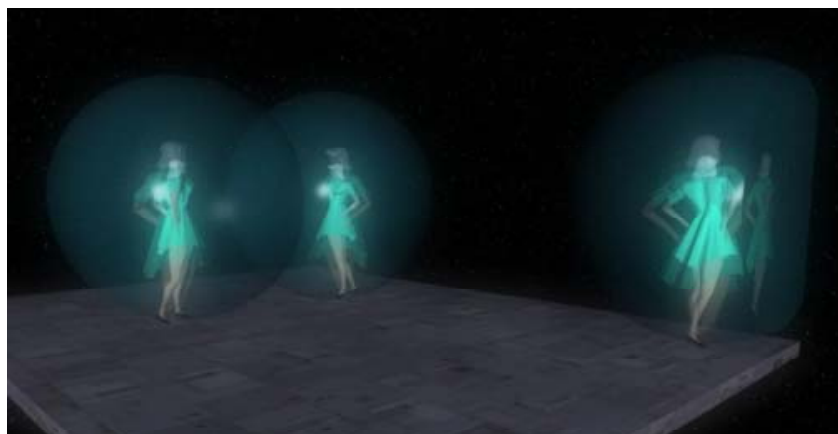


Figura 26: Limite de influência de comunicação (Rolim, 2000).

Complementos

A fim de enriquecer a comunicação textual, recursos extras, baseados na animação de avatares e simulóides e na apresentação de sons, também estão disponíveis aos participantes da ESCREV. Gestos e expressões faciais dos personagens virtuais (Figura 27) podem ser uma importante referência para o estado de espírito dos mesmos, algumas vezes substituindo totalmente a comunicação textual (Vidal et al., 2000). Sons também podem ser acrescentados ao ambiente a fim de se subsidiar as interações entre personagens do mundo virtual. Esses tipos de recursos complementares de comunicação possibilitam um alto grau de integração de indivíduos e, também, uma maior sensação de presença.



Figura 27: Complementação da comunicação através de expressões faciais (3D Cafe, 2000).

Apresentação de Mídias

A ESCREV também permite a apresentação de muitos outros tipos de mídias, além de mensagens de texto. Arquivos contendo áudio, imagens, vídeos, animações gráficas e muitos outros elementos podem ser inseridos no ambiente virtual tanto pelos

administradores do NVE quanto pelos próprios participantes. Essa tarefa é bastante simples, e consiste em indicar, através de uma caixa de diálogo onde o respectivo arquivo se encontra. Automaticamente, será feito o *upload* do arquivo para a ESCREV e o mesmo ficará disponível a todos os participantes. Mais uma vez valem as regras de acesso a recursos estabelecidas previamente tanto para a realização de uploads quanto para o acesso propriamente dito aos arquivos no ambiente virtual. Assim, por exemplo, um professor poderá apresentar materiais complementares àqueles encontrados no interior da ESCREV, simplesmente informando em uma caixa de diálogo específica qual o arquivo desejado e quais participantes devem ter acesso ao mesmo. Automaticamente, os participantes selecionados receberão o respectivo arquivo, que ficará armazenado de forma persistente nos computadores utilizados, tendo acesso ao conteúdo do mesmo. Os formatos de arquivos suportados pela ESCREV devem ser estabelecidos pela administração do NVE.

6.4.3. Ferramentas Auxiliares

Outras ferramentas complementares podem ser agregadas às funcionalidades da ESCREV. Tais ferramentas podem ser utilizadas para tornar disponíveis tarefas ou informações não definidas originalmente para esse NVE, mas que podem ser de interesse dos participantes. A seguir são apresentadas algumas das ferramentas que podem ser agregadas à ESCREV.

MakeYourPoint

O MakeYourPoint é um serviço, tornado disponível através da Internet, para a criação de apresentações de slides, baseadas em VRML (Virtual Reality Modeling Language, um formato-padrão para a geração de ambientes virtuais na Internet), contendo textos tridimensionais. O professor pode usá-lo como uma alternativa mais interessante às anotações de quadro negro, comuns em aulas do mundo real. Os arquivos gerados podem ser tornados disponíveis, a qualquer hora, aos alunos que deles necessitarem. As anotações podem, então, ser visualizadas através de um navegador VRML (aplicação capaz de apresentar o mundo definido em VRML) agregado à ESCREV. Como o arquivo contendo a apresentação estará armazenado localmente, posteriores consultas, ou mesmo sua edição, são possíveis mesmo que o participante não esteja conectado à ESCREV. Esse tipo de

solução poupa bastante tempo do professor, pois evita que todas as anotações sejam reescritas por ele e copiadas pelos alunos. Além disso, por fazerem uso de uma apresentação visual bastante atraente (Figura 28), essas anotações podem ser um meio de estímulo à atenção dos alunos.



Figura 28: Exemplo de uso do serviço MakeYou Point (Albuquerque, 1997).

Whiteboard

Ferramentas do tipo whiteboard são aplicações que permitem o compartilhamento de uma determinada área gráfica através de uma rede. Nessa área gráfica é permitido que indivíduos insiram e manipulem, de forma cooperativa, imagens, objetos gráficos e textos (Figura 29). O whiteboard é uma alternativa bem mais poderosa aos quadros negros das escolas do mundo real e permite que explanações e discussões mais apuradas sejam realizadas a distância pelo grupo de participantes. Os estados do whiteboard podem ser armazenados localmente por cada um dos participantes do grupo. Os arquivos gráficos gerados a partir desses estados podem, inclusive, ser posteriormente enviados à ESCREV, a fim de tornar o conteúdo dos mesmos disponível a todos os demais participantes do NVE. Muitas vezes, para simplificar a operação desse tipo de ferramenta de compartilhamento, podem ser utilizados dispositivos de hardware especiais, conhecidos como *tablets* gráficos (Figura 29).

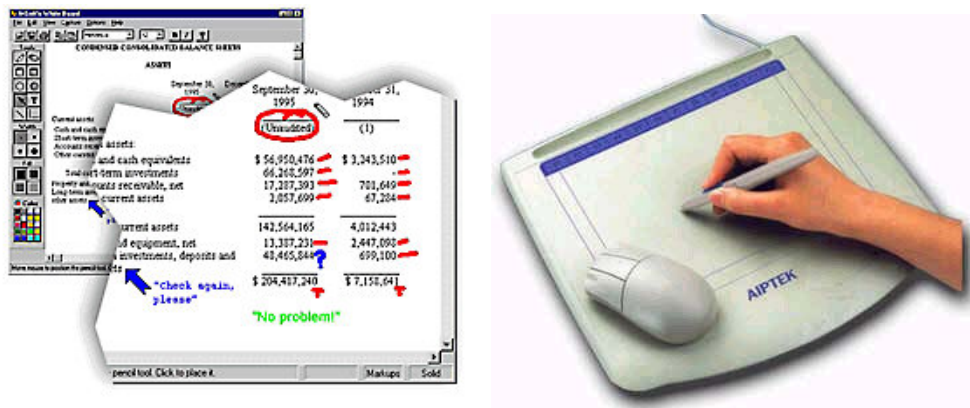


Figura 29: Exemplo de aplicação de whiteboard (esquerda) e tablet gráfico (direita) (Voice Coonections, 2000 e Aiptek, 2000).

Micro-Mundos

Para o estudo individualizado, não baseado em discussões em grupo, podem ser empregados micro-mundos (Malone & Lepper, 1984). Esse tipo de ferramenta consiste na utilização de estruturas simples de realidade virtual voltadas para o estudo de fenômenos específicos (Figura 30). Os micro-mundos podem simular determinadas situações, permitindo que um usuário interaja com elementos do próprio micro-mundo, observando as implicações de suas intervenções e avaliando os resultados. Por possuírem acesso monousuário, os micro-mundos permitem que o usuário os execute sem a necessidade de conexão à rede. Na ESCREV, por exemplo, professores podem indicar micro-mundos específicos para que sejam explorados por cada aluno e as conclusões individuais de cada um sejam posteriormente discutidas em grupo.

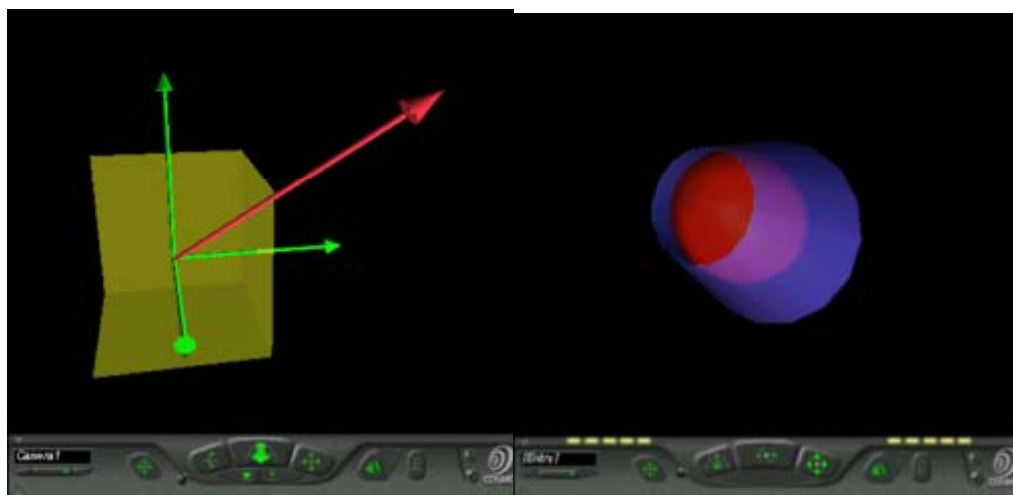


Figura 30: Exemplos de micro-mundos implementados em VRML (Costa Filho, 1997; Albuquerque, 1997).

Mensagens Instantâneas

A fim de permitir a troca de informações entre usuários que não estejam em um mesmo recinto da ESCREV, pode ser agregado também um sistema de mensagens instantâneas (ICQ, 2000). Esse sistema é geralmente menos eficiente que o chat, uma vez que permite somente a utilização de canais privados (comunicação apenas entre dois indivíduos). Apesar de sua ineficiência relativa, o sistema de mensagens instantâneas pode ser utilizado como parte de uma estratégia de localização de indivíduos no interior da ESCREV, promovendo a posterior reunião dos mesmos em um único sub-ambiente, onde poderá, então, ser empregada a comunicação por chat.

Canais para Teleconferência

Opcionalmente, podem ser agregados à ESCREV ferramentas de áudio e videoconferência (Figura 31). Tais ferramentas, porém, consomem uma grande largura de banda da rede de comunicação utilizada. Além disso, tais recursos podem, muitas vezes, exigir hardware especializado (microfones, câmeras, etc.), comprometendo a viabilidade do NVE ser utilizado em larga escala. Apesar disso, os canais de comunicação criados podem melhorar a comunicação entre indivíduos, permitindo a exibição em tempo real de sons e imagens do mundo real, não presentes no ambiente virtual (Moura Filho, 1998).



Figura 31: Exemplo de aplicação para áudio e videoconferência (Internet Phone, 2000).

Outros Aplicativos

Além do conjunto de serviços que podem ser integrados à ESCREV através de simulóides, como já foi anteriormente discutido, muitas outras ferramentas podem ser integradas diretamente. Isso é uma tarefa relativamente fácil, uma vez que esse é um dos requisitos básicos da arquitetura empregada para tornar viável esse NVE. Assim, muitos outros aplicativos, multiusuários ou não, podem ser integrados à ESCREV para a que diversos conteúdos tornem-se disponíveis a seus participantes. Assim, para a utilização assíncrona da ESCREV, podem ser incluídas, por exemplo, ferramentas de e-mail e listas de discussões. Da mesma forma, a ESCREV pode ser integrada a sistemas de gerenciamento de escolas, para a obtenção de informações acerca das necessidades de seus vários participantes, incluindo o horário escolar de alunos e a alocação de professores.

6.5 Modelos de Sub-Ambientes

Como já foi dito anteriormente, o ambiente virtual da ESCREV é constituído por sub-ambientes. Esses sub-ambientes podem ser classificados em categorias específicas, de acordo com os recursos tornados disponíveis aos seus usuários. A seguir é apresentada essa classificação.

6.5.1 Fórum

O fórum é o modelo de sub-ambiente mais simples encontrado na ESCREV. Os fóruns definem somente uma estrutura tridimensional, que pode ser percorrida pelos participantes, sem a possibilidade de uso de objetos interativos. Nesse sub-ambiente, somente estão disponíveis os recursos de comunicação (o chat, a comunicação não textual e, opcionalmente, os canais de teleconferência e as mensagens instantâneas) e os recursos de compartilhamento de informações (as ferramentas de apresentação de mídias). O emprego de fóruns restringe-se, geralmente, a reuniões de discussão entre os membros de um determinado grupo de participantes (Figura 32).



Figura 32: Exemplo de sub-ambiente do tipo fórum (Rolim, 2000).

6.5.2 Sala de Aula

A sala de aula é uma extensão do modelo fórum, e consiste em um ambiente com as mesmas características desse modelo básico, acrescidas de ferramentas externas complementares, como o whiteboard, o MakeYourPoint e os micro-mundos (Figura 33).



Figura 33: Exemplo de sub-ambiente do tipo sala de aula.

6.5.3 Laboratório

Ao contrário das salas de aula, o modelo de ambiente virtual do tipo laboratório preconiza a especialização do ensino. A estrutura tridimensional empregada é livre, podendo ir da representação de um laboratório avançado de química, com frascos e reagentes diversificados, a galpões repletos de ferramentas mecânicas, por exemplo. Os laboratórios suportam a existência de objetos interativos, para a realização de experimentos simulados ou operações de máquinas, em geral, de forma cooperativa (Figura 34).



Figura 34: Exemplo de sub-ambiente do tipo laboratório.

6.5.4 Exploratório

Os exploratórios são modelos de ambientes da ESCREV que não necessariamente consideram estruturas do ambiente real (Figuras 1 e 2). A liberdade de criação pode ser levada a extremos, permitindo-se a geração de ambientes específicos para as mais diversas áreas do conhecimento humano. O uso de objetos interativos e estruturas tridimensionais não convencionais permite, por exemplo, a recriação de locais históricos, tais como Roma e Grécia; a exploração de florestas tropicais; e a observação das funcionalidades das organelas de células humanas. Na prática, as possibilidades dos exploratórios ficam limitadas somente pela imaginação da equipe de implementação da ESCREV.

Os diversos simulóides descritos anteriormente podem ser tornados disponíveis em qualquer modelo acima descrito. Particularmente, porém, auxiliares de professores e simulóides de reprodução de ações podem assumir papéis de importância em salas de aula e laboratórios, principalmente quando não houver nenhum professor humano disponível. Da mesma forma, simulóides com corpos não antropomorfos podem ser empregados em exploratórios, a fim de tornar ainda mais estimulante a exploração dos mesmos.

É importante salientar que a especificação dos modelos de ambientes virtuais acima apresentada não é rígida, permitindo-se qualquer intersecção entre recursos e funcionalidades dos mesmos para a geração de muitos outros modelos, como aqueles necessários a bibliotecas, a secretarias e a outras estruturas do mundo real.

6.6 Uso Simultâneo e Especializações de ESCREV's

Caso o número de alunos e professores torne-se muito grande, outras escolas virtuais, com a mesma estrutura da ESCREV, podem ser postas em funcionamento simultâneo. Cada uma dessas escolas, então, pode passar a atender usuários de determinadas regiões do mundo real, aproveitando-se do possível melhor desempenho da rede de comunicação utilizada, devido principalmente ao menor número de alunos e professores atendidos. Da mesma forma, escolas virtuais especializadas no ensino de cursos específicos podem ser postas em funcionamento na rede, permitindo o agrupamento de indivíduos com interesses comuns em um mesmo espaço virtual (Apêndice B).

A estrutura básica da ESCREV também pode ser utilizada em LAN's de instituições de ensino públicas ou privadas, sem a necessidade de conexão direta com a Internet. Apesar disso restringir alguns dos recursos originais do NVE, como a integração de ações de usuários dispersos geograficamente, essa possibilidade de uso pode permitir aos alunos dessas instituições a complementação de seus estudos através de interações com objetos simulados do ambiente virtual.

Capítulo VII

A Arquitetura Ataxia¹¹

O objetivo deste capítulo é apresentar a arquitetura Ataxia, criada para suprir, a um baixo custo, as necessidades do modelo de NVE ESCREV. Inicialmente, é exibido o modelo de referência utilizado que inclui de forma genérica todos os serviços que estarão disponíveis. A arquitetura Ataxia é, então, definida, sendo suas características expostas e seus componentes formadores enumerados e discutidos. Em seguida, os possíveis modelos de utilização da arquitetura são apresentados, incluindo sistemas com um ou mais sub-ambientes em funcionamento simultâneo, e o protocolo utilizado pela arquitetura é descrito.

7.1 O Modelo de Referência ESCREV

O modelo de referência utilizado pela arquitetura Ataxia será baseado no conjunto de funcionalidades definidas na ESCREV. Esse modelo de referência, também chamado ESCREV, engloba todas as necessidades descritas no capítulo anterior, generalizando-as de forma a suportar um NVE qualquer voltado para a educação de indivíduos, localmente ou a distância. Ele é dividido em áreas de necessidades específicas e está apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Modelo de referência ESCREV.

Área	Necessidades
1.	Estabelecimento do ambiente virtual compartilhado
1.1.	Gerenciamento de sub-ambientes
1.1.1.	Aquisição da estrutura tridimensional do sub-ambiente
1.1.2.	Suporte ao funcionamento de um ou mais sub-ambientes
1.1.3.	Interligação de sub-ambientes por portais

¹¹ Doença que ataca o sistema nervoso, prejudicando a coordenação motora de um indivíduo, geralmente associada também ao uso intensivo de dispositivos de realidade virtual (Kolasinski, 1999).

-
- 1.2. Gerenciamento de objetos virtuais
 - 1.2.1. Controle de objetos interativos
 - 1.2.2. Controle de objetos não interativos
 - 1.3. Suporte a personagens virtuais
 - 1.3.1. Aquisição de corpo virtual articulado
 - 1.3.2. Animação de partes do corpo virtual
 - 1.3.3. Estabelecimento de ações pré-definidas para o corpo virtual
 - 1.3.4. Manutenção de estruturas de controle de avatares
 - 1.3.5. Manutenção de estruturas de controle de simulóides
 - 1.4. Tratamento de eventos
 - 1.4.1. Manutenção de estruturas de análise de eventos
 - 1.4.2. Manutenção de estruturas de disponibilização de respostas
 - 2. Disponibilização de funcionalidades aos participantes do ambiente virtual
 - 2.1. Funcionalidades intrínsecas à tecnologia de realidade virtual
 - 2.1.1. Identificação de personagem virtual
 - 2.1.2. Navegação em sub-ambiente virtual
 - 2.1.3. Manipulação de objetos
 - 2.2. Funcionalidades de comunicação
 - 2.2.1. Manutenção de serviço de chat (canais públicos e privados)
 - 2.2.2. Utilização de gestos pré-definidos de personagens virtuais
 - 2.2.3. Utilização de expressões faciais de personagens virtuais
 - 2.3. Apresentação de mídias (imagens, sons, vídeos, etc.)
 - 2.3.1. Aquisição de mídias em formatos diversos
 - 2.3.2. Transferência (upload e download) de mídias
 - 2.3.3. Apresentação de mídias
 - 2.4. Suporte a ferramentas auxiliares
 - 2.4.1. MakeYourPoint
 - 2.4.2. Whiteboard
 - 2.4.3. Micro-mundos
 - 2.4.4. Mensagens instantâneas
 - 2.4.5. Canais para teleconferência
 - 2.4.6. Outros aplicativos
-

-
- 3. Administração do NVE
 - 3.1. Gerenciamento de permissões
 - 3.1.1. Criação de restrição temporal
 - 3.1.2. Criação de grupos de acesso
 - 3.1.3. Controle de acesso a sub-ambientes
 - 3.1.4. Controle de acesso a objetos interativos
 - 3.2. Outros serviços
 - 3.2.1. Documentação de ocorrências
 - 3.2.2. Geração de resumos de utilização do sistema
 - 3.2.3. Monitoramento de falhas
-

7.2 Características da Arquitetura

A proposta básica da arquitetura Ataxia é a viabilização, a baixo custo, de NVE's a partir do emprego de microcomputadores comuns interligados através da Internet, geralmente utilizando-se de conexões de baixa velocidade. As características da arquitetura proposta são apresentadas a seguir.

7.2.1 Arquitetura Híbrida e Distribuída

Para que seja possível o processamento a baixo custo de todas as funcionalidades do NVE, faz-se necessário o uso de componentes especializados, responsáveis pela realização de determinadas tarefas específicas (gerenciamento de eventos do ambiente, controle de acessos de participantes, etc.). Tais componentes podem ser executados em microcomputadores comuns, de forma integrada. Esse tipo de solução, baseada na distribuição de processamento em sistemas computacionais de baixo custo, apresenta uma relação custo/benefício bem superior àquelas que empregam caros sistemas centralizados de grande porte (Tanenbaum, 1995).

Os diversos participantes (humanos ou máquinas) fazem uso de aplicações que se conectam a elementos específicos do sistema. Esses mesmos elementos podem, sempre

que necessário, requisitar serviços especializados de outros componentes, distribuindo, assim, o processamento total do NVE através da Internet, utilizando-se do paradigma cliente-servidor. Há também componentes que se conectam diretamente a outros componentes, por meio de conexões ponto-a-ponto, para a realização de configurações e consultas. Nota-se, então, que a interligação dos diversos componentes definidos nessa arquitetura dá-se tanto através de conexões do tipo cliente-servidor como também do tipo ponto-a-ponto; dessa forma, a arquitetura Ataxia pode ser considerada uma arquitetura híbrida. Para um melhor aproveitamento da largura de banda disponível, e também devido ao grande número de conexões possíveis, o modelo de protocolo de comunicação empregado na arquitetura Ataxia (Seção 7.5) utiliza-se de PDU's de tamanho bastante pequeno.

7.2.2 Padrão Aberto

A arquitetura Ataxia é uma arquitetura aberta, que permite a incorporação de novos serviços e aplicações previamente disponíveis. Para que isso seja possível, a arquitetura pode utilizar-se de três diferentes artifícios:

- simulóides podem realizar a interligação de aplicativos externos ao NVE (Vidal et al., 2000), tornando-os disponíveis a todos os participantes do ambiente virtual;
- alguns dos componentes da arquitetura podem ser re-configurados, a fim de permitirem a distribuição de informações nos dois sentidos, entre eles e os novos aplicativos; e,
- o protocolo empregado na arquitetura prevê a possibilidade de uso de aplicativos não pertencentes ao NVE, e pode ser utilizado para integrar as funcionalidades de serviços externos, através do uso de uma PDU genérica especial.

7.2.3 Suporte a Implementações Multiplataforma

Como a arquitetura Ataxia é um padrão aberto, e faz uso de aplicações especializadas, que podem ser interligadas através da Internet, essa arquitetura permite a implementação de seus componentes em diversas plataformas. Assim, soluções de software e hardware de diferentes fabricantes podem ser integradas, viabilizando a construção do NVE como um todo e permitindo o melhor aproveitamento dos recursos computacionais disponíveis. De uma forma ideal, as melhores características de diversos padrões podem ser unidas, garantindo-se a qualidade do sistema final gerado.

7.2.4 Arquitetura Escalar

Os NVE's gerados a partir da arquitetura Ataxia são escaláveis, podendo conter um grande número de sub-ambientes, que podem ser facilmente interligados através da técnica de portais (Çapin et al., 1999), prevista na arquitetura. Todos esses sub-ambientes são gerenciados diretamente por instâncias dos diferentes componentes da arquitetura, que podem ser replicados a fim de garantir um correto balanceamento de acessos e tráfego total.

7.2.5 Forte Dependência de Administração

O correto funcionamento dos NVE's gerados a partir da arquitetura Ataxia encontra-se diretamente ligado à administração dos vários componentes definidos pela mesma. Por isso, estruturas específicas de documentação estão presentes na grande maioria destes componentes, possibilitando a verificação de informações importantes (problemas de conexão, tipos de requisições de serviços, etc.) e a posterior tomada de decisão. Assim, a administração do NVE assume papel fundamental no que se refere ao provimento das funcionalidades presentes no ambiente. Além disso, a administração do NVE é responsável por várias tarefas relacionadas, entre as quais podem ser destacadas: o controle das mídias disponíveis, a atribuição de direitos de acesso aos diversos participantes e a instanciação e

a configuração de componentes. Também é função da administração do NVE o cadastro dos participantes do ambiente, incluindo seus respectivos dados pessoais, pseudônimo, senha, etc.

A fim de simplificar o gerenciamento dos NVE's processos automatizados de monitoramento e controle, que não são tratados nesse trabalho, podem ser estabelecidos e implementados nos sistemas que se utilizem da arquitetura Ataxia.

7.2.6 Restrição ao Uso de Streaming

Uma outra característica desta arquitetura é o baixo uso de *streams* de áudio ou de vídeo. Streams são canais de distribuição de mídias como áudio e vídeo através de redes de computadores que fazem uso de estruturas de controle especializadas (Webopaedia, 2000). Essas estruturas de controle são empregadas na sincronização de envio e recepção de dados, e exigem que tanto o emissor quanto o receptor da mídia contínua realizem uma certa quantidade de processamento para suportá-las. O streaming (técnica que torna disponível streams) é bastante eficiente quanto à distribuição de conteúdos em tempo real, porém as estruturas de controle utilizadas geralmente consomem bastante processamento e largura de banda (Moura Filho, 1998). É exatamente por isso que a arquitetura proposta não faz uso intensivo desse recurso, suportando-o somente como uma aplicação externa, que pode ser agregada devido ao caráter aberto da arquitetura. Em substituição ao streaming, são empregadas as técnicas de armazenamento de dados em *caches* de mídias locais de replicação sob demanda (von Scweber, 1998).

Caches locais são regiões de memória que armazenam dados necessários a algum tipo de processamento específico. Informações são recebidas através da rede de comunicação, de acordo com alguma estratégia de download pré-definida, e são, então, armazenadas nessa região de memória. Sempre que essas informações fizerem-se necessárias, as mesmas são acessadas diretamente da cache local, sem a necessidade de novo download. Quando esse tipo de acesso é repetitivo, o ganho em desempenho é bastante substancial, pois não há a necessidade de realização de vários downloads. O conteúdo da cache local pode ser armazenado temporariamente ou tornado persistente. Nesse último caso, os dados armazenados podem ser reutilizados posteriormente,

novamente implicando em uma menor utilização da rede e, conseqüentemente, em um menor desperdício de tempo de processamento.

A replicação sob demanda é uma técnica oriunda de sistemas de armazenamento de bancos de dados, que permite a cópia de informações específicas, através da rede, à medida que as mesmas se fazem necessárias (von Schweber, 1998). No caso de downloads, essa técnica permite que somente os dados realmente úteis em um determinado momento trafeguem pela rede.

A arquitetura Ataxia distribui elementos de realidade virtual e de multimídia (modelos tridimensionais, sons, imagens estáticas, vídeos, etc.) através da Internet, na forma de seus arquivos correspondentes, adotando como estratégia de download a replicação sob demanda. Os dados replicados são, então, armazenados em uma cache de mídias local persistente. Assim, sempre que um participante precisar utilizar algum tipo de mídia, o sistema, através de uma aplicação específica, executada localmente, inicialmente confere se a mesma não se encontra na cache de mídias local. Se o respectivo arquivo já estiver presente nessa cache, o mesmo é automaticamente apresentado. Caso contrário, a aplicação-cliente apresenta um curinga e realiza, então, o download do arquivo necessário.

Os curingas são arquivos definidos de acordo com cada tipo de mídia disponível no ambiente, e podem representar momentaneamente um determinado arquivo, enquanto o mesmo não se encontra disponível na cache de mídias local. O conteúdo do curinga deve ser bastante simples, funcionando como uma representação mínima aceitável do arquivo necessário. Assim, por exemplo, para mídias do tipo som, o curinga pode ser um simples bip. É importante notar que, enquanto não for finalizado o download do arquivo de mídia necessário, o sistema somente poderá apresentar o curinga correspondente. Logo, na primeira vez que uma determinada mídia é necessária, ela pode não ser realmente apresentada ao participante. Geralmente, no entanto, esse problema é sanado já após o segundo acesso àquela mídia, uma vez que o respectivo download já deve estar concluído. Esse tipo de abordagem é necessário devido ao emprego da técnica de replicação sob demanda. A questão da ausência das mídias nas caches locais das aplicações-cliente pode ser minimizada através da distribuição prévia, através da rede ou armazenadas em meio magnético ou óptico, dos respectivos arquivos.

7.2.7 Minimização de Consultas Referentes a Restrições de Acesso

Os ambientes virtuais gerados a partir da arquitetura Ataxia somente permitem o acesso de usuários (humanos ou máquinas) previamente cadastrados. Além disso, esses usuários podem ter seus direitos de acesso restringidos pela administração do NVE. As constantes consultas, necessárias à aplicação desse tipo de restrição, podem consumir bastantes recursos da rede. Um fator importante a ser considerado na otimização desse tipo de acesso à rede está ligado diretamente ao próprio estabelecimento de objetos e portais do NVE nas várias cópias das aplicações utilizadas pelos participantes. A manipulação desses objetos ou a entrada nesses portais podem ser restringidas de acordo com a política de acessos adotada pela administração do sistema. A fim de evitar a verificação dos direitos de acesso de usuários todas as vezes que os mesmos tentarem fazer uso de algum desses recursos, a arquitetura Ataxia adota o uso de caches de políticas de acesso.

Assim como na distribuição de outras mídias, os elementos de realidade virtual também fazem uso da cache local e da replicação sob demanda. Porém, ao conectar-se ao sistema, a aplicação do participante automaticamente armazena na cache de direitos de acesso, também, as possíveis restrições de manipulação. Ao contrário da cache de mídias local, a cache de direitos de acesso não é persistente, e as possíveis restrições são recebidas sempre que o usuário se conecta ao NVE. No entanto, isso faz com que caso algum participante adquira novos direitos de acesso sobre determinados elementos, estes somente serão validados em sua próxima conexão ao NVE. Esse não é, necessariamente um problema, e a diminuição dos acessos à rede para a realização de consultas sobre restrições de acesso é bastante significativo.

O uso da cache de direitos de acesso evita que sempre que o usuário tente manipular um determinado objeto, sua respectiva aplicação proceda a checagem de seus direitos de acesso junto à rede. Para tanto, basta somente consultar sua cache de direitos de acesso. Essa mesma técnica de armazenamento local de permissões é adotada para o recebimento das especificações dos portais presentes no ambiente virtual e, também, para as possíveis permissões de inclusão de mídias no NVE.

7.2.8 Emprego de *Dead Reckoning*

A técnica de *dead reckoning* é um artifício adotado em NVE's que tem como função básica a redução do número de PDU's enviadas à rede para a movimentação dos diversos personagens virtuais e objetos presentes no ambiente virtual. Apesar de arquiteturas de NVE's geralmente não explicitarem a necessidade de definição de uma técnica de *dead reckoning*, ficando tal tarefa deixada aos responsáveis pela implementação do ambiente virtual, a arquitetura Ataxia recomenda a adoção de um modelo específico.

Assim como nas técnicas de *dead reckoning* comuns (Gutmann et al., 1998), o modelo empregado na arquitetura Ataxia também apresenta as fases de predição e convergência; porém, a realização dessa última é obrigatória, ao contrário do que geralmente ocorre em outras especificações de *dead reckoning*. Sempre que algum personagem virtual deseja movimentar-se, uma PDU contendo suas velocidades linear e angular iniciais e sua orientação é enviada, a partir da aplicação utilizada para seu controle. O disparo desse evento pode se dar, por exemplo, através do pressionamento de uma tecla específica do teclado ou movimentação de um joystick. A PDU referente à movimentação do personagem virtual é retransmitida a todas as aplicações dos demais participantes do ambiente. Nesse momento, tem início a fase de predição. Cada uma das aplicações utilizadas pelos participantes começa a realizar cálculos acerca das possíveis posições visitadas pelo personagem virtual que está se movimentando. Durante essa movimentação, não há envio posterior de qualquer PDU informando a posição real do personagem virtual. Dessa forma, não há a conferência da distância existente entre a posição real e a calculada. Somente quando o personagem virtual pára, ou troca de orientação, é enviada uma nova PDU aos demais participantes, informando tal ocorrência, e incluindo a posição real do personagem. Nesse momento tem início a fase de convergência. Agora, de posse da posição real do personagem, as aplicações dos diversos participantes podem suavemente deslocar o respectivo corpo virtual para o devido local. Atrasos na transmissão dessa última PDU podem influenciar a distância entre a posição calculada e a real. Mas, para ambientes não muito extensos, o processo de deslocamento final do personagem virtual acaba sendo bastante aceitável. Essa técnica modificada de *dead reckoning* permite que somente duas PDU's sejam enviadas à rede para cada movimentação do personagem virtual, diminuindo substancialmente o tráfego na rede. O

mesmo artifício pode ser empregado para a movimentação de outros objetos virtuais, além de personagens.

7.3 Componentes da Arquitetura

A arquitetura Ataxia define um conjunto de componentes (Figura 35), que desempenham funções especializadas e trabalham de forma integrada para tornar disponível o ambiente virtual, através da troca de PDU's específicas. Apesar do caráter híbrido dessa arquitetura, para fins de classificação, esses componentes foram divididos em dois grupos principais (clientes e servidores) e encontram-se descritos a seguir.

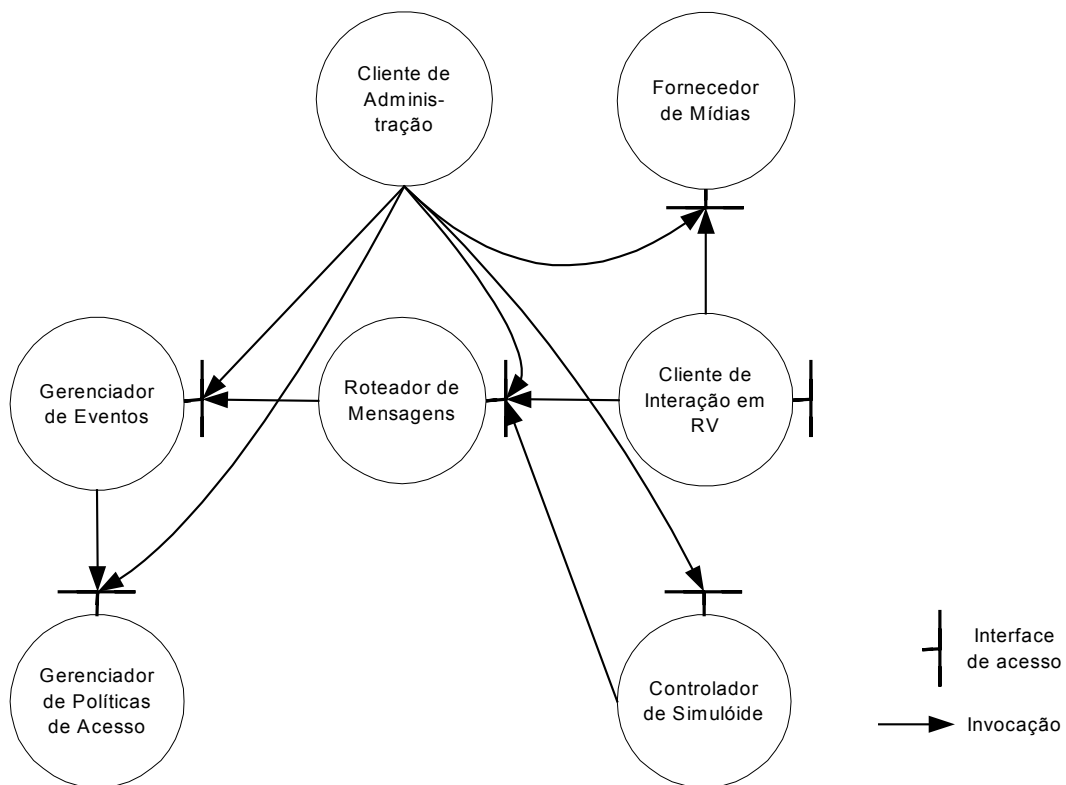


Figura 35: Componentes definidos na arquitetura Ataxia.

7.3.1 Servidores

A arquitetura Ataxia define os seguintes servidores:

Roteador de Mensagens

O roteador de mensagens é o componente responsável por disponibilizar conexões de um determinado NVE aos seus diversos participantes (humanos ou máquinas). Esse componente é empregado no repasse de informações a outros elementos da arquitetura Ataxia. O critério de roteamento é baseado em uma lista persistente de serviços disponíveis, presente no roteador de mensagens, e na análise das PDU's que trafegam na rede, que podem indicar explicitamente ou não tanto sua origem quanto seu destino. Ao receber uma determinada PDU, o roteador de mensagens identifica seu respectivo tipo. Após essa identificação, o roteador de mensagens consulta sua lista de serviços para identificar os componentes da arquitetura que devem recebê-la. O reenvio direto da PDU é, então, realizado de forma automática ao destino, que pode, inclusive, ser múltiplo.

Assim, devido ao seu caráter de integração de componentes, uma das funções básicas do roteador de mensagens é mediar as comunicações entre dois ou mais participantes do ambiente. O roteamento de PDU's referentes a mensagens de texto ou a requisições de apresentação de mídias específicas (sons, imagens, etc) é processado da maneira descrita anteriormente, sendo as mesmas re-encaminhadas a um ou mais participantes do ambiente, respectivamente através de um canal privado ou de um canal público. O roteador de mensagens também informa às aplicações dos participantes qual fornecedor de mídias – componente discutido posteriormente – deve ser utilizado para a obtenção de arquivos específicos.

Além disso, o roteador de mensagens, tal como o gerenciador de eventos – componente discutido a seguir –, é um dos componentes responsáveis por sincronizar as diversas cópias do ambiente virtual, presentes nas várias aplicações conectadas a ele. Isso é feito através do repasse, tanto aos participantes quanto ao gerenciador de eventos, das PDU's geradas pelas interações realizadas no interior do ambiente virtual. As possíveis PDU's de resposta, oriundas do gerenciador de ambientes, também fazem uso dos serviços do roteador de mensagens para atingir as aplicações utilizadas por todos os participantes do NVE.

Uma outra função do roteador de mensagens pode ser, também, a integração direta de ferramentas externas ao NVE. Isso pode ser realizado através da re-configuração de sua lista persistente de serviços e da adoção de PDU's especiais do protocolo utilizado em sistemas que adotam a arquitetura Ataxia. Assim, quando um novo serviço deve ser

agregado ao NVE, a equipe de administração pode modificar a estrutura da lista de serviços disponíveis, adicionando o novo serviço e, conseqüentemente, permitindo que as PDU's específicas possam ser reenviadas diretamente para o mesmo.

O comportamento do roteador de mensagens pode ser posteriormente analisado através da documentação de todos os acontecimentos referentes ao repasse de PDU's. Para tanto, encontra-se disponível, no próprio roteador de mensagens, também uma estrutura especializada responsável por este tipo de documentação.

A Figura 36 apresenta um diagrama de implementação que resume as funcionalidades do componente roteador de mensagens.

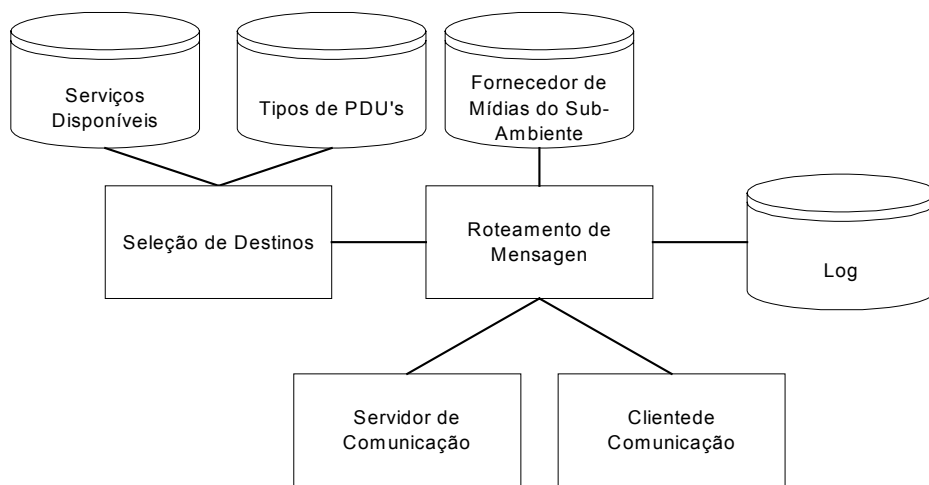


Figura 36: Diagrama de implementação do roteador de mensagens.

Gerenciador de Eventos

O gerenciador de eventos é o componente responsável por iniciar o funcionamento do ambiente virtual e por tratar todos os eventos oriundos das interações de seus participantes, gerando PDU's de resposta sempre que necessário. Para que isso seja possível, o gerenciador de eventos armazena os estados e posições de cada um dos objetos disponíveis no ambiente virtual, definições de portais para interconexão de ambientes e também informações referentes a avatares e simulóides (dados reais sobre o participante, posição atual no ambiente, etc). Sempre que uma determinada ação é realizada sobre um objeto, o gerenciador de eventos recebe, através do roteador de mensagens, as PDU's referentes a essa ação. Essas PDU's são, então, avaliadas, através de estruturas especializadas, pelo gerenciador de eventos e, caso seja necessário, este modifica o estado

do respectivo objeto, gerando novas PDU's de resposta para todos os participantes do ambiente, contendo instruções específicas.

Assim, por exemplo, quando um determinado participante empurra uma porta fechada no ambiente virtual, essa ação é repassada na forma de PDU's para o gerenciador de eventos. Esse, por sua vez, analisa as implicações daquela ação e modifica o estado do objeto "porta" de "fechada" para "aberta". A fim de retransmitir essa modificação a todas as cópias presentes nas aplicações utilizadas pelos participantes do ambiente virtual, o gerenciador de eventos cria e envia, através do roteador de mensagens, PDU's que determinam a animação de abertura da "porta", a apresentação do som da porta rangendo e, finalmente, a mudança do estado final da porta a todos os participantes.

Todos esses eventos de resposta são controlados por estruturas de avaliação de ocorrências e armazenados na forma de *scripts* simples e específicos. Esses scripts também são utilizados para a configuração inicial do próprio ambiente virtual, incluindo todos os seus elementos (objetos, definições de portais, etc.), quando o gerenciador de eventos é iniciado.

O gerenciador de eventos também controla a realização de modificações periódicas no estado de objetos, como um relógio de parede, por exemplo. Para tanto, são utilizadas instruções específicas na forma de scripts simples, semelhantes àqueles empregados na configuração inicial do ambiente. Um mantenedor de tempo global (Universal Time, 2000), também presente no gerenciador de eventos, gera as ocorrências de mudança de estado dos respectivos objetos de comportamento periódico, disparando a execução dos scripts correspondentes.

O gerenciador de eventos também é utilizado para a interconexão de sub-ambientes, através de portais em um NVE. Quando um determinado participante entra na área definida por um portal, o gerenciador de eventos analisa essa ocorrência e envia uma PDU específica para a aplicação do participante. Essa PDU contém informações referentes ao novo ambiente virtual na qual a aplicação do participante deve se conectar.

Um outro exemplo de uso do gerenciador de eventos pode ser o conjunto de possíveis reações de um experimento em um laboratório de química. Vários participantes podem realizar uma experiência, utilizando elementos químicos diferentes e vidrarias presentes no laboratório. A cada ação dos participantes, o gerenciador de eventos analisa se existe algum tipo de reação e, caso isso ocorra, responde atualizando os estados dos objetos

envolvidos. A partir desse exemplo específico, nota-se que as estruturas de tratamento de ocorrências, empregadas no gerenciador de eventos, podem assumir uma grande complexidade. Isso pode gerar possíveis atrasos em consultas relativas aos diversos elementos do ambiente virtual compartilhado.

A fim de otimizar a consulta às informações sobre objetos e participantes, o gerenciador de eventos, faz uso da BIGAV. O conceito de BIGAV tem sua origem na idéia de MIB (*Management Information Base*), presente em sistemas voltados ao gerenciamento de redes de computadores (Stallings, 1998). A MIB é uma estrutura de banco de dados utilizada para armazenar o estado atual, capturado através da rede, dos diversos recursos gerenciados (computadores, roteadores, hub's, serviços específicos, etc.). O uso da MIB evita a emissão, por parte de aplicações de gerenciamento, de consultas diretamente aos recursos gerenciados da rede, uma vez que as informações já se encontram armazenadas na própria MIB, que pertence à aplicação-gerente.

A BIGAV, que assim como a MIB é uma estrutura de banco de dados, concentra todos as informações, incluindo os estados dos vários objetos existentes no ambiente virtual (objetos tridimensionais, personagens virtuais, etc). Seu uso evita que os estados desses objetos sejam pesquisados diretamente nas, provavelmente muitas, estruturas de avaliação de eventos, o que necessariamente implicaria em atraso.

O uso da BIGAV também simplifica o processo que torna disponíveis as informações sobre determinados elementos do NVE a seus participantes. Assim, sempre que um usuário deseja saber algo sobre um determinado objeto, a PDU correspondente é encaminhada ao gerenciador de eventos, a respectiva consulta é realizada junto à BIGAV e o resultado é enviado como resposta ao usuário.

Uma outra função da BIGAV é a geração de informações sobre o NVE para novos usuários. Quando um novo participante do ambiente conecta-se ao sistema, o gerenciador de eventos consulta o gerenciador de políticas de acesso – componente discutido a seguir – e estabelece sobre quais elementos aquele participante pode realizar ações. O gerenciador de eventos, a partir de consultas realizadas à BIGAV, então gera PDU's que especificam os estados atuais dos diversos objetos e as possibilidades de manipulação dos mesmos por parte do participante que está adentrando o ambiente virtual. Assim, a aplicação do participante é informada sobre as permissões de acesso a objetos e é garantida a consistência das informações de sua respectiva cópia do NVE. Como já foi citado

anteriormente, essas informações são armazenadas na cache de direitos de acesso da aplicação utilizada pelo participante.

Também, por poder armazenar todos os dados referentes aos diversos elementos presentes no ambiente virtual, a BIGAV pode ser utilizada para a reconstituição automática do NVE em casos de quedas do sistema.

Vale salientar que somente elementos cadastrados na BIGAV podem ser utilizados no ambiente virtual. Assim, até mesmo usuários do NVE, incluindo os próprios membros da equipe de administração, devem ter seus dados incluídos na BIGAV, para que os mesmos possam utilizar-se dos recursos disponíveis no ambiente virtual compartilhado. Como é o gerenciador de eventos o responsável por validar a conexão de usuários no ambiente virtual, a checagem do pseudônimo e senha (criptografada) dos participantes também é realizada nesse componente da arquitetura Ataxia.

Assim como no roteador de mensagens, o gerenciador de eventos também apresenta um sistema de documentação que pode armazenar informações sobre o comportamento das respostas às interações dos diversos participantes do NVE e sobre suas possíveis conseqüências. Essas informações podem ser posteriormente utilizadas pela equipe de administração para a análise de ocorrências específicas.

A Figura 37 apresenta um diagrama de implementação que resume as funcionalidades do componente gerenciador de eventos.

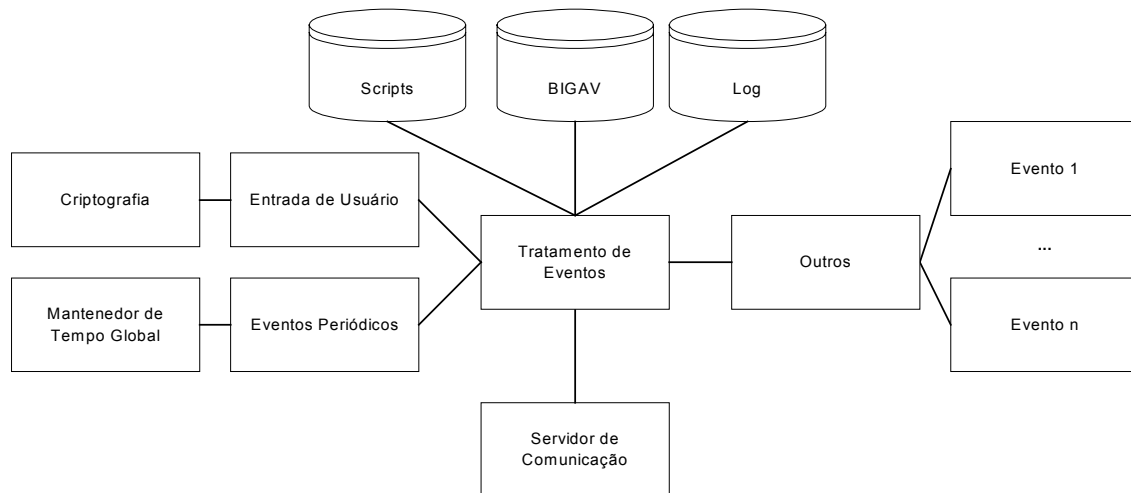


Figura 37: Diagrama de implementação do componente gerenciador de eventos.

Gerenciador de Políticas de Acesso

O gerenciador de políticas de acesso é o componente da arquitetura Ataxia especializado no armazenamento das restrições de ações de participantes do ambiente virtual. A equipe de administração do NVE divide os diversos participantes do NVE, cujas informações são diretamente importadas da BIGAV presente no gerenciador de eventos, em grupos de usuários. Um mesmo participante pode pertencer a mais de um grupo de usuários simultaneamente. Cada grupo, de acordo com suas necessidades, recebe direitos de acesso a determinados elementos do mundo virtual, incluindo a manipulação de objetos e mesmo a passagem por portais. O estabelecimento de restrições de acesso, por exemplo, pode ser realizado de acordo com os dados de algum banco de dados externo que armazena os horários escolares dos diversos alunos e professores que participam do NVE. Assim, além de restrições de acesso comuns, podem ser incluídas restrições baseadas em horários específicos. Por exemplo, se um determinado aluno deve ter aula de química das 14:00 às 16:00 horas, nesse horário, ele não pode entrar em nenhum outro recinto virtual que não aquele onde ocorrerá sua respectiva atividade.

Como já foi explicitado anteriormente, o processo de distribuição dos dados de restrições está baseado no uso de caches de direitos de acesso. Sempre que um novo usuário conecta-se ao ambiente, o gerenciador de eventos requisita ao gerenciador de políticas de acesso a lista de todas as possíveis restrições referentes àquele usuário. O gerenciador de eventos, então, envia essas informações, através do roteador de mensagens, à cache de direitos de acesso presente na aplicação utilizada pelo usuário. Assim, evita-se que novas consultas sejam realizadas ao gerenciador de direitos de acesso para aquele mesmo usuário.

O gerenciador de políticas de acesso também apresenta uma estrutura especializada na documentação de ocorrências, capaz de armazenar dados referentes aos processos de criação de usuários e grupos, modificação dos direitos de acesso, etc. Tais informações podem ser posteriormente utilizadas para a realização de auditorias no sistema.

A Figura 38 apresenta um diagrama de implementação que resume as funcionalidades do componente gerenciador de políticas de acesso.

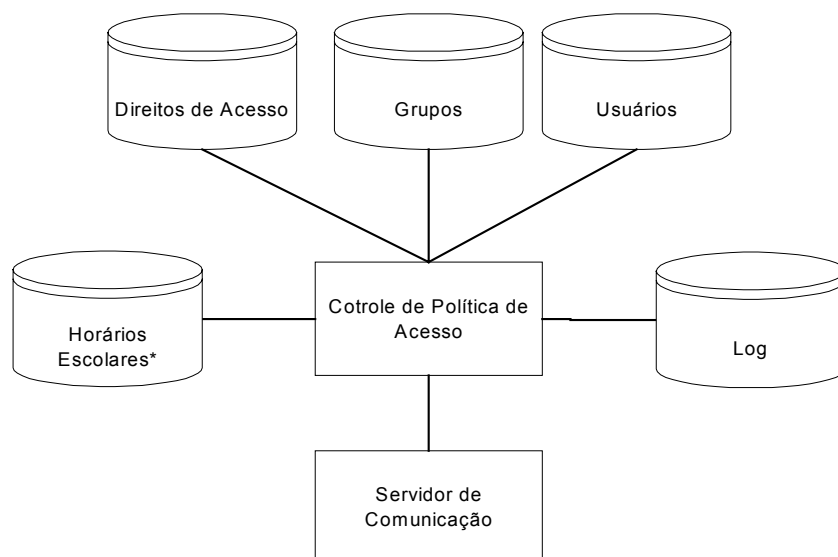


Figura 38: Diagrama de implementação do componente gerenciador de políticas de acesso.

Fornecedor de Mídias

O fornecedor de mídias torna disponível aos participantes do NVE o conjunto de arquivos utilizados em interações no interior do ambiente. O funcionamento do fornecedor de mídias é bastante simples, trabalhando basicamente como um sistema de armazenamento de arquivos de mídias específicas (imagens, sons, vídeos, etc.) que podem ser enviadas diretamente, através de download, às aplicações empregadas pelos participantes do NVE. Entre essas mídias, também estão presentes todos os elementos tridimensionais do ambiente virtual, incluindo sua própria estrutura arquitetônica.

Todos os arquivos de mídias são organizados em categorias específicas e indexados, a fim de se agilizar o processo de busca dos mesmos. A definição da estratégia de indexação e a seleção dos padrões de mídias suportados no NVE ficam a cargo das equipes de implementação e administração. A inclusão de novos arquivos é realizada tanto pela equipe de administração do NVE quanto pelos próprios participantes do ambiente. O upload e o download dos arquivos armazenados no fornecedor de mídias é realizado através de um protocolo de comunicação específico para essa transferência. No caso da Internet, o protocolo adotado pode ser o FTP (*File Transfer Protocol*) ou o HTTP (*HyperText Transfer Protocol*), por exemplo. Para se analisar fatos específicos, está disponível também no fornecedor de mídias uma estrutura para a documentação de ocorrências. Tais informações podem ser consultadas diretamente pela equipe de administração do NVE.

A Figura 39 apresenta um diagrama de implementação que resume as funcionalidades do componente fornecedor de mídias.

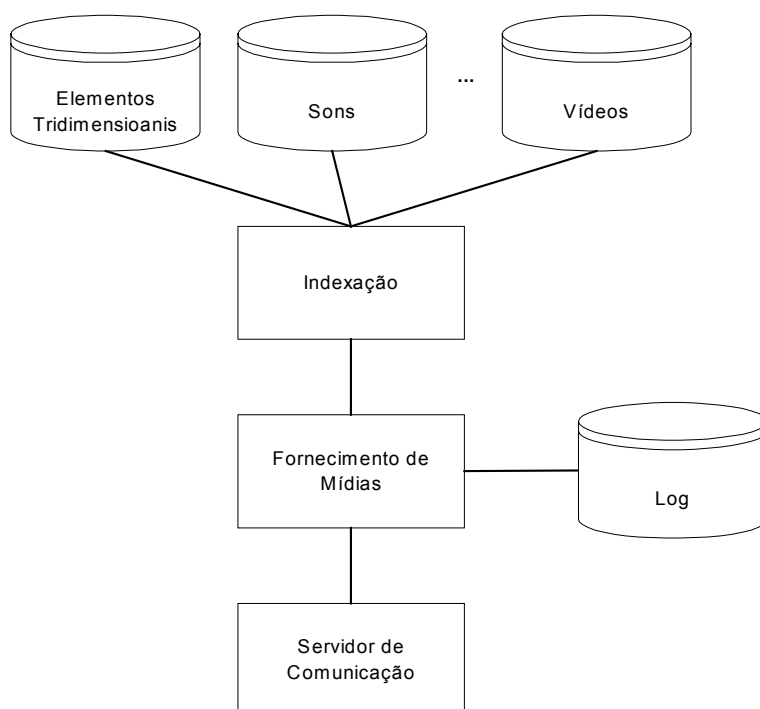


Figura 39: Diagrama de implementação do componente fornecedor de mídias.

7.3.2 Clientes

A arquitetura Ataxia define os seguintes clientes:

Cliente de Interação em Realidade Virtual

Todos os recursos do ambiente virtual são tornados disponíveis aos usuários humanos através do cliente de interação em realidade virtual, que se conecta diretamente ao roteador de mensagens. Essa aplicação-cliente faz uso de uma GUI que, considerando as características do avatar selecionado pelo participante (estatura, etc.), realiza todo o processo de geração e apresentação do mundo virtual. Integrados a essa GUI estão todos os recursos de comunicação, incluindo diferentes ferramentas, necessários à apresentação das diversas mídias que podem ser providas pelo NVE (sons, imagens estáticas, vídeos, etc). Sempre que for utilizado algum tipo de mídia específica (vídeo, por exemplo), que não puder ser diretamente apresentada no interior do ambiente virtual, uma janela exibindo a

respectiva ferramenta responsável por essa tarefa é aberta na própria GUI, para a apresentação dessa mídia ao participante.

O cliente de interação em realidade virtual mantém uma cache de mídias local, para o armazenamento persistente de todas as mídias utilizadas, inclusive a própria arquitetura tridimensional do ambiente virtual. Essas mídias são replicadas sob demanda através da rede, por uma conexão direta ao fornecedor de mídias. Outras aplicações não necessariamente voltadas ao NVE, como as ferramentas para a apresentação de mídias específicas, planilhas eletrônicas, ferramentas educativas e muitas outras, podem ser integradas diretamente ao cliente de interação em realidade virtual. Essa integração pode ser realizada a partir da inclusão de rotinas específicas para a troca de informações entre as aplicações externas e a própria aplicação-cliente. Caso essas aplicações integradas necessitem utilizar informações da rede, PDU's especiais do protocolo empregado na arquitetura Ataxia podem ser empregadas para prover tais dados.

O cliente de interação em realidade virtual, embora originalmente projetado para suportar hardware para interações simples, baseadas em desktop virtual reality, pode ser facilmente estendido para fazer uso também de equipamentos específicos para realidade virtual imersiva. Assim, tanto a combinação mouse-teclado-monitor, quanto HMD-data glove podem ser utilizadas. Isso é possível porque todo o processamento necessário a esse tipo de suporte a hardware se dá na própria aplicação-cliente. Não há qualquer acesso específico à rede para esse fim, uma vez que todas as informações necessárias para a interação (estruturas tridimensionais, sons, etc.) já se encontram armazenadas localmente.

Conforme já foi descrito anteriormente, qualquer restrição ao acesso do usuário a algum recurso do sistema é controlada a partir da cache de direitos de acesso, presente no próprio cliente de interação em realidade virtual. Dessa forma, evitam-se consultas desnecessárias a outros componentes do NVE e, conseqüentemente, os acessos à rede como um todo são minimizados. Essa preocupação com acessos desnecessários à rede também se mostra através da adoção da técnica de dead reckoning apresentada anteriormente, na Seção 7.2.8.

O cliente de interação em realidade virtual também apresenta um relógio interno específico, a fim de calcular a hora do ambiente virtual que está sendo explorado. Esse relógio é sincronizado com o mantenedor de tempo do gerenciador de eventos, no

momento em que o cliente de interação em realidade virtual conecta-se a um ambiente virtual.

A Figura 40 apresenta um diagrama de implementação que resume as funcionalidades do componente cliente de interação em realidade virtual.

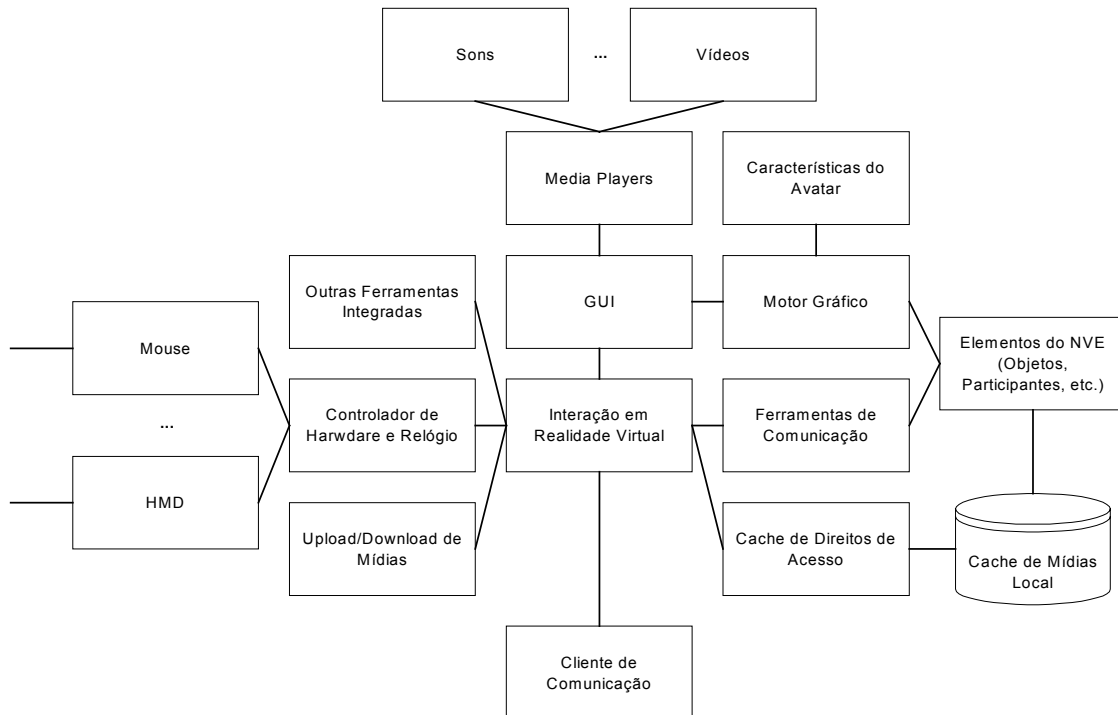


Figura 40: Diagrama de implementação do componente cliente de interação em realidade virtual.

Controlador de Simulóide

Personagens virtuais controlados pelo computador podem estar disponíveis no interior do ambiente virtual. Esses personagens podem desempenhar uma série de tarefas, entre as quais está a inclusão de recursos originalmente externos ao NVE. Para que seja possível a existência desses personagens virtuais no ambiente virtual compartilhado, é necessário, para cada um deles, o emprego de um componente controlador de simulóide. O controlador de simulóide conecta-se diretamente ao roteador de mensagens e, através dele, pode enviar e receber informações para todos os demais participantes do NVE. Uma explicação detalhada sobre esse componente, incluindo um exemplo prático, encontra-se disponível em (Vidal et al., 2000).

Cliente de Administração

Como já foi mencionado anteriormente, o funcionamento de todo o NVE depende das tarefas desempenhadas pela equipe de administração. Entre as quais destacam-se:

- estabelecimento e configuração das funcionalidades dos componentes controladores de simulóides;
- a configuração da lista de serviços disponíveis no gerenciador de roteamento, englobando a inclusão de serviços dos diversos componentes da arquitetura Ataxia e a inclusão de possíveis aplicações externas;
- o cadastramento de usuários do NVE junto ao gerenciador de eventos, incluindo a adição de informações pessoais, pseudônimo, senha, etc.;
- a inclusão de elementos de mídia disponíveis no fornecedor de mídias;
- a manutenção da política de direitos de acesso através da criação de grupos específicos, e da inclusão de participantes no gerenciador de políticas de acesso; e,
- as consultas às informações armazenadas nos diversos componentes da arquitetura Ataxia (servidores e controlador de simulóide) para a análise de ocorrências específicas e para a auditoria do sistema.

O cliente de administração agrega recursos básicos para a realização dessas tarefas, e pode ligar-se diretamente, através de conexões ponto-a-ponto, a qualquer um dos servidores definidos na arquitetura Ataxia e dos controladores de simulóides utilizados. Ele não exige bastante poder computacional já que todas as informações necessárias à administração do NVE encontram-se distribuídas entre os diversos componentes do ambiente virtual, através da rede. Assim, somente tarefas simples, referentes a consultas e envio de PDU's específicas para a configuração de componentes, precisam ser realizadas. Isso possibilita a implementação do GUI do cliente de administração na forma de um *applet* Java, disponível em uma dada home-page, permitindo que a administração do NVE seja feita a partir de praticamente qualquer local (Figura 41).

Apesar de não serem originalmente exigidas, operações automáticas de monitoração de ocorrências (tais como o mau funcionamento de um determinado componente, a violação do número máximo de usuários possíveis em um determinado recinto virtual e a tentativa de entrada no sistema de usuários não cadastrados, entre outras) podem estar presentes no cliente de administração a fim de facilitar a administração do

NVE (Araújo, 2000). Essas tarefas automatizadas, no entanto, podem exigir um maior poder de processamento do cliente de administração, fazendo com que o mesmo seja desmembrado em sub-aplicações específicas, através do paradigma gerente-agente¹².

A Figura 41 apresenta um diagrama de implementação que resume as funcionalidades do componente cliente de administração.

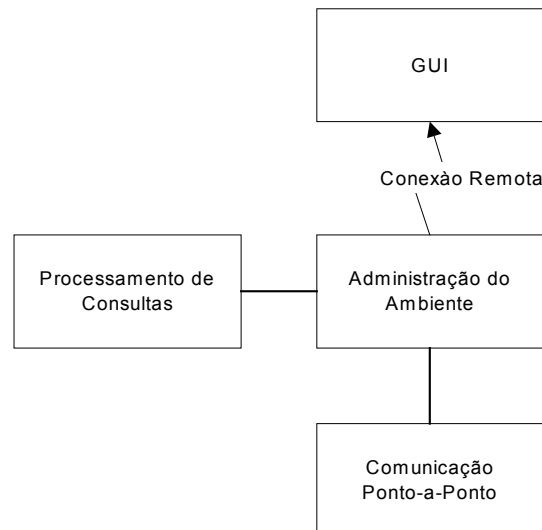


Figura 41: Diagrama de implementação do componente cliente de administração.

7.4 Utilização da Arquitetura Ataxia

O conjunto de componentes especificado na arquitetura Ataxia pode ser utilizado para tornar disponível, simultaneamente, um ou mais sub-ambientes virtuais. Esses componentes podem ser executados em um número ilimitado de computadores, e os sub-ambientes, interligados para formar um único grande NVE. No entanto, para que todo o ambiente virtual compartilhado esteja disponível aos seus vários usuários, o seguinte conjunto de recomendações básicas deve ser considerado:

¹² Estrutura de organização de componentes especializados de softwares (agentes – coletam informações diretamente de dispositivos e gerentes – recebem informações dos agentes) geralmente empregados no gerenciamento de redes.

- somente a equipe de administração do NVE pode adicionar ou remover os componentes da arquitetura Ataxia e as possíveis ferramentas externas ao ambiente virtual, à medida que os mesmos forem sendo necessários;
- os diversos componentes da arquitetura devem ser configurados diretamente pela equipe de administração do NVE, ou através do cliente de administração;
- todos os componentes da arquitetura Ataxia devem receber identificações únicas, a fim de auxiliar o trabalho de administração de todo o sistema;
- todos os possíveis elementos presentes do NVE (estruturas tridimensionais, mídias disponíveis, participantes, etc.) devem receber identificações únicas, a serem armazenadas nas BIGAV's de todos os gerenciadores de eventos utilizados. A estratégia de identificação desses elementos fica a cargo da equipe de administração do NVE;
- um mesmo cliente de administração pode conectar-se a mais de um componente simultaneamente;
- cada sub-ambiente deve possuir seu próprio, e único, roteador de mensagens, que possibilitará as conexões de seus vários participantes;
- um mesmo fornecedor de mídias pode atender a mais de um sub-ambiente;
- um mesmo gerenciador de políticas de acesso pode ser utilizado para atender a mais de um gerenciador de eventos; e um mesmo gerenciador de eventos pode ser utilizado para mais de um sub-ambiente; assim, conseqüentemente, um mesmo gerenciador de políticas de acesso também pode ser utilizado para mais de um sub-ambiente;
- um cliente de interação em realidade virtual deve se conectar a somente um fornecedor de mídias por vez;
- todo participante de um sub-ambiente, incluindo simulóides, deve ser cadastrado no respectivo gerenciador de eventos utilizado por aquele respectivo sub-ambiente; e,
- um mesmo controlador de simulóide ou cliente de interação em realidade virtual não pode estar conectado simultaneamente a mais de um sub-ambiente.

Essa última recomendação não decorre de qualquer problema de integração da arquitetura, mas sim da impossibilidade de um indivíduo do mundo real estar presente em dois locais distintos simultaneamente. Caso essa regra não seja respeitada, a sensação de presença compartilhada do NVE gerado poderá simplesmente não existir. Caso todo esse conjunto de recomendações seja observado, é possível, inclusive, que diversos tipos de componentes da arquitetura possam ser executados em um mesmo computador simultaneamente. A equipe de administração deve analisar todas as ocorrências existentes no NVE e, caso seja necessário, incluir ou retirar componentes específicos para tornar disponíveis os vários sub-ambientes.

Assim, antes de tornar um determinado NVE disponível, é responsabilidade da equipe de administração decidir sobre a melhor organização dos diversos componentes do ambiente virtual compartilhado.

Exemplos de utilização de componentes da arquitetura para tornar NVE's disponíveis são apresentados nas Figuras 42 e 43. Na Figura 42, é mostrado um NVE formado por um único sub-ambiente e na Figura 43, é mostrado um NVE formado por vários sub-ambientes.

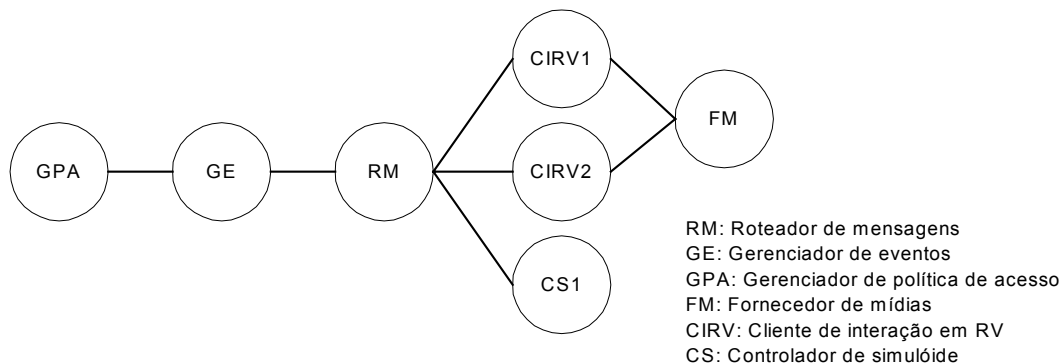


Figura 42: Exemplo de emprego da arquitetura Ataxia em um único sub-ambiente.

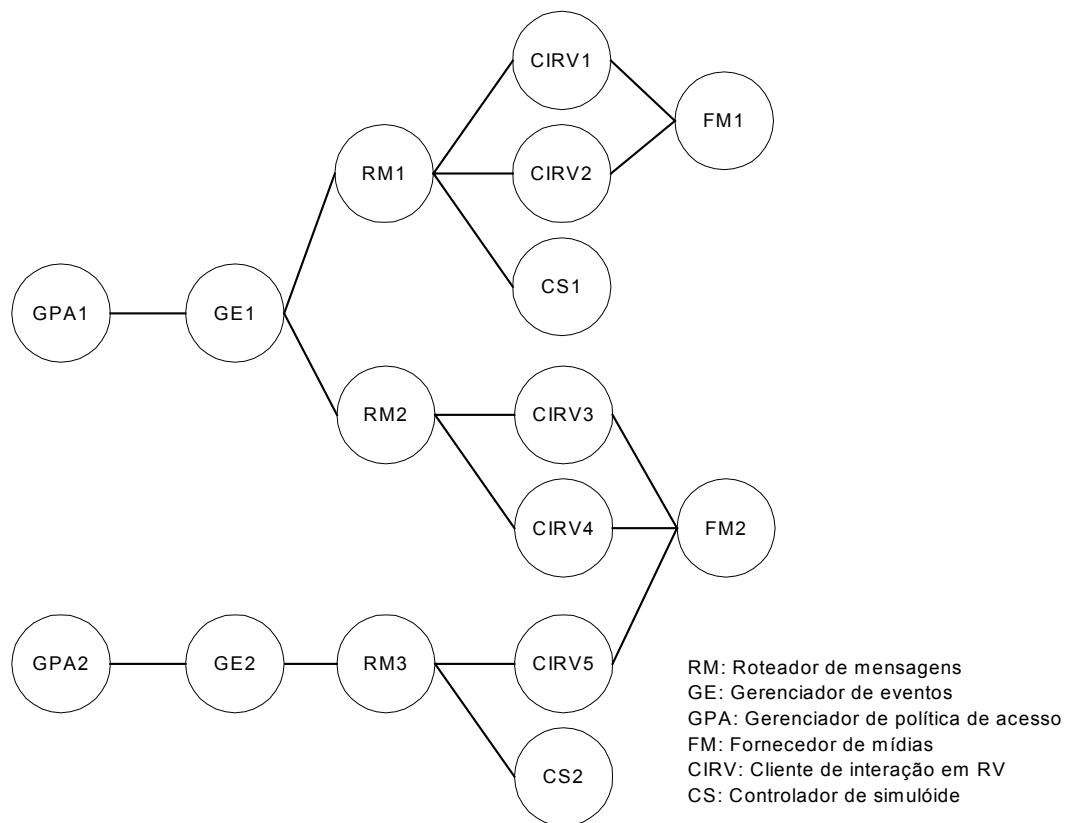


Figura 43: Exemplo de emprego da arquitetura Ataxia em vários sub-ambientes simultaneamente.

7.5 O Protocolo PASSÁRGADa¹³

O protocolo PASSÁRGADa (Protocolo de Acesso e Suporte a Ambientes Remotos para Grupos de Ação Distribuída) é um modelo de protocolo do tipo game-like protocol, desenvolvido inicialmente para suportar o conjunto de necessidades de NVE's projetados a partir da arquitetura Ataxia. Esse modelo de protocolo especifica um total de 16 PDU's, divididas em 6 áreas de atuação distintas (vide Tabela 5).

Apesar de inicialmente proposto para sistemas baseados na arquitetura Ataxia, o protocolo PASSÁRGADa, devido à abrangência das PDU's definidas pelo mesmo, pode também ser empregado em outros NVE's ou mesmo outros sistemas multiusuários

¹³ O nome do protocolo é também uma referência a Passárgada, o país maravilhoso onde tudo é possível, descrito no poema "Vou-me embora pra Passárgada", de autoria de Manuel Bandeira.

distribuídos que necessitem fornecer serviços de comunicação e interação a seus participantes.

Tabela 5: Conjunto de PDU's utilizadas no protocolo PASSÁRGADa.

No.	Nome	Tamanho (bytes)	Formato
Conexão de Clientes			
01	Connect	46 – 246	Conexão de clientes em um determinado sub-ambiente
		1	C: sinalizador
		1	WorldId:
		1	ClientType:
		20	Login:
		20	Password:
		1	BodyType (MediaType):
		2	BodyId (MediaId):
		200	Explicit path
02	Disconnect	2	Desconexão de clientes em um determinado sub-ambiente
		1	D: sinalizador
		1	WorldId:
03	Reconnect	3 – 242	Reconexão de clientes em um determinado sub-ambiente
		1	N: sinalizador
		1	WorldId:
		1 – 240	Place:
04	Accept	25	Aceitação ou não de conexão de cliente
		1	A: sinalizador
		1	WorldId:
		20	Name:
		2	Result: Se a conexão for aceita, retorna o ElementId; senão, retorna 0
		1	Restriction: navegação
05	Alive	2	Checagem de estado de componente da arquitetura
		1	V: sinalizador
		1	ClientStatus: Se valor = 0, então é request_alive

Instanciação de Elementos

06	In/Update	12	Criação ou modificação de elemento virtual
		1	I: sinalizador
		1	WorldId:
		2	To: Se valor = 0, então todos os clientes receberão
		1	ElementfType:
		2	ElementId:
		1	BodyType (MediafType):
		2	BodyId (MediaId):
		1	FinalStatus:
		1	Access: manipulação
07	Out	4	Destruição de elemento virtual
		1	O: sinalizador
		1	WorldID:
		2	ElementId:
			Manipulação de Elementos
08	Execute	7	Execução de ação e posterior mudança de estado de elemento virtual
		1	X: sinalizador
		1	WorldId:
		2	ElementId
		2	Action: Se valor = 0 então somente muda status
		1	FinalStatus:
09	Move	18	Mudança de posição, com deslocamento ou não, de elemento virtual
		1	M: sinalizador
		1	WorldId:
		2	ElementId
		1	ElementPart: Se valor = 0, então todo o elemento sofrerá a ação
		1	PositionType: Se valor \diamond 0, então desloca
		2	XPosition:
		2	YPosition:
		2	ZPosition:
		2	XAngle:
		2	YAngle:
		2	ZAngle:

10	Walk	8	Movimentação de elemento virtual (translação ou rotação)
		1	W: sinalizador
		1	WorldId:
		2	ElementId:
		1	ElementPart:
		1	SpeedType: Se valor $\neq 0$, então turn
		2	Speed:
Comunicação			
11	Say	7 – 246	Apresentação de texto
		1	Y: sinalizador
		1	WorldId:
		2	From:
		2	To: Se valor = 0, então todos os clientes receberão
		1 – 240	TextMessage: Contém mensagem de texto se MediaType = TEXT
12	Show	9 – 249	Apresentação de mídia específica
		1	S: sinalizador
		1	WorldId:
		2	From:
		2	To: Se valor = 0, então todos os clientes receberão
		1	MediaType:
		2	MediaId:
		0 - 240	Explicit path
13	What	54 – 154	Informações sobre elemento virtual ou componente da arquitetura
		1	H: sinalizador
		1	WorldId:
		1	ComponentType:
		4	ComponentId:
		2	ElementId:
		30	Name:
		1	BodyType (MediaType):
		2	BodyId (MediaId):
		2	Xpos:
		2	Ypos:
		2	ZPos:
		2	XAngle:
		2	YAngle:
		2	ZAngle:
		0 – 100	Description:

Serviços Específicos da Arquitetura Ataxia

14	Log	9 – 249	Documentação de ocorrência
		1	L: sinalizador
		1	WorldId:
		1	ComponentType:
		4	ComponentId: Se ComponentType = cliente ou simulóide, registro
		2	Event: identificador do tipo de evento
		0 – 240	Details: descrição da ocorrência
15	Administrate	9 – 248	Administração de componentes da arquitetura
		1	E: sinalizador
		1	WorldId:
		1	ComponentType (ARVOREType):
		4	ComponentId:
		1	Flow: Se valor = 0, então question; senão, answer
		1 – 240	OptionsList:

Outros

16	Generic	7 – 246	Integração com outros sistemas/ferramentas
		1	G: sinalizador
		1	WorldId:
		2	From:
		2	To: Se valor = 0, então todos os clientes receberão
		1 – 240	Content:

O primeiro byte de todas as PDU's é reservado para um sinalizador (caractere alfanumérico que identifica a PDU). O restante da PDU contém informações, armazenadas em campos específicos, referentes à ação por ela desempenhada. Não é objetivo desse trabalho apresentar maiores detalhes do protocolo PASSÁRGADa, porém a interpretação de seu funcionamento pode ser obtida através da observação da Tabela 5. Alguns campos, no entanto, merecem atenção especial e encontram-se comentados a seguir, divididos de acordo com as 6 áreas de atuação definidas no protocolo.

7.5.1 Conexão de Clientes

Um mesmo computador é capaz de executar simultaneamente diversos componentes da arquitetura Ataxia. Assim, é necessário identificar qual componente é responsável por cada sub-ambiente e, para que isso seja possível, emprega-se o campo *WorldId*, que identifica de forma única cada um dos sub-ambientes executados naquele computador. A tarefa de atribuir identificações aos sub-ambientes e configurar os respectivos componentes é deixada a cargo da equipe de administração do NVE. É importante salientar que devido ao tamanho do campo *WorldId* ser de 1 byte, cada computador pode gerenciar até 256 sub-ambientes, desde que disponha de poder computacional suficiente.

O campo *ClientType* simplesmente identifica o tipo de componente-cliente (cliente de interação em realidade virtual, controlador de simulóide ou cliente de administração) que está realizando a conexão no ambiente.

A arquitetura Ataxia pode suportar um grande conjunto de tipos de mídias, as quais podem estar disponíveis em formatos de arquivo distintos. No caso específico dos corpos utilizados pelos personagens virtuais, o campo *BodyType* identifica o tipo de arquivo no qual se encontra o respectivo corpo virtual a ser utilizado, enquanto o campo *BodyId* contém o índice do mesmo no fornecedor de mídias utilizado pelo sub-ambiente. Existe a opção de se utilizar um corpo específico não indexado no fornecedor de mídias; porém, para que isso seja possível, é necessário preencher o campo *ExplicitPath* com o URL no qual o mesmo está disponível. A utilização desse campo específico, porém, deve ser evitada, uma vez que permite que corpos não cadastrados pela equipe de administração sejam utilizados no NVE. De qualquer forma, este campo está disponível para fornecer uma maior liberdade na implementação de ambientes virtuais compartilhados definidos a partir da arquitetura Ataxia.

O campo *Place* informa a URL de um determinado computador onde está sendo executado um sub-ambiente virtual específico. Esse campo é utilizado em conjunto com o campo *WorldId* para a identificação de um determinado computador e de um determinado sub-ambiente sendo executado no mesmo. Tal função é necessária, por exemplo, para re-conexões de usuários, através da passagem pelos portais existentes no NVE.

O campo *Restriction* informa a aplicação utilizada pelo participante do NVE se sua navegação possui algum tipo de restrição no sub-ambiente virtual ao qual o mesmo se conectou. Essas restrições específicas não são comuns, porém podem referir-se à desabilitação de algumas possibilidades de navegação, tais como caminhar, correr, etc.

7.5.2 Instanciação de Elementos

O campo *To* informa o identificador de qual participante deve receber uma determinada PDU. Caso o conteúdo deste campo receba “0”, então a PDU deverá ser encaminhada a todos os participantes do sub-ambiente virtual.

O campo *ElementId* contém o identificador do elemento virtual que está sendo instanciado. Caso esse elemento virtual refira-se a um determinado avatar ou simulóide, o *ElementId* apresenta o identificador do respectivo participante do ambiente.

Já os campos *BodyType* e *BodyId* têm seu funcionamento semelhante àquele definido na Seção 6.5.1, porém, referindo-se agora também às estruturas tridimensionais utilizadas pelos objetos do NVE.

O campo *FinalStatus* define e aponta o estado atual, entre vários possíveis, do elemento virtual instanciado; e o campo *Access* indica possíveis restrições à manipulação desse elemento.

7.5.3 Manipulação de Elementos

O campo *Action* indica qual ação deve ser executada, dentro de um conjunto pré-definido de possibilidades, por um determinado elemento virtual.

O campo *ElementPart* possibilita a identificação de uma parte específica do objeto a ser movimentada. Esse campo permite a movimentação de articulações específicas da estrutura tridimensional de um determinado elemento virtual; no entanto, seu uso deve ser comedido pois a realização de movimentações muito complexas exige o envio de inúmeras PDU's à rede. Geralmente, deve-se optar pela utilização de ações pré-definidas, que são disparadas por uma única PDU.

O campo *PositionType* identifica se o re-posicionamento do elemento virtual deve se dar diretamente, com o objeto desaparecendo de sua posição atual e reaparecendo na nova posição, ou através de um deslocamento suave.

Os campos *XPosition*, *YPosition* e *ZPosition* identificam o centro da nova posição tridimensional a ser ocupada pelo elemento virtual no sub-ambiente; e os campos *XAngle*, *YAngle* e *ZAngle* informam a orientação do elemento no sub-ambiente.

O campo *MoveType* identifica qual o tipo de velocidade considerada, se linear ou angular.

7.5.4 Comunicação

O campo *From* contém o identificador do participante que originou a informação transmitida pela PDU. Os campos *MediaType*, *MediaId* e *ExplicitPath* têm seu funcionamento semelhante ao já anteriormente descrito, porém, agora permitindo a utilização de qualquer mídia armazenada em qualquer tipo de arquivo.

Os campos *ComponentType* e *ComponentId* são de interesse somente da equipe de administração e informam, respectivamente, o tipo e identificador de um componente específico da arquitetura Ataxia na rede.

O campo *Description* contém informações sobre um determinado elemento virtual do NVE (estrutura tridimensional, participante, etc.). Essas informações são extraídas diretamente da BIGAV do controlador de eventos utilizado no sub-ambiente que contém o elemento virtual.

7.5.5 Serviços Específicos da Arquitetura Ataxia

O campo *Flow* identifica se a PDU é uma ordem para um determinado componente da arquitetura ou um retorno para o cliente de administração. O conteúdo do campo *OptionsList* deve ser definido pelos responsáveis pela implementação do sub-ambiente virtual, de acordo com as necessidades específicas da equipe de administração do NVE.

7.5.6 Outros

O campo *Content* deve ser definido de acordo com as necessidades específicas das aplicações a serem integradas ao NVE.

Como o protocolo PASSÁRGADa fornece suporte a todas as funcionalidades da arquitetura Ataxia, esse modelo deve ser empregado como base para a geração de protocolos específicos, para serem utilizados em implementações de NVE's que façam uso dessa arquitetura.

Capítulo VIII

Conclusões e Trabalhos Futuros

A educação a distância tem evoluído bastante nos últimos anos. O advento da Internet trouxe novas possibilidades para a troca de informações entre alunos e professores; porém, ainda há problemas quanto ao fornecimento de conteúdo. Apesar dos recursos de multimídia propiciarem resultados muito bons para o aprendizado, a tecnologia de realidade virtual pode ser utilizada para complementar a instrução. Dessa forma, a navegação por ambientes virtuais específicos é uma alternativa bastante interessante como ferramenta de treinamento e educação a distância.

Simulações de fenômenos do mundo real, exploradas por grupos de usuários de forma simultânea, mostram-se como uma ferramenta bastante eficiente para a compreensão de fatos e posterior discussão de idéias. Assim, a construção de ambientes virtuais compartilhados, tornados disponíveis através da Internet e atendendo a diferentes categorias de participantes, com diferentes necessidades é uma alternativa aos atuais padrões de educação a distância. Além disso, o emprego desses ambientes virtuais compartilhados como ferramentas de educação a distância oferece, ao contrário da grande maioria das atuais aplicações empregadas, uma maior integração entre indivíduos com um objetivo de aprendizado colaborativo.

Já a possibilidade de se utilizar personagens virtuais como representações de usuários humanos e máquinas abre novas perspectivas na interação homem-homem e homem-máquina. Tudo isso, além de dar margem a novas experiências de aprendizado, estimula alunos e professores, fornecendo subsídios para um estudo mais completo de situações e para a discussão de novas idéias.

8.1 Principais Contribuições

A principal contribuição desse trabalho é a definição de uma arquitetura, Ataxia, que permite o uso de componentes especializados, os quais podem ser executados simultaneamente em diversas máquinas. Essa é uma alternativa de baixo custo aos atuais sistemas de suporte a ambientes virtuais em rede, permitindo a criação de uma estrutura

distribuída, com uma capacidade quase ilimitada de expansão e oferecendo, assim, novas possibilidades para a educação a distância.

A união de técnicas oriundas de outras áreas, que não a realidade virtual, como o emprego de caches locais, da replicação sob demanda e de estruturas utilizadas originalmente no gerenciamento de redes de computadores, mostra-se como um diferencial importante da arquitetura Ataxia. Isso permite a minimização do uso da rede para a transferência dos dados necessários ao ambiente virtual compartilhado, também se configurando como uma contribuição do presente trabalho.

A especificação do modelo de escola virtual ESCREV e do conseqüente modelo de referência ESCREV também representa uma contribuição substancial desse trabalho. Por conjugarem várias das funcionalidades necessárias a ambientes de realidade virtual voltados para a educação, esses modelos podem servir de base para a elaboração de diferentes arquiteturas voltadas para suprir as necessidades de outros sistemas voltados para a educação a distância.

8.2 Trabalhos Futuros

A tarefa de investigar possíveis modificações da arquitetura Ataxia, adequando-a às particularidades de diferentes modelos de distribuição de objetos (CORBA – Common Object Request Broker Architecture e DCOM – Distributed Component Object Model, entre outros), terá como resultado final a criação de modelos específicos, que tornarão implícita a indexação de componentes e mídias e que simplificarão e automatizarão o mecanismo de instanciação de novos componentes (Araújo, 2000).

A definição do atual componente cliente de administração não permite operações automáticas de monitoramento e controle do ambiente virtual. Dessa forma, propõe-se a geração de uma aplicação específica para o gerenciamento autônomo de ocorrências, capaz de analisar eventos e avaliar possibilidades de re-configuração do sistema, sem a intervenção humana. Isso simplificará processos como a replicação de componentes para um melhor balanceamento do tráfego da rede, por exemplo.

A exploração de recursos definidos na arquitetura Ataxia, como o funcionamento da cache de mídias local de acordo com uma política de replicação sob demanda, poderá fornecer soluções alternativas para a transmissão de mídias contínuas, como som e vídeo

em outras aplicações, que não NVE's. Assim, fazem-se necessários, ainda, estudos posteriores específicos para a análise desse tipo de técnica para distribuição de informações.

O modelo de escola virtual proposto nesse trabalho não se atém a nenhuma corrente pedagógica específica. A realização de um estudo para avaliar a aplicação de idéias de diferentes metodologias de ensino nos ambientes virtuais implementados a partir da arquitetura Ataxia poderá ser bastante interessante.

Apêndice A

Implementação da Arquitetura Ataxia

Clebernaice Cruz de Oliveira¹; Edwin Rolim²; Emanuele Marques dos Santos³; Glaudiney Moreira Mendonça Junior¹; João Carlos da Silveira Costa Filho²; Joaquim Pedro de Carvalho Oliveira⁴

Coordenação: Antonio José Melo Leite Júnior e Camilo Camilo Almendra³

¹Bolsista ITI/Projeto AVAL; ²Bolsista ITI/Projeto VDL; ³Bolsista DTI/Projeto AVAL; ⁴Bolsista PET/Computação-UFC;

Projeto AVAL – Ambientes Virtuais para o Aprendizado de Línguas e
Projeto VDL – Virtual Distance Learning
ProTeM-CC/CNPq, Dezembro/2000

Comentários Gerais

Esse apêndice tem por objetivo apresentar o estado atual da implementação do conjunto de componentes definidos pela arquitetura Ataxia. As implementações estão sendo realizadas através de uma parceria entre os projetos AVAL – Ambientes Virtuais para o Aprendizado de Línguas, sob coordenação do Prof. Creto Augusto Vidal, e VDL – Virtual Distance Learning, sob coordenação do Prof. Mauro Cavalcante Pequeno. Os dois projetos estão sendo desenvolvidos na Universidade Federal do Ceará, e são financiados pelo ProTem-CC/CNPq.

As implementações expostas nesse trabalho referem-se a um ambiente virtual definido de acordo com uma simplificação do modelo de referência ESCREV. O ambiente virtual gerado é formado por um conjunto de cinco salas interligadas (Figuras 44 a 49): uma biblioteca, uma sala de aula de matemática, um laboratório de química, um laboratório de física e um pátio. Na biblioteca, encontra-se a BIA – Bibliotecária Inteligente Artificialmente, um simulóide que interliga um banco de dados de sinônimos (DicServer). No laboratório de química, há dois tubos de ensaio e um Becker, que podem ser

manipulados para a realização de experiências simples (reação: ácido + base → sal + água).

Estão disponíveis aos usuários do sistema somente recursos básicos de comunicação através de chat e manipulação dos objetos encontrados no laboratório de química.

Com relação à arquitetura Ataxia, o fornecedor de mídias ainda não foi implementado, sendo esse, por enquanto, substituído pelo acesso direto, através da rede, a mídias ou, quando necessário, por um servidor FTP. O gerenciador de eventos foi desmembrado em duas aplicações específicas: o servidor de ambiente, que tem como função básica manter os dados da BIGAV, tornando-os disponíveis aos demais componentes do sistema; e o simulador QuimicaNet, responsável pela avaliação de ocorrências no interior do ambiente de laboratório de química. Essas duas aplicações estão interligadas diretamente através da própria rede. O cliente de administração também ainda não foi implementado, sendo as configurações das demais aplicações do sistema realizadas diretamente. Todos os demais componentes definidos na Seção 7.3 encontram-se implementados (Tabela 6).

Tabela 6: Relação entre os componentes definidos pela arquitetura Ataxia e as aplicações implementadas.

Componente da Arquitetura Ataxia	Aplicação Implementada
Roteador de Mensagens	Servidor de Roteamento
Gerenciador de Eventos	Servidor de Ambiente Simulador QuimicaNet
Gerenciador de Políticas de Acesso	Servidor de Validação
Fornecedor de Mídia	-
Controlador de Simulóide	BIA – Bibliotecária Inteligente Artificialmente Dicionário Eletrônico (Ferramenta externa)
Cliente de Interação em Realidade Virtual	Super CIRV
Cliente de Administração	-
-	Servidor de Log



Figuras 44 e 45 : Ambiente virtual implementado.



Figura 46: Sala de aula de Matemática.



Figura 47: Biblioteca.



Figura 48: Pátio.

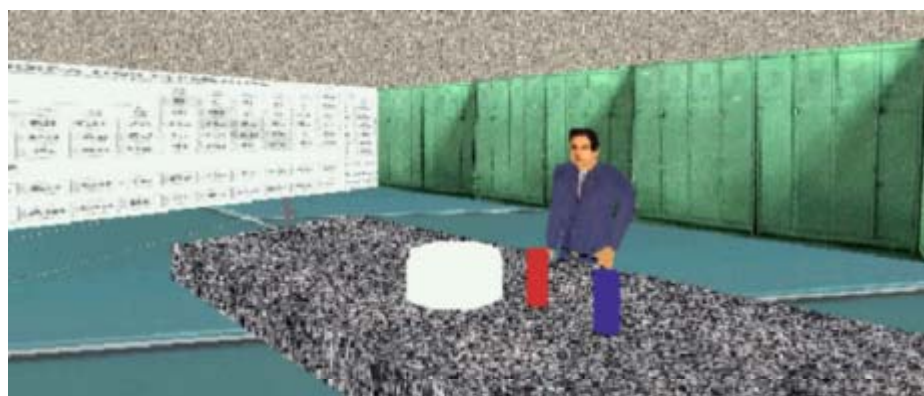


Figura 49: Laboratório de Química.

Protocolo Empregado

O protocolo empregado na implementação tem sua base no modelo de protocolo PASSÁRGADa, e encontra-se especificado a seguir.

Tabela 7: PDU's do protocolo empregado nas implementações.

No.	Nome	Tamanho (bytes)	Sinalizador	Formato
1 Conexão				
1.1	Connect	92	C	Type(1), Login(20), Password(20), Body(50)
1.2	Disconnect	1	D	
1.3	Reconnect	51	R	Place(50)
1.4	Accept	22	A	Login(20), Result(1)
2 Instanciação				
2.1	In	54	I	Flow(3), Type(1), Number(3), Name(20), Body(50)
2.2	Out	3	O	Flow(3), Type(1), Number(3)
2.3	Action	5	N	Type(1), Number(3), Action(3)
2.4	Status	5	S	Flow(3), Type(1), Number(3), Status(3)
3 Comunicação e Movimentação				
3.1	Show	255	M	Destiny(3), Number(3), File(250)
3.2	Position	16	P	Flow(3), Type(1), Number(3), Group(1), PX(3), PY(3), PZ(3), AX(3), AY(3), AZ(3)
3.3	Relocate	16	E	Type(1), Number(3), Group(1), PX(3), PY(3), PZ(3), AX(3), AY(3), AZ(3)
3.4	Move	6	O	Type(1), Number(3), Group(1), Speed(3)
3.5	Turn	6	T	Type(1), Number(3), Group(1), Speed(3)
4 Outros				
4.1	Log	5	L	Number(3), Type(1), Event(3)
4.2	Generic	253	G	Destiny(3), Number(3), Type(1), Message(250)

Nota: Se Destiny = 0, então a mensagem será enviada a todos os clientes.

Se Group = 0, então todo o objeto sofrerá a ação.

Diagramas de Classes em UML

A seguir estão apresentados os diagramas de classe (Almendra, 2000), de acordo com a especificação UML (Unified Modeling Language) para as diversas aplicações implementadas, de acordo com os diagramas de implementação presentes na Seção 7.3.

Classes Gerais (Utilizadas pelas demais Aplicações)

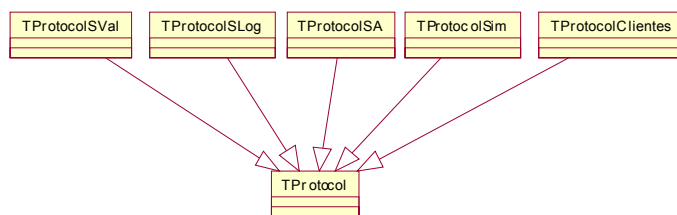


Figura 50: Classes de especificação do protocolo.

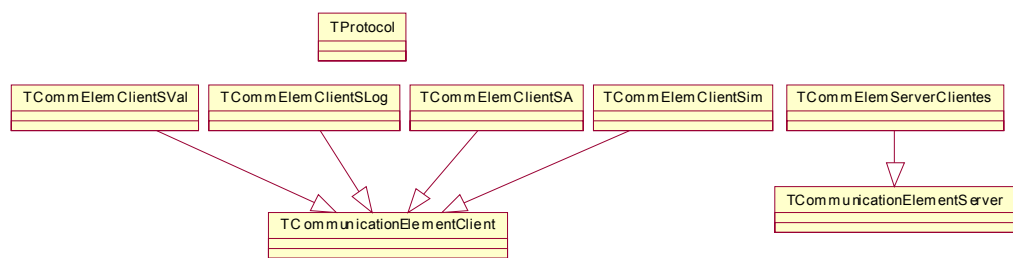


Figura 51: Classes de comunicação.

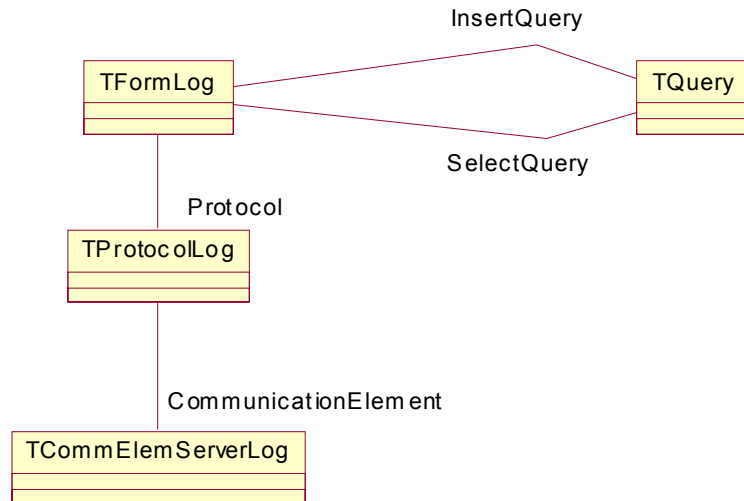


Figura 52: Classes para Armazenamento de Ocorrências.

Roteador de Mensagens

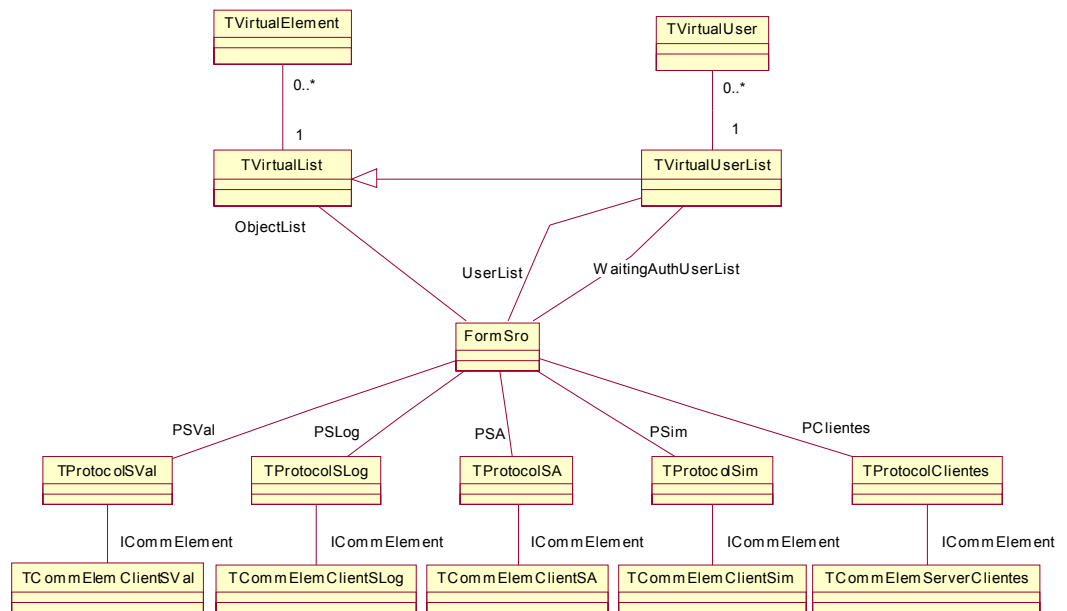


Figura 53: Diagrama de classes do servidor de roteamento.

Gerenciador de Eventos

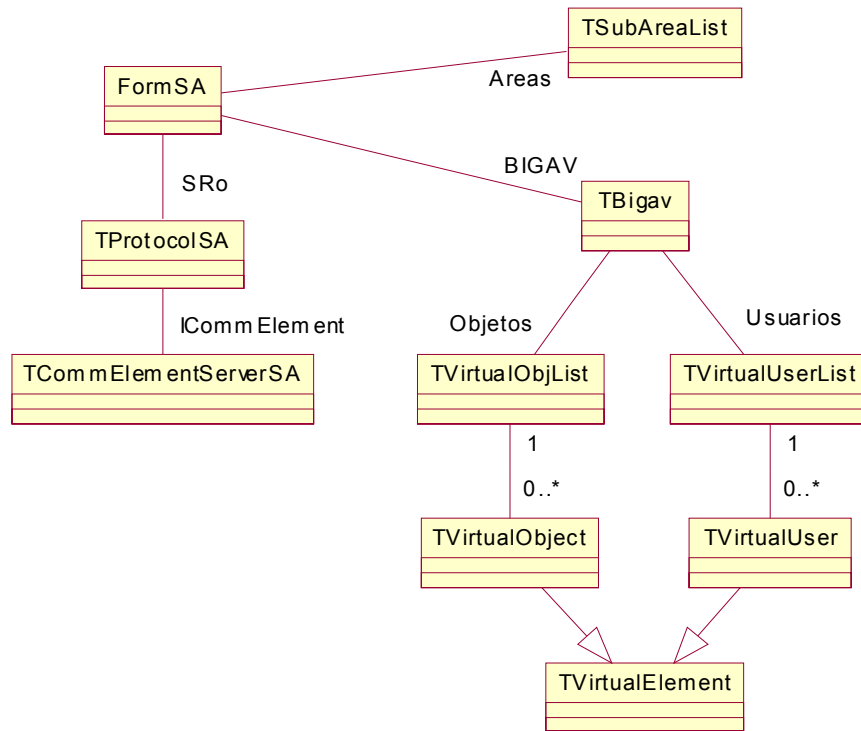


Figura 54: Diagrama de classes do servidor de ambiente.

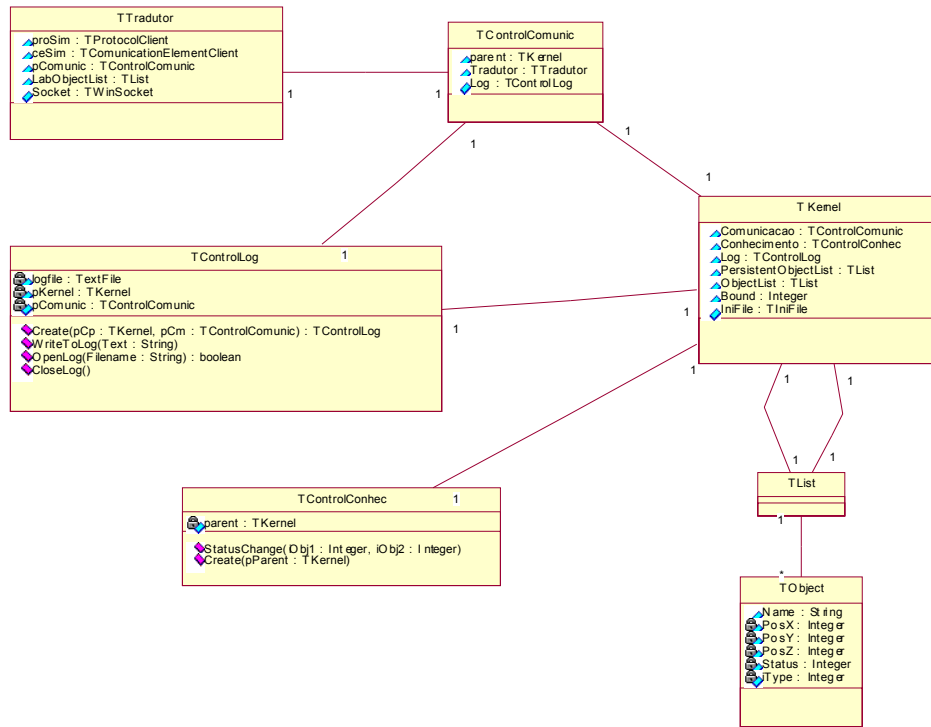


Figura 55: Diagrama de classes do simulador QuimicaNet.

Gerenciador de Política de Acesso

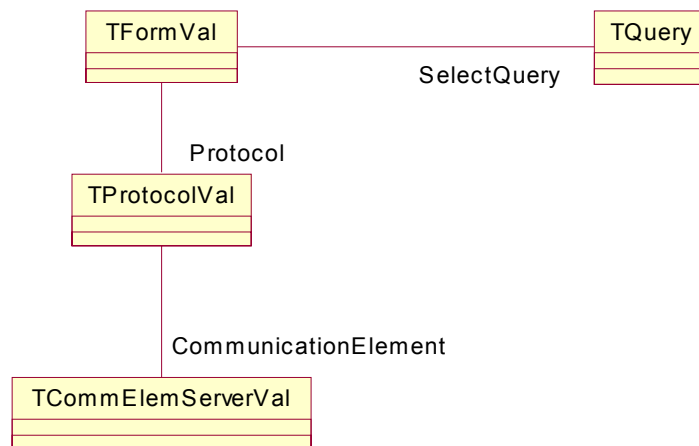


Figura 56: Diagrama de classes do servidor de validação.

Controlador de Simulóide

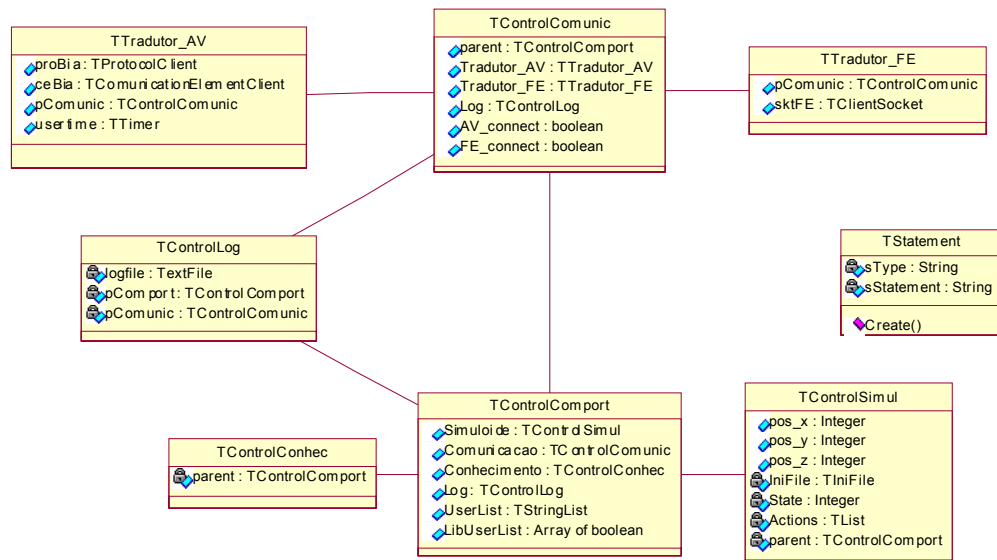


Figura 57: Diagrama de classes da BIA.

Cliente de Interação em Realidade Virtual

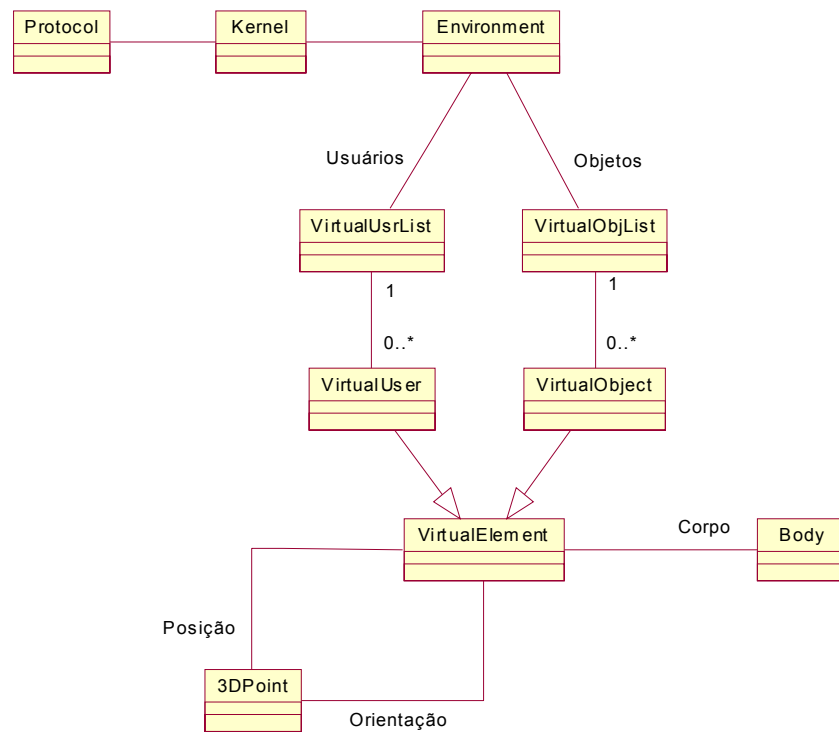


Figura 58: Diagrama de classes do SuperCIRV.

Screenshots das Aplicações Implementadas

A seguir estão apresentados os screenshots das diversas aplicações desenvolvidas nesse trabalho, de acordo com cada componente definido pela arquitetura Ataxia.

Roteador de Mensagens

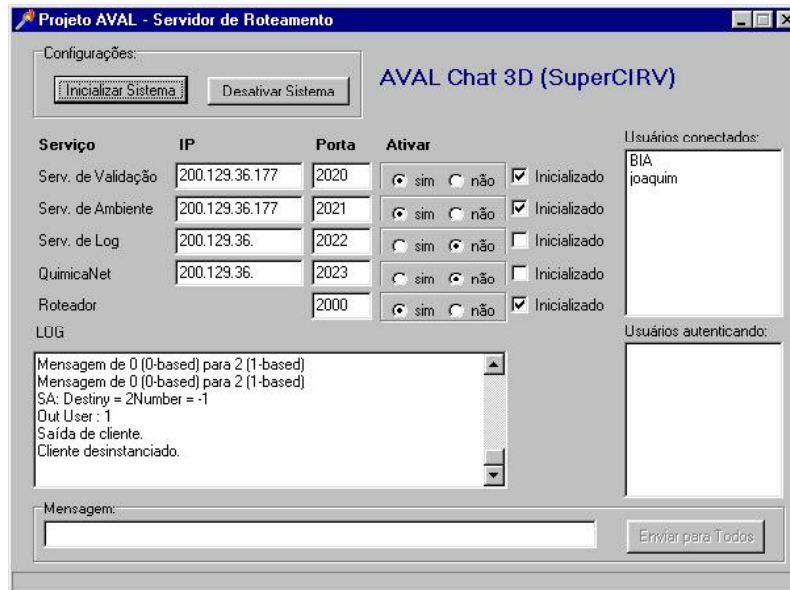


Figura 59: Servidor de roteamento.

Gerenciador de Eventos

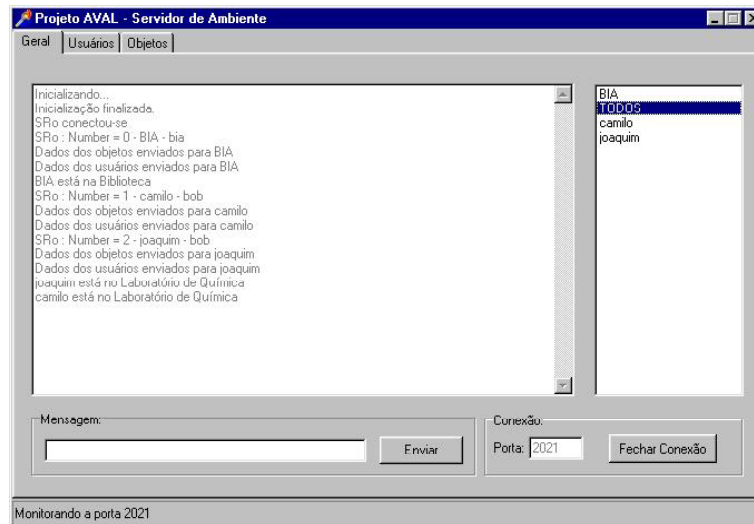


Figura 60: Servidor de ambiente.

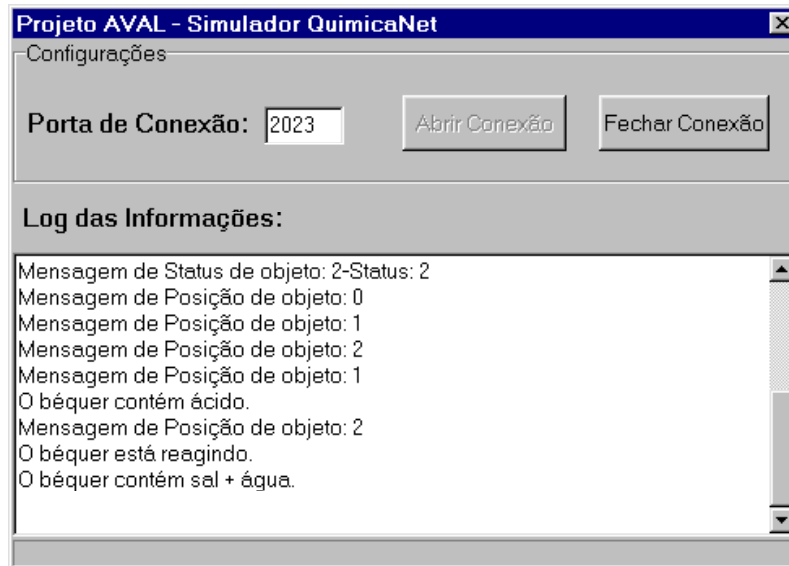


Figura 61: Simulador QuimicaNet.

Gerenciador de Políticas de Acesso

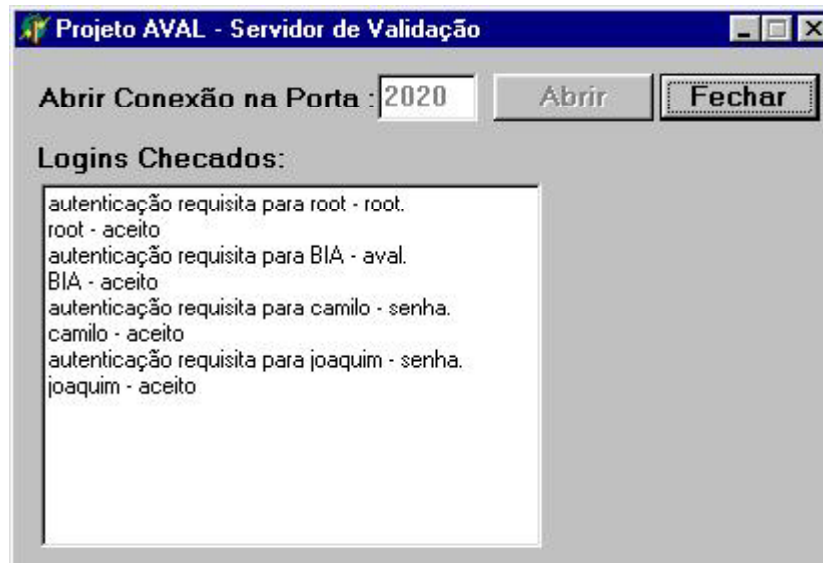


Figura 62: Servidor de validação.

Controlador de Simulóide

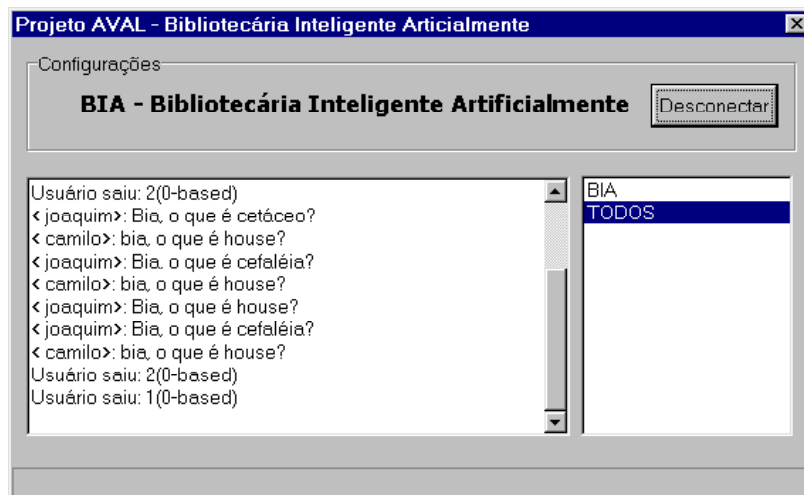


Figura 63: BIA.

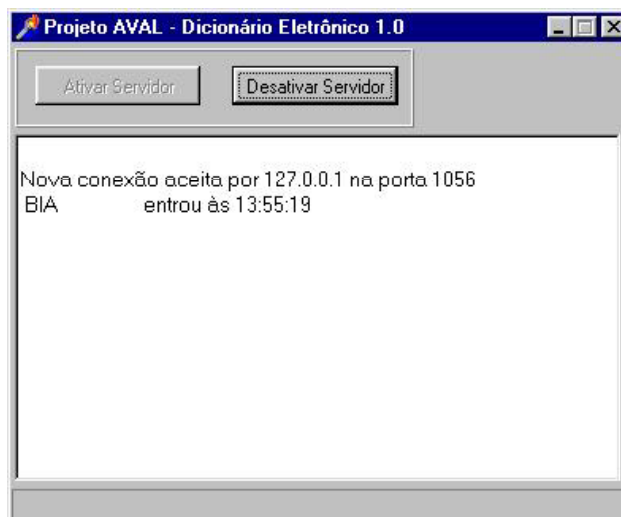


Figura 64: DicServer.

Cliente de Interação em Realidade Virtual



Figura 65: Super CIRV.

Resultados

Foram realizados testes no sistema a fim de se aferir a quantidade de PDU's enviadas à rede. Para tanto, foram conectadas de 1 (uma) a 6 (seis) aplicações-cliente ao servidor de roteamento, em uma rede local de 10 Mbps. Os resultados encontrados encontram-se descritos a seguir.

A Figura 66 apresenta a quantidade de PDU's geradas por 1 (um) a 6 (seis) SuperCIRV's em um tempo total de 15 minutos (dividido em intervalos de 90 segundos).

Mensagens Geradas no Cliente

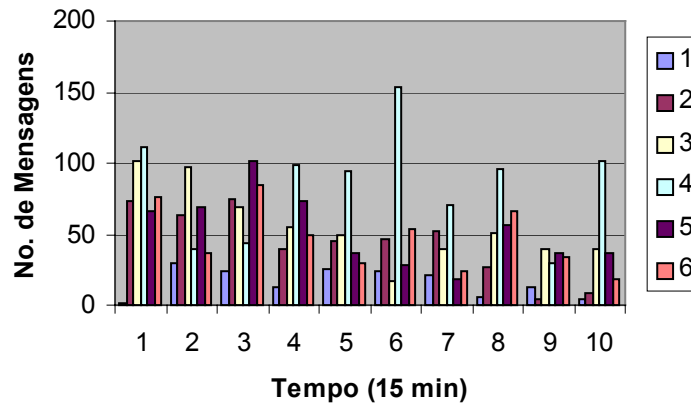


Figura 66: Quantidade de PDU's geradas por 1 (um) a 6 (seis) SuperCIRV's.

A partir dos dados apresentados na Figura 66, a Figura 67 apresenta as quantidades médias individuais de PDU's geradas nos testes realizados com 1 (um) a 6 (seis) SuperCIRV's conectadas ao sistema simultaneamente.

Média de Mensagens Geradas (em 15s)

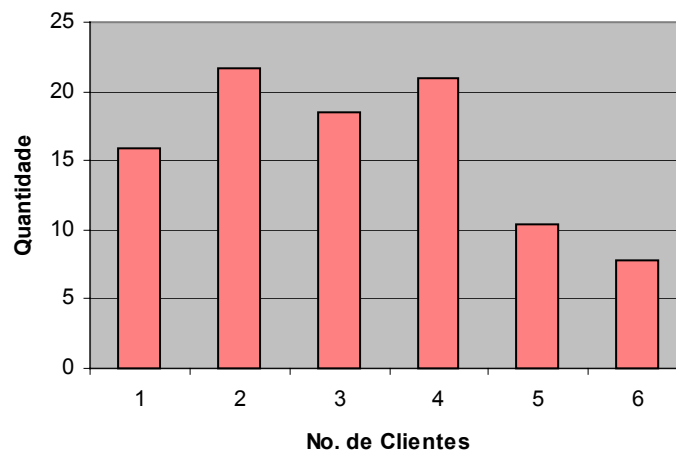


Figura 67: Quantidade média individual de PDU's geradas por SuperCIRV's.

A Figura 68 apresenta a quantidade respostas geradas pelo servidor de roteamento de acordo com as PDU's originadas pelos SuperCIRV's, apresentadas na Figura 66, em um tempo total de 15 minutos (dividido em intervalos de 90 segundos).

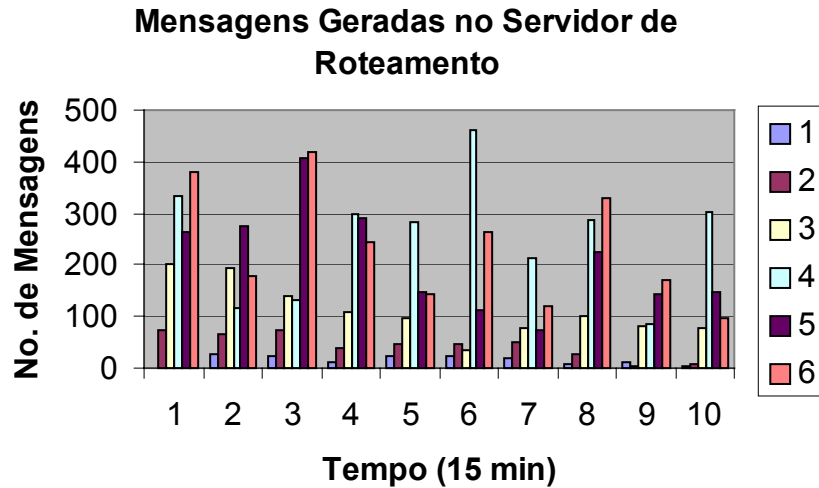


Figura 68: Quantidade de respostas geradas pelo servidor de roteamento.

A Figura 69 apresenta a evolução da quantidade de PDU's geradas por 1 (um) a 6 (seis) aplicações-cliente em um tempo total de 15 minutos (dividido em intervalos de 90 segundos), de acordo com os dados apresentados na Figura 66.

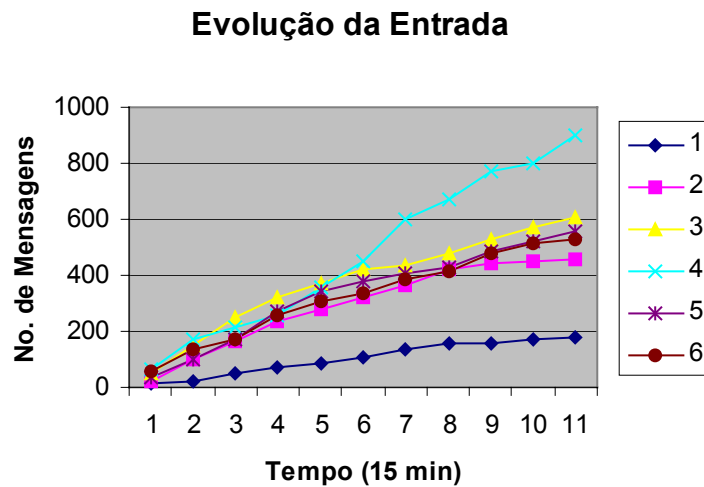


Figura 69: Evolução da quantidade de PDU's geradas por 1 (um) a 6 (seis) SuperCIRV's.

A Figura 70 apresenta a evolução da quantidade de PDU's trafegadas pela rede, geradas por 1 (um) a 6 (seis) SuperCIRV's e pelo funcionamento do servidor de roteamento (número de respostas geradas multiplicado pelo número de aplicações-cliente conectadas), em um tempo total de 15 minutos (dividido em intervalos de 90 segundos), de acordo com os dados apresentados nas Figuras 66 e 68.

Evolução do Sistema

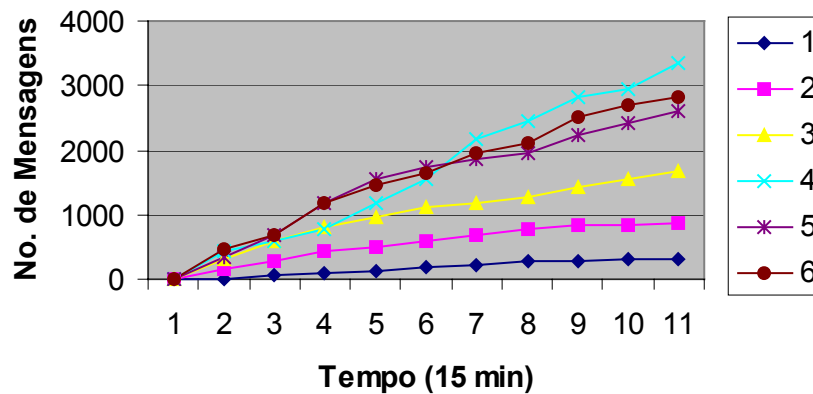


Figura 70: Evolução da quantidade de PDU's geradas por 1 (um) a 6 (seis) SuperCIRV's e pelo servidor de roteamento.

A Figura 71 apresenta o tempo de latência total para a emissão de uma PDU de movimentação, a partir do servidor de roteamento, para um SuperCIRV conectado remotamente, através de um modem 56 Kbps padrão V.90. Esses dados são referentes a um teste específico, onde é medido o tempo total decorrente entre a emissão de 10 (dez) PDU's consecutivas de movimentação (seqüências 1 a 10), originadas do servidor de roteamento, e a apresentação do resultado das mesmas no SuperCIRV remoto. Apesar desse resultado poder ser bastante variável, de acordo com as condições da linha utilizada para a conexão remota, ele mostra a viabilidade do uso de aplicações-cliente remotas junto ao sistema, uma vez que os tempos aferidos são geralmente muito baixos, devido também ao tamanho reduzido das PDU's empregadas.

Atraso de Mensagens

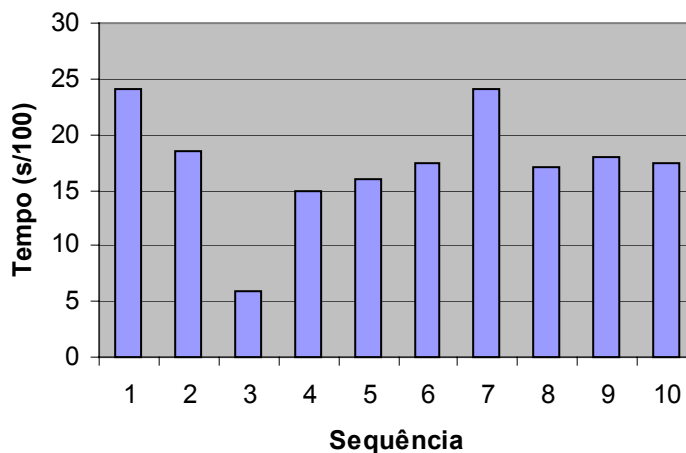


Figura 71: Tempo decorrido entre a emissão de uma PDU, por parte do servidor de roteamento, e a apresentação de resultado da mesma por um SuperCIRV remoto.

Projeções

A partir dos dados apresentados anteriormente, a projeção do número máximo de aplicações-cliente conectadas simultaneamente em um servidor de roteamento pode ser obtida facilmente. Para tanto, é necessária a realização de um cálculo simples, que consiste na divisão da largura de banda disponível no meio de transmissão pela quantidade total de informações a ser transmitida. De acordo com os dados expostos na Figuras 67, a média de 1,25 PDU emitida por cliente a cada segundo pode ser considerada como válida. Como o tamanho médio das PDU's empregadas no protocolo do sistema implementado fica em torno de 30 bytes, temos que o tamanho de cada uma das PDU's transmitidas, para efeitos de cálculo, pode ser considerado como sendo de 240 bits (30×8 bits). Dessa forma, a cada segundo, 300 bits ($1,25 \times 240$) são enviados à rede de comunicação por cada cliente. Pode ser também considerado, de uma forma grosseira e simplista, que para cada PDU enviada por uma determinada aplicação-cliente, seja gerado um número total de PDU's no sistema igual ao quadrado da quantidade de aplicação-cliente conectadas (cada PDU gerada é reenviada ao servidor de roteamento e, então, a todas as outras aplicações clientes).

A partir de todas as considerações acima discriminadas, obtém-se os seguintes valores para as quantidades máximas de aplicações-cliente, de acordo com os meios utilizados para a conexão do servidor de roteamento (considerando-se, para fins de um maior realismo da projeção, somente 70% da utilização de toda a banda passante):

- Rede local 10 Mbps: 153 usuários = raiz quadrada $(10.000.000 \times 0,7 / 300)$;
- Conexão à Internet 2 Mbps: 68 usuários = raiz quadrada $(2.000.000 \times 0,7 / 300)$;
- Modem 56 Kbps V.90: 11 usuários raiz quadrada $(56.000 \times 0,7 / 300)$;

Os números acima, apesar de serem projeções, refletem bem a quantidade máxima de participantes do sistema, e podem ser considerados válidos.

Referências Bibliográficas

- 3D Cafe (2000). www.3dcafe.com.
- Ackerman, D. (1994). *A Natural History of the Senses*. Publishing Mills, E.U.A.
- Aiptek (2000). *HyperPen 8000*. http://www.aiptek.com/Products_HyperPen-8000.htm.
- Albuquerque, R. L. (1997). Laboratório de Computação Gráfica da Universidade Federal do Ceará.
- Almeda, J. (1988). Citado em Jeffries, M. (2000). *Research in distance education*. <http://www.ihets.org/consortium/ipse/fdhandbook/resrch.html>
- Almendra, C. C. (2000). Projeto AVAL – Ambientes Virtuais para o Aprendizado de Línguas, ProTem-CC/CNPq.
- Araujo, R. C. (2000). *Arquitetura para Desenvolvimento de Aplicações de Educação a Distância*. Dissertação de mestrado, UFPE-Universidade Federal de Pernambuco.
- Auld, L.; Pantelidis, V. S. (1999). *The Virtual Reality and Education Laboratory at East Carolina University*. <http://www.thejournal.com/magazine/vault/a2371-cfm>.
- Barrus, J. W.; Waters, R. C.; Anderson, D. B. (1996). *Locales and Beacons: Efficient and Precise Support for Large Multi-User Virtual Environments*. Procedures of IEEE VRAIS.
- Barrus, J. W.; Waters, R. C.; Anderson, D.B. (1996). *Locales and Beacons: Efficient and Precise Support for Large Multi-User Virtual Environments*. Procedures of IEEE VRAIS'96.
- Benford, S.; Bowers, J.; Fahlen, L. E.; Greenhalg, C.; Mariani, J.; Rodden, T. (1995). *Networked Virtual Reality and Cooperative Work*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 4, No. 4.
- Benford, S.; Bowers, J.; Fahlen, L. E.; Greenhalgh, C.; Mariani, J.; Rodden, T. (1995). *Networked Virtual Reality and Cooperative Work*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 4, No. 4.
- Bjedov, G. *Utilizing the World Wide Web and the Internet to Facilitate Learning in arge Classes*. Frontiers in Education, Conference Session 2c5, 2c5.13. <http://FrE.www.ecn.purdue.edu/FrE/asee/fle95/2c5/2c54/2c54.htm>
- Boulic, R.; Rezzonico, S.; Thalmann, D. (1996). *Multi-Finger Manipulation of Virtual Objects*. Procedures of ACM VRST'96.

- Bourton, C.; Garth, R. Y. (1983). *Learning in Groups*. New Directions in Teaching and Learning, No. 14. San Francisco, Jossey-Bass.
- Bricken, M.; Byrne, C. M. (1993). Summer Students in Virtual Reality. Wexelblat, A. (Ed.) *Virtual Reality: Applications and Explorations*. New York: Academic Press Professional.
- Bricken, W.; Coco, G. (1993). *The VEOS Project*. Relatório técnico R-93-3. Human Interface Technology Laboratory, University of Washington.
- Brooks, F. P. Jr. (1986). *Walkthrough – a dynamic graphics system for simulating virtual buildings*. Procedures of Workshop on Interactive 3D Graphics, Computer Graphics, Vol. 21, No. 1.
- Bryson, S.; Levit, C. (1992). *The Virtual Wind Tunnel*. IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 2, No. 4.
- Burdea, G.; Coiffet, P. (1994). *Virtual Reality Technology*. John Wiley & Sons, New York, NY
- Butterworth, J.; Davidson, A.; Hench, S.; Olano, T. M. (1992). *3DM: A Tree-Dimensional Modeler Using a Head-Mounted Display*. Procedures of Interactive 3D Graphics, Vol. 25, No. 2.
- Byrne, C. M.; Furness, T.; Winn, W. D. (1995). *The Use of Virtual Reality for Teaching Atomic/Molecular Structure*. Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Francisco.
- Byrne, C.M. (1996). *Water on Tap: Using Virtual Reality to teach atomic structure*. Dissertação de Doutorado, College of Engineering, University of Washington.
- Calvin, J.; Seeger, J.; Troxel, G.; Van Hook, D.; (1995). *STOW real-time information transfer an networking system architecture*. Proceedings of the 12th Workshop on Standards for Distributed Interactive Simulations, Orlando, FL, EUA.
- Çapin, T. K.; Pandzic, I. S.; Magnenat-Thalman, N.; Thalman, D. (1999). *Avatars in Networked Virtual Environments*. John Wiley and Sons.
- Carlsson, C.; Hagsand, O. (1993). *DIVE – A Multi-User Virtual Reality System*. Procedures of IEEE VRAIS'93, Seattle, WA.
- Cartwright, G.P. (1994). *Distance learning: a different time, a different place*. Change, 26 4, 30-32
- China (2000). *China Central Radio and Television University*. <http://www->

- icdl.open.ac.uk/icdl/export/china/chinacen/inst.
- Cohen, D. (1994). *NG-DIS-PDU: The next generation of DIS-PDU (IEEE 1278)*. Procedures of the 10th Workshop on Standards for Distributed Interactive Simulations.
- Conselho de Educação do Ceará (2000). *Parecer No. 0867/98 (1998)*.
http://www.cec.ce.gov.br/p0867_98.htm
- Costa Filho, J. C. S. C. (1997). Laboratório de Computação Gráfica da Universidade Federal do Ceará.
- Csordas, T. J. (2000). *Computerized Cadavers: Shades of Being and Representation in Virtual Reality*. Case Western Reserve University.
<http://www.focusing.org/compuCAD.html>.
- Dankel, D.D.; Hearn, J. (1997). *The Use of the WWW to Support Distance Learning through NTU*. Conference on Integrating Technology into Computer Science Education, Uppsala, Suécia
- Das, T. K.; Singh, G.; Mitchell, A.; Kumar, P. S.; McGee, K. (1997). *A Network Architecture for Large-Scale Multi-User Virtual Worlds*. Proceedings of ACM VRST'97.
- Davie, L. E.; Palmer, P. (1984). *Computer Teleconferencing for Advanced Distance Education*. Journal of University Continuing Education, 10 (2).
- Davies, C.; Harrison, J. (1996). *Osmose: Towards Broadening the Aesthetics of Virtual Reality*. Computer Graphics, Vol. 30, No. 4.
- Dawson, F. (1998). *XDSL market blooming*. Interactive Week 5(39), pp. 28.
- Dede, C.; Loftin, R.B.; Regian, J. W. (1994). *The Design of Artificial Realities to Improve Learning Newtonian Mechanics*. Proceedings of the 1994 East-West International Conference on Multimedia, Hypermedia and Virtual Reality. Moscou, 14 a 16 de setembro.
- Dede, C.; Salzman, M.; Loftin, R. B.; Ash, K. (1997). *Using Virtual Reality Technology to Convey Abstract Scientific Concepts*. Em *Learning the Sciences of the 21st Century: research, Design and Implementing Advanced Technology Learning Environments*, editado por Jacobson, M. J.; Kozma, R. B.; Lawrence Erlbaum.
- Deloughry, T.J. (1994). *Pushing the envelope*. The Chronicle of Higher Education 39, 26. E.U.A.
- Diller, B. (1995). *Don't Repackage – Redefine!* Wired,
<http://www.hotwired.com/lectosphere/dillwr.html>

- Doenges, P. K.; Çapin, T. K.; Lavagetto, F.; Ostermann, J.; Pandzic, I. S.; Petajan, E. D. (1997). *MPEG-4: Audio/Video and Synthetic Graphics/Audio for Mixed Media*. Image Communication Journal, Vol. 5, No. 4, pp. 433-463.
- Douglas, S. (1993). *The ABCs of distance learning*. EDUCOM Review, 28 4. <http://www.educom.edu/web/pubs/>
- Dreifuss, R. (1996). *Época das perplexidades*. Petrópolis: Vozes
- Durlach, N. I.; Mavor, A. S. (Eds.) (1995) *Virtual Reality: Scientific and Technological Challenges*. Comitee on Virtual Reality Research and Development, National Research Council, National Academy of Sciences Press.
- Dyrli, E.; Kinnaman, D. E. (1996). *Teaching Effectively with Telecommunications*. Technology & Learning, 16, 5.
- Ellis, S. R. (1991). *Nature and Origin of Virtual Environments: A Bibliographic Essay*. Computing System in Engineering, Vol. 2, No. 4.
- Erickson, T. (1993). *Artificial Realities as Data Visualization Environments*. Wexelblat, A. (Ed.) *Virtual Reality: Applications and Explorations*. New York: Academic Press Professional.
- Fällman, D. (2000). *Virtual Reality in Education: On-Line Survey*. Department of Informatics, Umea University. <http://www.informatik.umu.se/~dfallman/projects/vrie/intro.html>.
- Farias (1998). Citado em *PARECER N° 0867/98, da Associação dos Professores do Estado do Ceará*, http://www.cec.ce.gov.br/p0867_98.htm.
- Funkhouser, T. A. (1995). *RING: A Client-Server System for Multi-User Virtual Environments*. ACM SIGGRAPH Special Issue on 1995 Symposium on Interactive 3D Graphics, Monterey, CA, EUA.
- Funkhouser, T. A. (1996). *Network Topologies for Scaleable Multi-User Virtual Environments*. Procedures of IEEE VRAIS'96.
- Garrison, D.R. (1987). The role of technology in distance education. *New Directions for Continuing Education*, 36, 41-53
- Gerrity, T. (1976). Citado em Jeffries, M. (2000). *Research in distance education*. <http://www.ihets.org/consortium/ipse/fdhandbook/resrch.html>
- Gibson, W. (1984). *Neuromancer*. New York, ACE Books.
- Gradecki, J. (1994). *Kit de Montagem da Realidade Virtual*. Editora Berkeley, São Paulo.

- Greenhalg, C.; Benford, S. (1995). *MASSIVE: A Distributed Virtual Reality System Incorporating Spatial Trading*. Procedures of 15th International Conference on Distributed Computing Systems, Los Alamitos, CA, ACM.
- Gudzial, M. (1997). *Information ecology of collaborations in educational settings: influence of tool*. CSCL'97 Proceedings.
- Gutmann, S.; Burgard, W.; Fox, D.; Konolige, K. (1998). *An experimental comparison of localization methods*. Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'98), E.U.A.
- Hagsand, O. (1996). *Interactive Multi-User Vets in the DIVE System*. IEEE Multimedia Vol. 3, No. 1, pp. 30-39.
- Hamit, F. (1993). *Realidade Virtual e a Exploração do Espaço Cibernético*. Berkeley Brasil Editora, Original Sams Publishing.
- Haraism, L. (1990). *Online Education: Perspectives on a New Medium*. New York: Prager/Greenwood.
- Hartley, S.; Gerhardt-Powels, J.; Jones, D.; McCormack, C.; Medley, M. D.; Price, B.; Reek, M.; Summers, M. K. (1995). *Enhancing Teaching Using the Inernet*. SIGCSE Bulletin 28, special issue
- Hendrix, C.; Barfield, W. (1996). *Presence within Virtual Environments as a Function of Visual Display Parameters*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 5, No. 3.
- Horn, R. V. (1996). *Sorting It Out: Distance Learning, Video Conferencing and Desktop Video Conferencing*. Phi Delta Kappan 77, 9.
- Hunter, I. W.; Tilemachos, D. D.; Lafontaine, S. R.; Charette, P. G.; Jones, L. A.; Sagar, M. A.; Mallinson, G. D.; Hunter, P. J. (1993). *A Teleoperated Microsurgical Robot and Associated Virtual Environment for Eye Surgery*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 2, No. 4.
- ICQ (2000). *World's largest Internet Online Communication Network*. www.icq.com.
- Institute for Electrical and Electronics Engineers. (1995). *IEEE Standard for Distributed Interactiv Simulation – Application Protocols*. IEEE Std 1278.1 – 1995. Piscataway, NJ: IEEE Standard Press.
- Internet Phone (2000). *Features of Internet Phone*.
<http://www.eurocall.com/e/ip5features.htm>

- Jacobs, R.; Baum, M. (1987). *Simulation and Games in Training and Development: Status and Concerns about their Use*. Simulation and Games, Volume 18, Number 3.
- Jacobson, L. (1991). *Virtual Reality: A Status Report*. AI Expert, pp. 26-33, Aug.
- Jacobson, L. (1994). *Realidade Virtual em Casa*. Tradução PIREs, S.B.C.; Berkeley Brasil Editora.
- Jeffries, M. (2000). *Research in distance education*. <http://www.ihets.org/consortium/ipse/fdhandbook/resrch.html>
- Kalawsky, R. (1993). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Addison-Wesley, Workingham, UK.
- Keppell, M., Macpherson, C. (1997). *Is the Elephant Really There? - Virtual Reality in Education*. <http://www.ddce.cqu.edu.au/ddce/confsem/vr/present.html>.
- Kirner, C. (2000). *Sistemas de Realidade Virtual*. Grupo de Pesquisa em Realidade Virtual. Departamento de Computação – UFSCar. <http://www.dcc.ufscar.br/~grv>
- Krueger, M. W. (1991). *Artificial Reality II*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Kolasinski, E. M., Gilson, R. D. (1999). *Ataxia following exposure to a virtual environment*. Aviat Space Environ Med; 70:264-9.
- Kubo, M. M.; Derrigi Jr., F. V.; Kirner, C.; Sementille, A.; Brega, J. R. F. (2000). *Interação nos Ambientes Virtuais Colaborativos de Encino*. 3rd Workshop on Virtual Reality, Gramado-RS, Brasil.
- Lawhead, P. B.; Alpert, E.; Bland, C. G.; Carswell, L.; Cizmar, D.; DeWitt, J.; Dumitru, M.; Fahraeus, E. R.; Scott, K. (1997). *The Web and Distance Learning: What is Appropriate and What is Not*. Relatório do ITiCSE'97 Working Group on the Web and Distance Learning.
- Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (1996). *Lei 9394/96*
- Lucena, C. et al. (1998). *AulaNet – An Environment for the development and maintenance of courses on the Web*. International Conference on Engineering Education – ICEE 98. Rio de Janeiro
- Lucena, M. (1997). *Um modelo de escola aberta na Internet: O projeto KidLink no Brasil*. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro, RJ: COPPE/Sistemas/UFRJ
- Lucena, M. (1999). *Comunidades dinâmicas para o aprendizado na Internet*. Revista Brasileira de Informática na Educação, No. 02
- Macedonia, M. R.; Brutzaman, D. P.; Zyda, M. J.; Pratt, D. R.; Braham, P. T.; Falby, J.;

- Locke, J. (1995). *NPSNET: A Multy-Player 3D Virtual Environment Over the Internet*. Procedures of Symposium on Interactive 3D Graphics, ACM, New York.
- Macedonia, M. R.; Zyda, M. J.; Pratt, D. R.; Barham, P. T.; Zestwitz (1994). *NPSNET: A Network Software Architecture for Large-Scale Virtual Environments*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 3, No. 4.
- Macedonia, M. R.; Zyda, M. J.; Pratt, D. R.; Brutzaman, D. P.; Braham, P. T. (1995). *Exploiting reality with multicast groups*. IEEE Computer Graphics & Applications, Setembro de 1995, EUA.
- Machado, L. S. (1995). *Conceitos Básicos da Realidade Virtual*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Malheiros, R. M. (1992). *FEPLAM: uma escola sem paredes*. O Comunitário, FEPLAM, 29^a edição, maio/junho.
- Malone, T. W.; Lepper, M. R. (1984). *Making Learning Fun: A Taxonomy of Intrinsic Motivations for Learning*. Em Snow, R. E.; Farr, M. J. (Eds.) *Aptitude, Learning and Instruction*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Mapes, D. P.; Moshell, J. M. (1995). *A Two-Handed Interface for Object Manipulation in Virtual Environments*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 4, No. 4.
- Mesquita, M.E.S.; Lúcio, M.E. (1992). *Televisão Educativa do Ceará – 18 anos: uma experiência que vem dando certo*. Educação a Distância n°. 1, junho 1992, Brasília, INED <http://www.colegioeinsteim.com.br/ivonio1.html>
- Mine, M. R. (1997). *ISAAC: A Meta-CAD System for Virtual Environments*. Computer-Aided Desing.
- Moura Filho, C.O.; Oliveira, M. (1998). *Videoconfeência em educação à distância*. Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, Brasil.
- Mugridge, I. (1991). Distance education and the teaching of science. *Impact of Science* 41 4,313-320
- Müleer, S. M. (2000). *Videoplac* by Myron Krueger. <http://193.170.192.5/prix/1990/E90gnI-videoplac.html>.
- Nunes, I. B. (2000). *Noções de Educação a Distância*. <http://www.intelecto.net/ead/ivonio1.html>
- Ohya, J.; Kitamura, Y.; Kishino, F.; Terashima, N. (1995). *Virtual Space Teleconferencing*:

- Real-Time Reproduction of 3D Human Images*. Journal of Visual Communications and Image Representation, Vol. 6, No. 1.
- Oliveira, J. C.; Franklin, M.; Nascimento, A.; Vidal, M. (1998). *Introdução à Gerência de Redes ATM*. Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, Brasil.
- Oliveira, J.C.; Soares, L.F.G. (1996). *TVS – Um sistema de videoconferência com documentos compartilhados sobre a arquitetura HyperProp*. II Workshop em Sistemas HiperMídia, VIV SBRC – Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, Fortaleza, Ce
- Open University (2000). *United Kingdom and Distance Learning*. <http://www.open.ac.uk>.
- Pausch, R.; Snood, J.; Taylor, R.; Watson, S.; Haseltine, E. (1996). *Disney's Alladin: First Steps Toward Storytelling in Virtual Reality*. Proceedings of SIGGRAPH'96.
- Penn State University (2000). *Pennsylvania State and Distance Learning*. <http://www-icdl.open.ac.uk/icdl/export/northam/unitedst/pennsylvi/inst>
- Pequeno, M. (1998). *Infra-Estrutura Física e Tecnológica para Rede de Videoconferência do Estado do Ceará*. Projeto submetido à FINEP.
- Pimentel, K.; Teixeira, K. (1995). *Virtual Reality – through the new looking glass*. 2ª edição New York, McGraw-Hill.
- Pope, A. R.; Schaffer, R. L. (1991). *The SIMNET Network and Protocols*. BBN Systems and Technologies Corporation 7627.
- Pratt, D. R.; Pratt, S. M.; Barham, R. E., Waldrop, M. S., Ehlert, J. F.; Chrislip, C. A. (1997). *Humans in Large-Scale, Networked Virtual Environments*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 6, No. 5.
- Projeto Professor Virtual (2000). <http://www.dc.ufscar.br/~grv/pvirtual.htm>
- Quarttiero, E.M. (1999). *As tecnologias da informação e comunicação e a educação*. Revista Brasileira de Informática na Educação, No. 04
- Regian, J. W.; Shebilske, W.; Monk, J. (1992). *A Preliminary Empirical Evaluation of Virtual Reality as a Training Tool for Visua-Spatial Tasks*. Journal of Communication 42.
- Reiser, R. A. (1987). *Instructional technology: a history*. Em R. Gagne (Ed.), *Instructional technology: foundations*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum
- Resolução n.º 3/97 da Câmara de Educação Básica do Conselho Nacional de Educação.
- Rezende, N. A.; Braga, L. C. M (2000). Projeto AVAL – Ambientes Virtuais para a

- Aprendizagem de Línguas, ProTem-CC/CNPq.
- Rohlf, J.; Helman, J. (1994). *IRIS Performer: A High Performance Multiprocessing Toolkit for Real-Time 3D Graphics*. Procedures of SIGGRAPH'94.
- Rolim, E. M. (2000). Projeto VDL – Virtual Distance Learning, ProTem-CC/CNPq.
- Rose, H.; Billinghamurst, M. (1995). “Zengo Sayu”: Na Immersive Educational Environment for Learning Japanese. Seattle, WA: HITL Technical Report.
- Rothbaum, B.; Hodges, L.; Kooper, R.; Opdyke, D.; Williford, J.; North, M. (1996). *Effectiveness of computer-generated (virtual reality) graded exposure in the treatment of acrophobia*. American Journal of Psychiatry, Vol. 152, No. 4.
- Salzman, M. C.; Dede, C.; Loftin, R. B. (2000). *Learner-Centered Design of Sensorily Immersive Microworld Using a Virtual Reality Interface*.
<http://www.vetl.vh.edu/ScienceSpace/learnvir.html>
- Santos, N. (1999). *Estado da arte em espaços virtuais de ensino e aprendizagem*. Revista Brasileira de Informática na Educação, No. 02
- Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará (2000). *Infovias do Desenvolvimento*.
<http://www.sct.ce.gov.br/fr-infovia.htm>
- SENAI (s/d). *Auto-instrução com monitoria*. São Paulo, SENAI, Divisão de Material Didático.
- Shale, D.G. (1988). *Toward a reconceptualization of distance education*. The American Journal of Distance Education, 2 (3), 25-35
- Shaw, C.; Green, M. (1993). *The MR Toolkit Peers Package and Experiments*. Procedures of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium.
- Singh, G.; Serra, L.; Png, W.; Ng, H. (1995). *BrickNet: Sharing Object Behaviours on the Net*. Procedures of IEEE VRAIS'95.
- Singhal, S.; Zyda, M. (1999). *Networked Virtual Environments – Design and Implementation*. Addison Wesley, USA.
- Slater, M.; Ush, M.; Steed, A. (1994). *Depth of presence in virtual environments*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 3, No. 2.
- Slater, M.; Usoh, M. (1994). *Body Centered Interaction in Immersive Virtual Environments*. Artificial Life and Virtual Reality. John Wiley, Chichester.
- Slater, M.; Usoh, M.; Benford, S.; Brown, C.; Rodden, T.; Smith, G.; Wilbur, S. (1996). *Distributed Extensible Virtual Reality Laboratory (DEVRL)*. Virtual Environments

- and Scientific Visualization'96, Springer, Nova York.
- Smith, D. A. (1991). *Virtual Reality: Promises and Problems*. Virtus Corporation, http://nautilus.fis.uc.pt/read_c/RV/informa/ni.htm
- Spodick, E.F. (1995). *The evolution of distance learning*. Hong Kong University of Science & Technology
- Stallings, W. (1998). *High-Speed Networks TCP/IP and ATM Design Principles*. Prentice Hall, E.U.A.
- Stereoscopic Dinosaur (2000). *The Dinosaur Interplanetary Gazette*. <http://www.dinosaur.org/3ddino2.htm>
- Stytz, M. R. (1996). *Distributed Virtual Environments*. IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 16, No. 33, pp. 19-31.
- Tanenbaum, A. S. (1995). *Distributed Operating Systems*. Prentice Hall, EUA.
- Taylor, R. M.; Robinnet, W.; Chi, V. L.; Brooks, F. P. Jr, Wright, W. W.; Williams, S.; Snyder, E. J. (1993). *The Nanomanipulator: A Virtual Reality Interface for a Scanning Tunnelling Microscope*, Procedures of SIGGRAPH'93.
- Telepresence.com (2000). *Sensorama by Morton Heilig (1965)*. <http://www.telepresence.com/org/sensorama/>
- Tromp, J. G. (1995). *Presence, Telepresence and Immersion: The Cognitive Factors of Embodiments and Interaction in Virtual Environments*. Procedures of FIVE'95, Londers.
- Turoff, M. (1995). *Designing a Virtual Classroom*. 1995 International Conference on Computer Assisted Instruction – ICCAI'95, Taiwan.
- Universal Time (2000). *UniversalTime.org: Promoting a metric based system*. <http://www.ucaid.eu/ucaid>.
- Vidal Arquitetos S/C Ltda.(2000). *Projeto do Departamento de Novo Departamento de Computação da Universidade Federal do Ceará*.
- Vidal, C. (1999). *Projeto AVAL – Ambientes Virtuais para o Aprendizado de Línguas*. ProTeM-CC/CNPq
- Vidal, C. A.; Leite Jr., A. J. M.; Almendra, C. C.; Santos, E. M.; Oliveira, J. P. C. (2000). *Uma Proposta de Integração de Ferramentas Externas a Ambientes Virtuais através de Simulóides e Aplicações Mediadoras*. 3rd Workshop on Virtual Reality, Gramado-RS, Brasil.

- Voice Connections (2000). *Let's do Business*. <http://194.6.100.3/voice.html>
- von Schweber, E. (1998). *Escape from VRML Island*. VRML Consortium Enterprise Technology Working Group SIGGRAPH 98. <http://www.infomaniacs.com/SQL3D/SQL3D-Escape-From-VRML-Island.htm>.
- Webopaedia (2000). *Streaming*. Webopaedia. <http://webopedia.internet.com/TERM/s/streaming.html>
- Welch, R. B.; Blackmon, T. T.; Liu, A.; Mellers, B. A.; Stark, L. W. (1996). *The Effects of Pictorial Realism, Delay of Visual Feedback, and Observer Interactivity on the Subjective Sense of Presence*. *Presence*, Vol. 5, No. 3.
- Welsch, L. A. (1982). *Using Electronic Mail as a Teaching Tool*. *Communications of the ACM*, 25 (2).
- Whipple, W. R. (1987). *Collaborative Learning: Recognizing it When We See It*. *Bulletin of the American Association for Higher Education*, 40, (2)
- Wickens, C. (1992). *Virtual Reality and Education*. *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 1, New York: IEEE Press.
- Wilson, J. R.; Brown, D. J.; Cobb, S. V. D'Cruz, M. M.; Eastgate, R. M. (1995). *Manufacturing Operations in Virtual Environments (MOVE)*. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 4, No. 3.
- Wright, S.J. (1991). *Opportunity lost, opportunity regained: university independent in the modern era*. Em Watkins & Wright (Eds.), *The foundations of American education: a century of collegiate correspondence study*. Dubuque: Kendall/Hunt
- Yoakam, M. (1996). *Distance learning: an introduction*. http://www.ihets.org/distance_ed/ipse/fdhandbooks/dist_lrn.html
- Youngblut, C. (1998). *Educational Uses of Virtual Reality Technology*, Institute for Defense Analyses.
- Zyda, M.; Sheehan, J. (Eds) (1997). *Modeling and Simulation: Linking Entertainment and Defense*. National Academy Press.