

Marcelo Knörich Zuffo

**A Convergência da Realidade Virtual  
e Internet Avançada em Novos  
Paradigmas de TV Digital Interativa**

*São Paulo  
Julho de 2001*

Marcelo Knörich Zuffo

**A Convergência da Realidade Virtual  
e Internet Avançada em Novos  
Paradigmas de TV Digital Interativa**

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para Concurso de  
Livre Docência Junto ao Departamento de  
Engenharia de Sistemas Eletrônicos

Especialidade: Meios Eletrônicos Interativos

*São Paulo  
Julho de 2001*

Zuffo, Marcelo Knörich

A Convergência da Realidade Virtual e Internet Avançada em  
Novos Paradigmas de TV Digital Interativa, 2001, 91p.

Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo, Departamento de Engenharia de Sistemas  
Eletrônicos.

1. Realidade Virtual, 2. TV Digital, 3. Internet Avançada. I.  
Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. Departamento de  
Engenharia de Sistemas Eletrônicos. II. d.

## Dedicatória

"De tudo, ao meu amor serei atento  
Antes, e com tal zêlo, e sempre, e tanto  
Que mesmo em face do maior encanto  
Dele se encante mais meu pensamento.

Quero vivê-lo em cada vão momento  
E em seu louvor hei de espalhar meu canto  
E rir meu riso e derramar meu pranto  
Ao seu pesar ou seu contentamento.

E assim, quando mais tarde me procure  
Quem sabe a morte, angústia de quem vive  
Quem sabe a solidão, fim de quem ama  
Eu possa me dizer do amor (que tive):  
Que não seja imortal, pôsto que é chama  
Mas que seja infinito enquanto dure".<sup>1</sup>

**à minha esposa Roseli de Deus Lopes.**

---

<sup>1</sup> Soneto à Fidelidade, Vinícius de Moraes

## Agradecimentos

Atuar em pesquisa e desenvolvimento numa área de constantes evoluções e inovações tecnológicas é uma tarefa árdua e trabalhosa. Novos sistemas, novas publicações, evoluções de conceitos e rápida obsolescência de tecnologias são parte do cotidiano de um pesquisador nesta área. A escrita e a atualidade desta tese foi possível graças aos projetos desenvolvidos junto ao Grupo de Computação Visual e Meios Eletrônicos Interativos do Laboratório de Sistemas integráveis (LSI) da USP.

O apoio de várias pessoas foi fundamental para que em momentos críticos as dificuldades fossem superadas com motivação e entusiasmo.

Gostaria de agradecer à minha família, Roseli, Leandro e Letícia, razão principal da minha existência, por todos os momentos que abdiquei de estar com vocês em função deste projeto.

Ao meu pai, Prof. Dr. João Antonio Zuffo, pelo exemplo de espírito científico, determinação e otimismo inveterado na Ciência e Tecnologia no Brasil.

Ao Prof. Dr. Antonio Marcos de Aguirra Massola, por acreditar no potencial da CAVERNA Digital para as Engenharias e para a Escola Politécnica da USP.

Ao Prof. Dr. Wilhelmus Van Noije pelo incentivo à realização desta tese.

Aos meus orientandos e orientados: Alice Bacic, Daniel Wey, Paulo Blisktein, Fábio Ayres, Marco Antonio dal Poz, Paulo Bressan, Ricardo Bittencourt, Celso Kurashima, Liliane Machado, Bruno Gnecco, Glauco Todesco, Marcelo Paiva Guimarães e Isla Felix por todos os momentos de discussão, criação e debate.

Aos colegas de projeto do LSI, Regis Rossi, Adilson Hira e Márcio Cabral, por acreditarem na possibilidade de se desenvolver e transferir tecnologia para a sociedade brasileira.

À equipe que literalmente construiu a CAVERNA, Luciano Soares, Anelise Stein e Lídio Lima, que provaram a mim mesmo o poder de uma visão.

Ao Paulo Bressan e à Roseli pelas inúmeras e detalhadas revisões deste texto.

Ao pessoal da administração do LSI, Ana, Celina, Eliane, Márcio, Jaqueline, Edvaldo e Flávia, sempre prontos nas horas mais críticas.

Ao Eng. Juberto e equipe de serviços gerais da Escola Politécnica, sem os quais a empreitada da construção da CAVERNA Digital não teria sido possível.

E finalmente, a todas as pessoas do Laboratório de Sistemas Integráveis, da Escola Politécnica e da USP, aqui não mencionadas, mas que contribuíram de alguma forma para que os desenvolvimentos apresentados nesta tese fossem concretizados.

# Financiamento

Os trabalhos relatados nesta tese foram possíveis graças ao financiamento a projetos e a bolsas fornecidos pelas seguintes instituições:

- FINEP Financiadora de Estudos e Projetos,
- FAPESP Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
- Comissão da Comunidade Europeia
- Intel do Brasil,
- NEC do Brasil / CPDIA,
- ABC-BULL.

## Resumo

Atualmente, observamos uma rápida e inexorável introdução e disseminação de tecnologias da informação nas várias camadas populacionais e nos diversos setores da sociedade. Praticamente todas as atividades da sociedade moderna estão sofrendo modificações profundas face à revolução digital tais como o trabalho, a educação, a saúde, a arte e a cultura, dentre outras. A plataforma desta revolução foi a Internet, que se expandiu vertiginosamente a partir da constatação pela sociedade de que ela não era apenas uma ferramenta confinada ao uso exclusivo da comunidade científica. A Internet foi um passo importante no acesso democrático, generalizado e universal à informação, assim como no passado havia sido a introdução do rádio e da TV. Com a introdução gradativa da TV Digital a médio prazo (entre 2005 e 2010), espera-se uma verdadeira transformação do atual conceito conhecido de TV a partir da convergência intensa com a Internet avançada (fixa e móvel) e do desenvolvimento de meios eletrônicos interativos minimamente invasivos (dispositivos portáteis, interfaces naturais, microsensores e atuadores).

O objetivo geral deste trabalho é o estabelecimento de uma visão da convergência da realidade virtual e da Internet avançada em novos paradigmas de TV Digital. Para tanto, três sistemas são apresentados: A CAVERNA Digital, o Multicomputador Gráfico PLÊIADES, e a Família de Set-Top-Boxes Reconfiguráveis. A CAVERNA Digital é um ambiente de multiprojeção estereoscópico voltado para aplicações imersivas de realidade virtual, a nossa expectativa é que em alguns anos este tipo de tecnologia possa estar incorporada ao cotidiano doméstico. O Multicomputador Gráfico PLÊIADES é uma proposta de arquitetura alternativa aos supercomputadores gráficos disponíveis atualmente e suportam computacionalmente a CAVERNA Digital. Com a constante evolução da microeletrônica, acreditamos que a arquitetura aqui proposta possa ser significativamente miniaturizada e disponibilizada nas diversas aplicações das CAVERNAs Digitais. A Família de Set-Top-Boxes Reconfiguráveis é uma proposta de plataforma de TV Digital considerando a convergência dos futuros padrões de transporte de distribuição de mídia e os vários serviços de TV Digital interativa. A proposta de uma família de Set-Top-Boxes considera a evolução destes dispositivos integrando uma capacidade computacional equivalente ao multicomputador PLÊIADES suportando, no ambiente doméstico, o desempenho requerido pelas CAVERNAs Digitais.

# Sumário

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1	Apresentação.....	2
1.2	Objetivo.....	5
1.3	Motivação.....	5
1.4	Relevância.....	6
1.5	Histórico.....	6
1.6	Estrutura da Tese.....	7
1.7	Bibliografia do Capítulo.....	8
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>Estado da Arte em Meios Eletrônicos Interativos .....</b>	<b>9</b>
2.1	Meios Eletrônicos Interativos.....	10
2.2	Realidade Virtual .....	16
2.3	Internet Avançada.....	18
2.4	Panorama dos Sistemas de TV no Brasil.....	20
2.5	Padrões de TV Digital.....	23
2.6	O Padrão MPEG-4.....	24
2.7	Conclusões .....	30
2.8	Bibliografia do Capítulo.....	31
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>CAVERNA Digital .....</b>	<b>35</b>
3.1	Introdução.....	36
3.2	Descrição Geral .....	36
3.3	Aspectos Arquitetônicos e Estruturais.....	37
3.4	O Superservidor Gráfico SGI Onyx 3000 Infinity Reality 3.....	39
3.5	Ambiente de Programação.....	39
3.6	Sistema de Multiprojeção .....	41
3.7	Sistema de Imagens Estereoscópicas .....	42
3.8	Rastreamento de Posição .....	42
3.9	Sistema de Gerenciamento .....	43
3.10	Conclusões .....	46
3.11	Bibliografia do Capítulo.....	47
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>O Multicomputador Gráfico PLÊIADES .....</b>	<b>48</b>
4.1	Introdução.....	49
4.2	Histórico.....	50

4.3	Arquitetura do Multicomputador Gráfico PLÊIADES .....	53
4.4	Ambientes de Programação de Multicomputadores Gráficos .....	54
4.5	A Biblioteca de Sincronização DICElib .....	67
4.6	Conclusões .....	68
4.7	Bibliografia do Capítulo.....	69
<b>CAPÍTULO 5 Proposta de um Set-Top-Box Digital Reconfigurável .....</b>		<b>74</b>
5.1	Introdução .....	75
5.2	Evolução do Set-Top-Box.....	75
5.3	Relevância .....	76
5.4	O Set-Top-Box Digital Reconfigurável.....	78
5.5	Arquitetura Proposta .....	81
5.6	Aplicações Multimídia Bi-direcionais sobre o Set-Top-Box.....	84
5.7	Conclusões .....	85
5.8	Bibliografia do Capítulo.....	86
5.9	Referências na Internet .....	87
<b>CAPÍTULO 6 Conclusões e Trabalhos Futuros.....</b>		<b>88</b>

# Índice de Figuras

FIGURA 1-1 - NÚMERO DE COMPUTADORES NO MUNDO.....	4
FIGURA 2-1 - ÓCULOS POLARIZADOR ESTEREOSCÓPICO MULTIPLEXADOR DE IMAGENS NO TEMPO .....	11
FIGURA 2-2 - PROJETER CRT ELECTROHOME MARQUEE 9500 LC .....	13
FIGURA 2-3 - SIMULADOR DE TRANSPLANTE DE MEDULA [MACHADO01] .....	16
FIGURA 2-4 - SIMULADOR DE SUTURA BASEADO EM REALIDADE VIRTUAL .....	17
FIGURA 2-5 - PROTOTIPAGEM DIGITAL DO INTERIOR DE UM VEÍCULO .....	18
FIGURA 2-6 – ESQUEMA DE TRANSMISSÃO UTILIZADO EM TV A CABO .....	22
FIGURA 2-7 – ESQUEMA DE TRANSMISSÃO UTILIZADO EM MMDS .....	22
FIGURA 2-8 – ESQUEMA DE TRANSMISSÃO UTILIZADO EM DBS / DTH .....	23
FIGURA 2-9 - ARQUITETURA DO MPEG-4 .....	25
FIGURA 2-10 - ALTERANDO UMA CENA ATRAVÉS DE COMANDOS BIFS .....	28
FIGURA 3-1 - LEIAUTE DA CAVERNA DIGITAL .....	37
FIGURA 3-2 - LEIAUTE EM PLANTA BAIXA DA CAVERNA DIGITAL 1º ANDAR.....	38
FIGURA 3-3 - INFRAESTRUTURA COMPUTACIONAL DA CAVERNA DIGITAL .....	39
FIGURA 3-4 - A CAVERNA DIGITAL E ESTAÇÃO DE CONTROLE ORION .....	43
FIGURA 3-5 - TELA DA INTERFACE DE GERENCIAMENTO SIRIUS.....	44
FIGURA 3-6 - USUÁRIO NO AMBIENTE IMERSIVO DA CAVERNA DIGITAL .....	45
FIGURA 4-1 - NÓ TRANSPUTADOR T800 COM 4MBYTES DE RAM .....	51
FIGURA 4-2 - O SISTEMA TRGR-01.....	51
FIGURA 4-3 - MULTICOMPUTADOR GRÁFICO MEIKO -CS2 .....	52
FIGURA 4-4 - ARQUITETURA DO MULTICOMPUTADOR GRÁFICO PLÊIADES .....	53
FIGURA 4-5 - IMAGENS DO VISIBLE HUMAN DATASET OBTIDAS A PARTIR DE PLACAS ACELERADORAS ESPECIALIZADAS VOLUME PRO-VP500 .....	55
FIGURA 4-6 – ARQUITETURA DO SISTEMA DE VISUALIZAÇÃO DISTRIBUÍDO BASEADO EM VRML .....	59
FIGURA 4-7 – INTERPRETADOR .....	60
FIGURA 4-8 - PROPOSTA DE ARQUITETURA CONVERGENTE MPEG-4 PLÊIADES .....	63
FIGURA 4-9 - POSSÍVEL ESTRUTURA MANIPULADA PELA ESTAÇÃO SERVIDORA .....	65
FIGURA 4-10 - EXEMPLO DOS FLUXO RECEBIDOS POR UM CLIENTE, CONFORME AS CARACTERÍSTICAS DEFINIDAS PELO SERVIDOR. ....	66
FIGURA 4-11 - DESEMPENHO DA DICELIB.....	67
FIGURA 5-1- ARQUITETURA DO SET-TOP-BOX DIGITAL RECONFIGURÁVEL .....	82
FIGURA 5-2 - FOTO DO PROTÓTIPO DO 1º SET-TOP-BOX DIGITAL .....	83
FIGURA 5-3 - NAVEGADOR FLY-BROWER 1.0 .....	84
FIGURA 5-4 - DUAS APLICAÇÕES JAVA PARA MÍDIA-SOB-DEMANDA EM SET-TOP-BOXES .....	85

## Índice de Tabelas

TABELA 1-1- DISSEMINAÇÃO DA TELEVISÃO NO BRASIL.....	2
TABELA 1-2 - NÚMERO DE TELEVISORES EM ALGUNS PAÍSES DO MUNDO. ....	3
TABELA 2-1 - FORMATOS E RESOLUÇÕES DE SISTEMAS DE EXIBIÇÃO DE IMAGENS.....	12

## Abreviações

8-VSB	<i>8 Channel Vestigial Side Band</i>
AAL2	<i>ATM Adaptation Layer 2</i>
ABERT	Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e TV
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ATM	<i>Assynchronous Transfer Mode</i>
ATSC	<i>Advanced Television Systems Committee</i>
BIFS	<i>Bindary Format for Scenes</i>
CORBA	<i>Common Object Request Broker</i>
CRT	<i>Cathode Ray Tubes</i>
DAB	<i>Digital Audio Broadcast</i>
DBS	<i>Direct Broadcasting Satellite</i>
DLP	<i>Digital Lighting Processing</i>
DMD	<i>Digital Micromirror Devices</i>
DSM	<i>Distributed Shared Memory</i>
DTH	<i>Direct To Home</i>
DTV	<i>Digital Television</i>
DVB	<i>Digital Video Broadcasting</i>
DVRML	<i>Distributed Virtual Reality Modeling Language</i>
HDTV	<i>High Definition Television</i>

HFC	<i>Hybrid Fibex Coax</i>
HMD	<i>Head Mounted Display</i>
HTML	<i>Hyper Text Markup Language</i>
HTML	<i>HypeText Markup Language</i>
HTTP	<i>HypeText Transfer Protocol</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISDB	<i>Integrated Services Digital Broadcast</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LMDS	<i>Local Multipoint Distribution System</i>
MMDS	<i>Multi-channel Multipoint Distribution Service</i>
MPEG	<i>Motion Picture Expert Group</i>
MVDS	<i>Multichannel Video Distribution System</i>
MVDS	<i>Multichannel Video Distribution System</i>
O-STB	<i>Optical Set-Top-Box</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RTP	<i>Remote Transfer Protocol</i>
SL	<i>Synchronization Layer</i>
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i>
STB	<i>Set-Top-Box</i>
STBD	<i>Set-Top-Box Digital</i>

STBR	<i>Set-Top-Box Reconfigurável</i>
TCP	<i>Transfer Control Protocol</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>
VRML	<i>Virtual Reality Modeling Language</i>

## Notação

Abaixo descrevemos a notação utilizada nesta tese:

A) Termos em inglês onde não se encontrou tradução direta ao português até o momento da escrita da tese serão apresentados em itálico.

Exemplo: *tracking*

B) Termos em inglês traduzidos serão apresentados à direita do termo em português em itálico e entre parênteses.

Exemplo: rastreamento (*tracking*)

C) Quando for definido um novo termo, este será apresentado em negrito.

Exemplo: **rastreamento** é o mecanismo de determinação de posição do usuário no interior do sistema.

D) Citações à bibliografia serão apresentadas entre colchetes, a ordem de citação segue a regra: nome do primeiro autor em letras maiúsculas concatenado ao ano de publicação.

Exemplo: [SUTHERLAND97]

# CAPÍTULO 1 Introdução

---

"Todas as coisas tem seu tempo e todas passam debaixo do céu segundo o termo  
que a cada uma foi prescrito.  
Há tempo de nascer e tempo de morrer.  
Há tempo de plantar e tempo de arrancar o que se plantou.  
Há tempo de adoecer e tempo de sarar.  
Há tempo de destruir e tempo de edificar.  
Há tempo de chorar e tempo de rir.  
Há tempo de se afligir e tempo de saltar de gosto.  
Há tempo de espalhar pedras e tempo de as ajuntar.  
Há tempo de dar abraços e tempo de se pôr longe deles.  
Há tempo de adquirir e tempo de perder.  
Há tempo de guardar e tempo de lançar fora.  
Há tempo de rasgar e tempo de coser.  
Há tempo de calar e a tempo de falar.  
Há tempo de amar e tempo de ódio.  
Há tempo de guerra e tempo de paz."

**Kohelet, 3**

## 1.1 Apresentação

Podemos observar atualmente uma rápida e inexorável introdução e disseminação da tecnologia da informação nas várias camadas populacionais e nos diversos setores da sociedade. Praticamente todas as atividades da sociedade moderna estão sofrendo modificações profundas face à revolução digital tais como o trabalho, a educação, a saúde, a arte e a cultura, dentre outras.

A plataforma desta revolução foi a Internet, que se expandiu vertiginosamente a partir da constatação pela sociedade de que ela não era apenas uma ferramenta confinada ao uso exclusivo da comunidade científica. A Internet foi um passo importante no acesso democrático, generalizado e universal à informação, assim como no passado haviam sido a introdução do rádio e da TV.

Ao longo da década de 90, observamos como a Internet modificou radicalmente setores tradicionais da mídia como: o jornalismo impresso, o mercado editorial, e o mercado fonográfico. Sendo que o setor de televisão permaneceu praticamente estagnado, talvez pelo legado da atual infraestrutura mundial de televisão analógica que contempla uma média de disseminação residencial superior a 90% nas áreas urbanas, como mostra a Tabela 1-1 [VERDE00].

	Área Urbana	Área Rural	Total
<b>Brasil</b>	<b>92,67</b>	<b>58,41</b>	<b>86,21</b>
Norte	85,81	ND	ND
Nordeste	87,18	44,43	72,29
Sudeste	95,66	71,84	93,20
Sul	93,53	79,54	90,65
Centro-Oeste	90,50	59,02	84,80

Base Nacional: 40.644.623 domicílios (32.980. 372 urbanos e 7.664.251 rurais)  
Fontes: IBGE/Simonsen Associados, BRASIL EM EXAME, 1999 - Ed. 700

**Tabela 1-1- Disseminação da Televisão no Brasil**

A partir da segunda metade da década de 90, entretanto, observamos um esforço da comunidade científica e tecnológica no estabelecimento de novos padrões de TV Digital: o Padrão ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) Norte Americano, o Padrão DVB (*Digital Video Broadcasting*) Europeu, e o Padrão ISDB (*Integrated Services Digital Broadcasting*) Japonês. Dentre as várias inovações introduzidas por estes padrões podemos

citar a modulação digital de sinal (e a natural melhoria de qualidade de imagem/áudio), a mobilidade permitindo o desenvolvimento de aplicações de TV embarcada, as transações bidirecionais de informação multimídia e a maior definição de imagem HDTV (*High Definition Television*).

<b>País/Região</b>	<b>Casas com TV (milhões)</b>	<b>Número de Aparelhos de TV (milhões)</b>
Brasil	37	54
Mercosul	47	67
Chile	3	4
América do Sul	65	90
Estados Unidos	100	231
México	18	25
Canadá	12	22
América do Norte	130	278
Continente Americano	205	377

**Tabela 1-2 - Número de Televisores em Alguns Países do Mundo.**

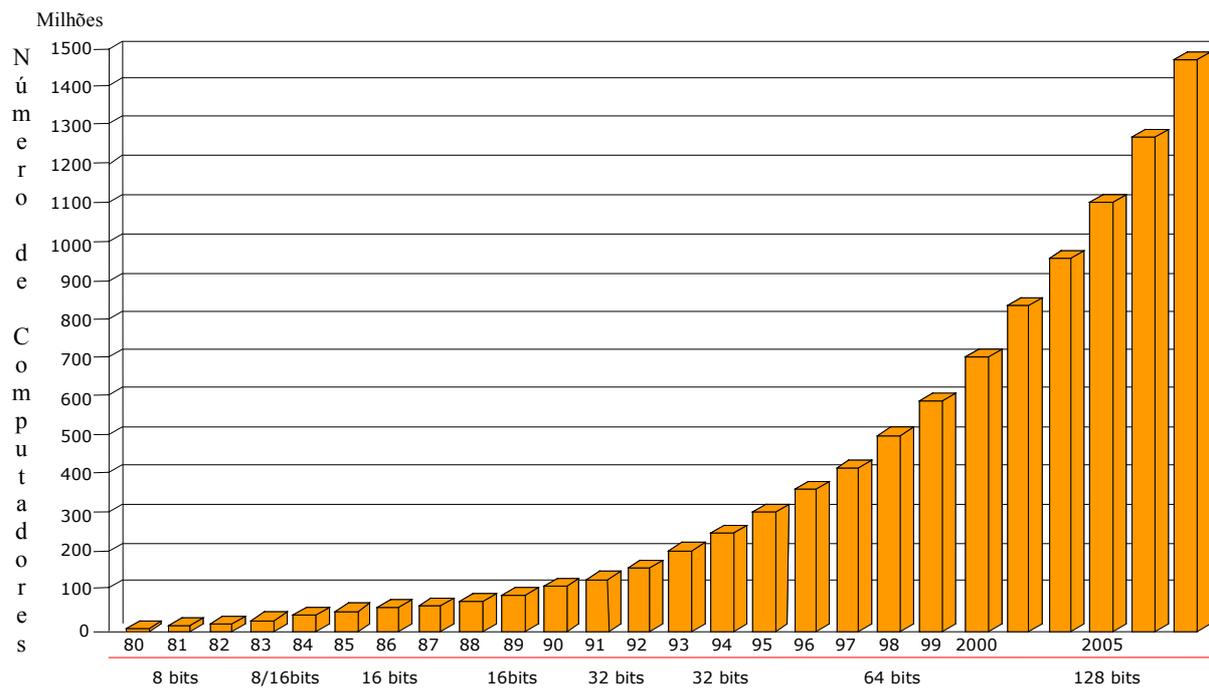
De acordo com a agenda estabelecida pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), discussões realizadas na ABERT (Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e Televisão) e seguindo uma tendência mundial, espera-se num futuro próximo (entre 2001 e 2005) a introdução e a expansão da TV Digital no Brasil. Alguns especialistas consideram que a introdução desta tecnologia no país pode movimentar um mercado superior a R\$ 100 bilhões nos próximos 5 anos, considerando a gradual substituição da infraestrutura atualmente disponível que contempla aproximadamente 1 bilhão de televisores no mundo, (Tabela 1-2 [ANATEL01]), sendo que o Brasil possui da ordem de 54 milhões de televisores.

Com a introdução gradativa da TV Digital a médio prazo (entre 2005 e 2010), espera-se uma verdadeira transformação do atual conceito conhecido de TV a partir da convergência intensa com a Internet avançada (fixa e móvel) e o desenvolvimento de meios eletrônicos interativos minimamente invasivos (dispositivos portáteis, interfaces naturais, microsensores e atuadores).

Entre as inovações esperadas destacamos a grande capacidade bidirecional de intercâmbio de dados multimídia; o relacionamento mais sensível, personalizado e intuitivo entre o usuário e a TV/Internet; a individualidade no acesso à informação; e a integração de multiserviços à TV/Internet como a automação doméstica, segurança, telejogos, teleducação, telemedicina, telecomércio, dentre outros.

Simultaneamente nas duas últimas décadas, os microcomputadores pessoais rapidamente ocuparam seu espaço na sociedade moderna.

A Figura 1-1 apresenta a evolução da base mundial de computadores pessoais e a sua respectiva projeção para os próximos anos [ZUFFO97b]. Podemos observar por este gráfico que praticamente em 2002 a quantidade de televisores vai se igualar à quantidade de microcomputadores no mundo. Consideramos que esta massa crítica de microcomputadores disponíveis será também um fator de convergência destes dois tipos de equipamentos.



**Figura 1-1 - Número de Computadores no Mundo**

Do ponto de vista do usuário podemos citar Dick Notebaert, CEO da Ameritech, "A redefinição da televisão ocorrerá quando as pessoas exigirem estímulos em lugar de vida vegetativa, quando pararem de ver e começarem a usar seus televisores". Recentemente podemos perceber alguns passos na convergência da televisão e do computador: o surgimento do DVD, a disputa mundial pelo estabelecimento de padrões de TV Digital, o desenvolvimento de televisores de tela plana e o desenvolvimento de sistemas de projeção baseados em semicondutores.

## **1.2 Objetivo**

O objetivo geral deste trabalho é o estabelecimento de uma visão da convergência da realidade virtual e Internet em novos paradigmas de TV Digital.

Os objetivos específicos deste trabalho relacionam-se com a proposta e o desenvolvimento de sistemas baseados em meios eletrônicos interativos capazes de propiciar esta convergência.

Para tanto, três sistemas são apresentados: A CAVERNA Digital, o Multicomputador Gráfico PLÊIADES, e a Família de Set-Top-Boxes Reconfiguráveis.

A CAVERNA Digital é um ambiente de multiprojeção estereoscópico voltado para aplicações imersivas da realidade virtual. A nossa expectativa é de que em poucos anos a tecnologia avançada das CAVERNAs Digitais possa estar incorporada ao cotidiano doméstico.

O Multicomputador Gráfico PLÊIADES é uma proposta de arquitetura alternativa aos supercomputadores gráficos disponíveis atualmente. Hoje, as PLÊIADES suportam computacionalmente a CAVERNA Digital. Com a constante evolução da microeletrônica, acreditamos que a arquitetura aqui proposta possa ser significativamente miniaturizada e disponibilizada nas diversas aplicações das CAVERNAs Digitais.

A Família de Set-Top-Boxes Reconfiguráveis é uma proposta de plataforma de TV Digital considerando a convergência dos futuros padrões de transporte de distribuição de mídia e os vários serviços de TV Digital interativa. A proposta de uma família de Set-Top-Boxes considera a evolução destes dispositivos integrando uma capacidade computacional equivalente ao multicomputador PLÊIADES suportando, no ambiente doméstico, o desempenho requerido pelas CAVERNAs Digitais.

## **1.3 Motivação**

A motivação deste trabalho está baseada na possibilidade de desenvolvimento de ambientes de realidade virtual imersivos e a sua disponibilidade para a sociedade em geral.

Para tanto, estes sistemas devem suportar a capacidade de comunicação e computação exigidas pelas futuras aplicações imersivas multidirecionais, isto é, suportadas pela Internet avançada.

## 1.4 Relevância

O desenvolvimento de tecnologias no Brasil relacionadas com este mercado pode trazer inúmeras vantagens, dentre elas podemos destacar:

- A disponibilidade de produtos inovativos orientados às demandas específicas do mercado brasileiro;
- O desenvolvimento de produtos inovativos com domínio tecnológico nacional, oferecendo um fator competitivo à indústria local no que diz respeito a custos de propriedade intelectual (patentes, direitos de uso, licenças de *software*);
- O domínio destas inovações baseadas na constante evolução destas tecnologias em escala mundial, e,
- O estabelecimento de uma visão de longo prazo da tecnologia de TV Digital no Brasil.

## 1.5 Histórico

A proposta de sistemas correlatos aos desenvolvimentos desta tese tiveram início ainda em 1991 com a proposta e o desenvolvimento do Sistema MultiTransputador Gráfico TRGR-01, cujo principal objetivo foi o de desenvolver um multicomputador voltado para a síntese de imagens em tempo real. O sistema construído era composto por nove microprocessadores transputadores de 32 bits T800 [ZUFFO93], com possibilidade de expansão até 256 processadores.

Em 1994 foram iniciados trabalhos relacionados com o desenvolvimento de ambientes de programação para a visualização de grandes bases de dados sobre multicomputadores. Neste projeto, a plataforma utilizada foi o multicomputador MEIKO-CS2, com 10 microprocessadores HyperSPARC de 100MHz, interconectados por uma rede *fat-tree* bidirecional de 100Mbps/s. Neste projeto foi desenvolvida uma biblioteca voltada especificamente para algoritmos de visualização volumétrica paralelos denominada *PVV - Parallel Volume Visualisation* [ZUFFO97a].

Em 1997 teve início o projeto baseado no Convênio entre o Laboratório de Sistemas Integráveis e a NEC do Brasil intitulado "Aplicações Multimídia sobre Redes de Serviços Digitais", cujo principal objetivo é a pesquisa e desenvolvimento de plataformas e aplicações de TV Digital sobre redes comunicação tipo HFC (*Hybrid Fiber Coax*). Este projeto levou ao

desenvolvimento da família de Set-top-Boxes reconfiguráveis. Também em 1997 o projeto de desenvolvimento da CAVERNA Digital teve início, este projeto foi desenvolvido no âmbito projeto Hipersistemas Integráveis financiado pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos).

Em 1998 teve início o projeto do multicomputador PLÊIADES, sendo que em 2000, este projeto recebeu apoio institucional da Intel do Brasil, dentro de seu programa educacional.

## **1.6 Estrutura da Tese**

Esta tese esta estruturada em 7 capítulos.

O Capítulo 1 apresenta os objetivos, motivação e relevância deste trabalho.

O Capítulo 2 apresenta o Estado da Arte em Meios Eletrônicos Interativos, introduzindo os principais conceitos, tecnologias e métodos que serão utilizados ao longo do trabalho, posicionando o leitor em relação aos avanços científicos e tecnológicos.

O Capítulo 3 apresenta a CAVERNA Digital que é um sofisticado sistema de multiprojeção estereoscópica desenvolvido com o objetivo de permitir a imersão completa do usuário em mundos virtuais simulados e suportados por supercomputadores.

O Capítulo 4 apresenta o Multicomputador Gráfico PLÊIADES. A proposta e desenvolvimento deste sistema objetiva especificamente suportar a exibição em tempo real de imagens dinâmicas de alta resolução em sistemas de multiprojeção estereoscópicos imersivos.

O Capítulo 5 apresenta a Família de Set-Top-Boxes Reconfiguráveis, cuja proposta e desenvolvimento estabelece novos paradigmas de plataformas de acesso aos serviços multimídia interativos oferecidos pela TV Digital.

O Capítulo 6 apresenta o conjunto de conclusões desta tese, apontando os principais resultados obtidos e direções futuras de pesquisa. A principal proposta é o desenvolvimento de ambientes de telepresença capazes de propiciar ao usuário o sentimento de imersão em ambientes localizados remotamente.

## 1.7 Bibliografia do Capítulo

- [ANATEL01] Agência Nacional de Telecomunicações, "Utilização da Tecnologia Digital na Transmissão Terrestre de Televisão: Comentários do Advanced Television Systems Committee", Consulta Pública no. 291, de 12 de abril de 2001, disponível em [www.anatel.gov.br](http://www.anatel.gov.br).
- [VERDE00] "Livre Verde Sociedade da Informação", Ministério de Ciência e Tecnologia, Governo do Brasil, Brasília, Setembro de 2000, disponível em [www.socinfo.gov.br](http://www.socinfo.gov.br).
- [ZUFFO93] Marcelo Knörich Zuffo, "Um Multicomputador para Aplicações Gráficas", Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, março de 1993.
- [ZUFFO97a] Marcelo Knörich, Zuffo "Um Ambiente de Programação de Alto Desempenho para a Visualização Volumétrica", Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP, Abril de 1997.
- [ZUFFO97b] João Antonio Zuffo, "A infoera: O Imenso Desafio do Futuro", Editora Saber, 1ª Edição 1997, São Paulo, SP.

## **CAPÍTULO 2 Estado da Arte em Meios Eletrônicos Interativos**

---

What is that we really require from the scientists and technologists ?  
I should answer: We need methods and equipment which are cheap enough so  
that they are accessible to virtually every one;  
suitable for small scale applications; and  
compatible with man's need for creativity.

Out of these characteristics is born non-violence and a relationship of man to  
nature which guarantees permanence. If only one of these three is neglected,  
things are bound to go wrong.

**E. F. Schumacker<sup>2</sup>**

---

<sup>2</sup> " Small is beautiful: A study of economics as if people mattered", Cap. 2 Peace and Permanence, Ed. Abacus74.

Este capítulo apresenta o estado-da-arte em meios eletrônicos interativos.

## 2.1 Meios Eletrônicos Interativos

Entendemos como **meios eletrônicos interativos** o acervo tecnológico orientado ao relacionamento sensível entre o usuário e uma infraestrutura computacional. Serão considerados os seguintes sentidos: a audição, a visão e o tato.

Particularmente nesta tese estaremos interessados em sistemas voltados para a imersão do usuário em ambientes artificiais suportados pelo computador. Genericamente, o termo imersão relaciona-se com a experiência física de submersão na água. Recentemente com os avanços dos meios eletrônicos interativos, o termo imersão tem sido utilizado quando o usuário tem a sensação de estar envolto completamente por uma outra realidade através de estímulos físicos e psicológicos suportados pelo computador [MURRAY97].

### 2.1.1 Sistemas de Exibição de Imagens Dinâmicas Estereoscópicas

O termo **computação gráfica tridimensional** normalmente refere-se à exibição de imagens sintetizadas a partir de projeções perspectivas ou paralelas de objetos modelados em um sistema de coordenadas tridimensionais. A percepção de profundidade do usuário é originada de características da imagem como tonalização, sombreamento, oclusão, movimento e perspectiva linear [HODGES92].

A computação gráfica estereoscópica baseia-se na percepção estereoscópica de imagens, onde o cérebro é capaz de combinar duas imagens 2D levemente deslocadas horizontalmente numa única imagem 3D, este efeito denominado de **estereopsia** é baseado no princípio da **disparidade binocular** ou também de **paralaxe binocular** ([HODGES85, 90], [HILDRETH89], [GEIGER89], [HOWLETT90], [MARR76]). O fenômeno psicofisiológico da estereopsia foi descrito primeiramente por Wheatstone em 1838 [WHEATSTONE38].

Há séculos, o ser humano tem dedicado esforços no sentido de reproduzir imagens 3D. Ainda antes do ano 1000 DC, o filósofo e matemático Ahhazen foi o primeiro a descrever como a luz é projetada conicamente no olho humano [KELSO92]. Leonardo da Vinci definiu o termo **projeção perspectiva artificial** como o conjunto de métodos para a pintura de quadros a

partir de **projeções perspectivas naturais** [AYDINOGLUS98] que produzem as imagens vistas pelo olho humano.

Atualmente, existem vários métodos baseados em dispositivos óptico-eletrônicos para a indução artificial da percepção estereoscópica no ser humano. Estes sistemas podem ser classificados em três grandes categorias: sistemas autoestereoscópicos, sistemas estereoscópicos multiplexados em tempo e sistemas estereoscópicos paralelos no tempo.

**Sistemas autoestereoscópicos** são aqueles em que o usuário não precisa utilizar dispositivos especiais para induzir o efeito de estereopsia [HALLE97]. Exemplo de sistemas autoestereoscópicos são os estereogramas baseados em pontos randômicos, os hologramas e os cartões lenticulares ([HALLE97], [HODGES92]).



**Figura 2-1 - Óculos Polarizador Estereoscópico Multiplexador de Imagens no Tempo**

**Sistemas estereoscópicos multiplexados no tempo** são aqueles em que um dispositivo realiza a separação do par de imagens estereoscópicas para cada olho do usuário. Sistemas primitivos, ainda no começo do século, utilizavam discos giratórios para a exibição de filmes estereoscópicos. Atualmente, dispositivos mais utilizados são os óculos polarizadores como os fabricados pela empresa StereoGraphics [STEREO87]. Estes óculos (Figura 2-1) possuem filtros polarizadores acionados eletronicamente, normalmente através de sensores infravermelhos. Levando-se em conta esta particularidade de acionamento eletrônico dos óculos polarizadores, este tipo de sistema é denominado de sistemas de **estereoscopia ativa**.

**Sistemas estereoscópicos paralelos no tempo** são aqueles em que o par de imagens estereoscópicas são apresentados simultaneamente ao usuário que faz uso de óculos polarizadores para realizar a separação de imagens, este tipo de sistema é denominado de sistemas de **estereoscopia passiva**.

## 2.1.2 Tecnologias de Projeção de Imagens

Nos últimos vinte anos a resolução dos sistemas e circuitos capazes de gerar imagens cresceu significativamente. A Tabela 2-1 apresenta as resoluções mais comuns utilizadas pelos sistemas de exibição gráfica comerciais.

<b>Formato</b>	<b>Resolução Horizontal x Vertical</b>	<b>Fator de Escala</b>
VGA	640x480	4:3
SVGA	800x600	4:3
XGA	1024x768	4:3
SXGA	1280x1024	5:4
UXGA	1600x1200	4:3
HDTV	1920x1080	16:9
QXGA	2048x1536	4:3

**Tabela 2-1 - Formatos e Resoluções de Sistemas de Exibição de Imagens**

Para a implementação de sistemas capazes de propiciar ao usuário um sentimento de imersão, a tecnologia de projeção tem sido a mais utilizada, principalmente por permitir a construção de sistemas capazes de envolver parcialmente ou totalmente o usuário, oferecendo vantagens em relação a outras tecnologias baseadas em capacetes HMD (*Head Mounted Displays*). Dentre as vantagens podemos citar: o campo de visão mais amplo, a maior resolução, e o menor grau de invasão. Os sistemas de projeção são baseados em três tecnologias principais DLP, LCD e CRT, que serão descritas nas próximas seções.

### 2.1.2.1 A Tecnologia DLP

A tecnologia DLP (*Digital Lighting Processing*) é uma tecnologia recente de projeção, disponibilizada comercialmente a partir de 1996, baseada no desenvolvimento de processos avançados de microeletrônica denominados de DMD (*Digital Micromirror Devices*).

Os dispositivos DMD são moduladores binários espaciais da luz incidente. Basicamente, os DMDs são matrizes de microespelhos móveis montados sobre a superfície de memórias CMOS tipo SRAM ([PYNE96], [MARKANDAY96]). Cada microespelho pode ser controlado independentemente através do armazenamento de uma informação digital na memória SRAM. A principal vantagem desta tecnologia é a de incorporar mecanismos totalmente digitais de geração de imagens, sendo que a única limitação atual são os conversores Analógicos/Digitais necessários para as fontes convencionais de vídeo.

### 2.1.2.2 A Tecnologia de Tubos de Raios Catódicos

A tecnologia de Tubos de Raios Catódicos, comumente conhecida por CRT (*Cathode Ray Tubes*), tem sua origem no desenvolvimento da própria televisão. Os projetores de imagens estereoscópicos baseados nesta tecnologia possuem três tubos CRT (vermelho, azul e verde).



**Figura 2-2 - Projetor CRT Electrohome Marquee 9500 LC**

A Figura 2-2 apresenta um projetor CRT voltado especificamente para sistemas de projeção de realidade virtual, no caso o projeto Marquee 9500LC (*Liquid Coupling*) [CHRISTIE00] da empresa Electrohome.

Dentre as características dos projetores baseados em CRT podemos citar:

- Os projetores CRT possuem três sistemas ópticos independentes para os canais vermelho, verde e azul. Esta característica impõe uma dificuldade intrínseca que é a calibração da convergência dos três sistemas ópticos. Outra calibração imposta, levando-se em conta os três sistemas de projeção independentes, é a calibração do balanço de cor entre os três canhões;
- O fósforo dos tubos de raios catódicos possuem um tempo de vida limitado, portanto o uso dos três tubos independentes deve ser realizado de forma tal a igualar o tempo de vida médio dos mesmos;
- Os projetores CRT normalmente não são muito brilhantes, possuindo um fluxo óptico da ordem de 200-500 ANSI lumens.
- A taxa de contraste é da ordem de 1:100, ou seja o brilho de um pixel branco é da ordem de 100 vezes o brilho de um pixel preto;
- Os projetores CRT mais avançados possuem uma banda passante da ordem de 120MHz, suportando um amplo leque de resoluções normalmente até 2000x2500 pixels.

De forma geral, podemos considerar que a tecnologia CRT é bem conhecida e disseminada pela comunidade de usuários da realidade virtual.

### **2.1.2.3 A Tecnologia de Projetores Baseados em Cristal Líquido**

A tecnologia de projetores baseados em cristal líquido LCD (*Liquid Crystal Display*) é baseada no princípio óptico da modulação da luz que atravessa um painel LCD.

Dentre as vantagens desta tecnologia podemos citar o baixo custo, visto que a maioria dos processos de microeletrônica utilizados são bem conhecidos. Os projetores LCD possuem brilho e contraste superiores aos da tecnologia CRT, e finalmente, possuem apenas um canhão de luz, eliminando os problemas de calibração normalmente encontrados em projetores CRT.

Dentre as desvantagens dos projetores LCD podemos destacar: a baixa resolução atualmente suportada; a baixa velocidade de acionamento dos LCDs, impossibilitando o uso em aplicações com estereoscopia; e, finalmente o rápido envelhecimento dos LCDs em função da alta intensidade luminosa que os atravessa causando a oxidação dos mesmos.

### **2.1.3 Dispositivos de Interação Táctil**

Os dispositivos de interação táctil (ou Hápticos<sup>3</sup>) permitem aos sistemas de realidade virtual induzirem o sentido do tato ao usuário [SALISBURY95]. Até pouco tempo atrás, a única maneira de interagir com os mundos 3D do computador era através de mouse, teclado ou outro dispositivo de posicionamento e rastreamento que permitisse a navegação pelo espaço virtual.

Com a disponibilidade da tecnologia dos dispositivos hápticos, é possível tocar os objetos deste mundo 3D e senti-los, o que aumenta o sentido de imersão e interação do usuário, além de ampliar o potencial uso da realidade virtual explorando ainda mais a percepção humana. Os dispositivos hápticos permitem ao usuário sentir o peso, textura, dureza e outras características de um objeto virtual [AVILA99].

Para fornecer a reação tátil (sensação de toque) ou de força (sensação das forças aplicadas), os dispositivos hápticos incorporam atuadores. A tecnologia atual de atuadores utiliza motores elétricos, pistões hidráulicos e bolsas pneumáticas. Outras tecnologias envolvem até mesmo o uso de polímeros, mas ainda encontram-se em fase de pesquisa [BURDEA96].

---

<sup>3</sup> Haptic do grego táctil

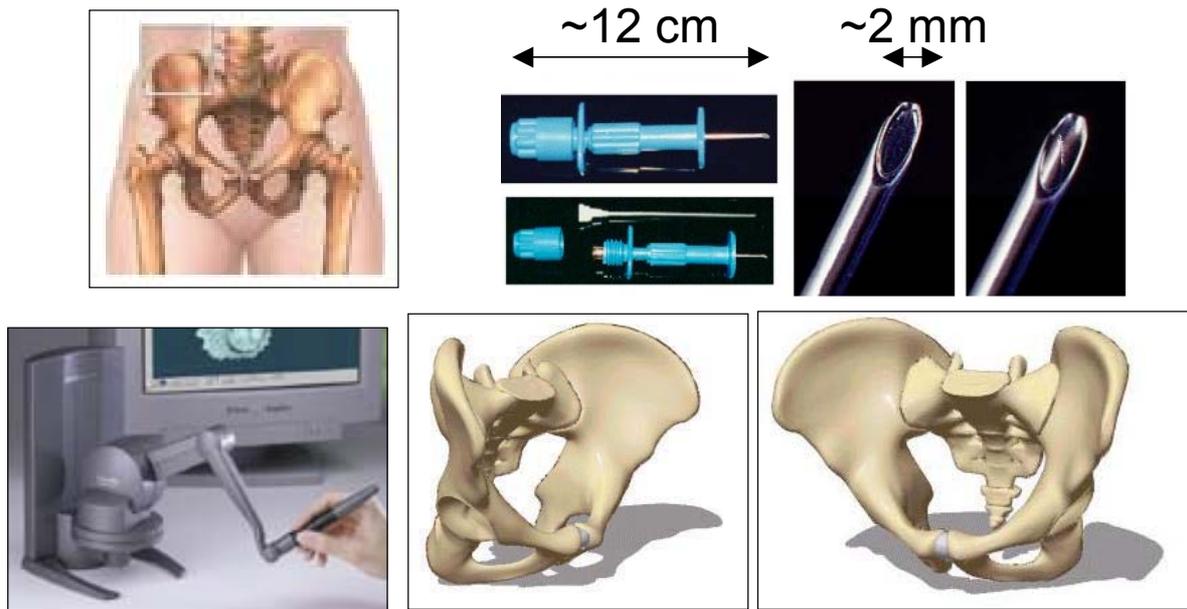
Um dos mais importantes avanços relacionados à tecnologia dos dispositivos hápticos está na atribuição de informações físicas a um modelo 3D, permitindo que o computador calcule a quantidade de força a ser refletida como resultado de uma interação com o modelo [MAHONEY97]. Assim, o dispositivo háptico identifica a força aplicada pelo usuário e retorna a força calculada correspondente. O cálculo das forças a serem aplicadas depende da leitura de diversas variáveis pelo dispositivo háptico.

Aplicações de realidade virtual que trabalham com dispositivos hápticos devem ser capazes de processar as forças aplicadas a uma taxa aproximada de 1000Hz. Isto deve-se ao fato do sistema tátil humano ser super-sensitivo e capaz de identificar forças tão pequenas quanto 80 miligramas na ponta dos dedos e vibrações de 200 a 250Hz [MAHONEY97].

A qualidade dos dispositivos hápticos está relacionada a diversos itens de desempenho, sejam eles: fidelidade, pouco peso, fácil manipulação e eficiência na transmissão dos dados (força aplicadas), dentre outras. Além disso, o custo do dispositivo deve ser viável comercialmente, possibilitando o seu uso nas várias aplicações da realidade virtual.

Para a utilização de dispositivos hápticos em sistemas de realidade virtual uma modelagem física e o uso de algoritmos de controle se faz necessário. A modelagem física abrange a detecção de colisão entre objetos, deformação de superfícies, modelagem de forças de deformação, texturização mecânica e controle de contrações físicas. Os algoritmos de controle, por sua vez, serão responsáveis pelas forças calculadas e seu envio ao dispositivo háptico [BURDEA96].

A Figura 2-3 apresenta um simulador médico baseado no dispositivo háptico Phantom Desktop. Este sistema foi concebido para o treinamento do procedimento de transplante de medula óssea. A principal característica deste procedimento invasivo é a manipulação de uma região anatomicamente complexa do corpo humano, onde o médico não tem acesso visual, pois o procedimento é caracterizado pela perfusão da crista ilíaca (estrutura osséa donde é extraída a medula) por uma agulha e correspondente extração da medula [MACHADO01].



**Figura 2-3 - Simulador de Transplante de Medula [MACHADO01]**

## **2.2 Realidade Virtual**

De forma abrangente podemos definir a **realidade virtual**<sup>4</sup> como o conjunto de métodos e tecnologias relacionadas com a **imersão** do usuário em ambientes com aparência realística e comportamento e interação simulados pelo computador [FOLEY90]. A imersão é induzida a partir do estímulo óptico eletromecânico dos sentidos humanos (audição, visão, tato e olfato). O sentido de imersão pode ser **total** ou **parcial** e leva em conta também a possibilidade da composição de ambientes reais com ambientes simulados que denominaremos de **realidade aumentada**.

Atualmente, as pesquisas e desenvolvimentos da realidade virtual baseiam-se fortemente na evolução e disponibilidade dos meios eletrônicos interativos. Principalmente, a partir do início da década de 70, a realidade virtual começou a ser disseminada em aplicações na sociedade. A primeira aplicação relevante da realidade virtual foi a dos simuladores de vôo militares [FOLEY90]. Atualmente o governo norte-americano gasta em torno de US\$ 2Bilhões/ano na aquisição e manutenção destes simuladores [TATRC01].

A partir da década de 90, com a disponibilidade de equipamentos e periféricos de baixo custo a realidade virtual foi largamente disseminada na sociedade, com aplicações em diversas áreas como o entretenimento, engenharia, medicina, cultura e ciências básicas.

Do ponto de vista do usuário, na maioria das aplicações científicas e tecnológicas, a realidade virtual torna-se uma ferramenta poderosa de análise, ensino, interpretação e decisão. De forma geral podemos classificar as aplicações da realidade virtual em três grandes áreas:

- **Missão crítica:** Nesta classe de aplicações a realidade virtual tem sido utilizada com sucesso na simulação de situações de risco ao patrimônio material e humano. Exemplos destas aplicações são os simuladores de vôo, simuladores cirúrgicos, simuladores de combate, simuladores aeroespaciais e os simuladores de catástrofes como terremotos, acidentes dentre outros. A Figura 2-4 apresenta um simulador de transplante de medula desenvolvido utilizando a realidade virtual [MACHADO01].



**Figura 2-4 - Simulador de Sutura Baseado em Realidade Virtual**

- **Universos paralelos:** Esta classe de aplicações envolve principalmente a simulação de universos alternativos baseados em abstrações físicas, biológicas e matemáticas, como a simulação de universos inacessíveis, a simulação do macrocosmo em astrofísica, e a simulação do microcosmo em biologia molecular, estrutura da matéria, física do estado sólido e genoma, dentre outros.
- **Prototipagem digital:** Esta classe de aplicações envolve as principais aplicações comerciais da realidade virtual. Entre as áreas de aplicação destacamos a petrolífera na

---

<sup>4</sup> O termo realidade virtual é controverso na comunidade científica por incorporar uma antítese, havendo outras denominações como por exemplo **realidade artificial**.

prototipação de plataformas e canalizações em águas profundas; a indústria automobilística e aeronáutica na análise ergonômica; e a indústria de construção civil na construção de maquetes digitais para análise arquitetônica e estrutural. A Figura 2-5 apresenta um exemplo de prototipagem virtual na indústria automobilística.



**Figura 2-5 - Prototipagem Digital do Interior de um Veículo**

### **2.3 Internet Avançada**

Ao longo das décadas de 1970 e 1980 a tecnologia de redes de computadores e microcomputadores foi desenvolvida e consolidada. Na década de 1990 esta tecnologia foi disseminada em larga escala na sociedade em geral.

Um passo importante foi o desenvolvimento do protocolo HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) e da linguagem HTML (*Hypertext Markup Language*) no começo da década de 1990 propiciando a navegação interativa e intuitiva do usuário comum na rede mundial de computadores. A partir deste momento, o uso disseminado da Internet tomou grande impulso em vários segmentos da sociedade como o comércio eletrônico, a propaganda e marketing, a educação, a medicina, a cultura, dentre outros.

Entretanto apesar de todos estes avanços, a Internet atual sofre limitações intrínsecas, dentre as quais podemos destacar:

- **contenção de comunicação:** a grande maioria dos usuários da Internet utilizam-se da telefonia fixa como meio de acesso, cujo projeto original foi voltado explicitamente para a comunicação analógica de voz;

- **capilaridade:** o modelo da Internet atual é voltado exclusivamente para a interconexão dos microcomputadores e computadores pessoais, deve-se levar em conta que há uma tendência irreversível de incorporação de inteligência baseada em microprocessadores em praticamente todos os utensílios humanos (celulares, automóveis, televisores, dentre outros);
- **mobilidade:** a Internet existente baseia-se num modelo de comunicação baseado em comunicação via cabos (cobre ou óptico), impondo a limitação de falta de mobilidade;
- **custo de acesso:** o custo de acesso é uma das maiores barreiras à maior disseminação da Internet, dentre os custos destacam-se os custos de telefonia e os custos do microcomputador que há praticamente 20 anos está estabilizado no patamar de US\$ 2.000,00.

Para os próximos anos algumas previsões podem ser estabelecidas baseadas na resolução destes problemas apontados. Estas previsões em conjunto com as inovações tecnológicas vão propiciar o que denominaremos de **Internet Avançada**.

Do ponto de vista de inovações tecnológicas, a incorporação da Internet ao cotidiano provavelmente será baseada no incremento de protocolos de comunicação digital de dados sem fio (*wireless*), e a inexorável convergência da Internet com a telefonia celular de terceira geração.

Outra evolução tecnológica notável é a substituição da infraestrutura atual de comunicação de dados digitais com fio (*wired*) baseada em cobre para as fibras ópticas. Duas tendências são promissoras: a utilização das "fibras escuras", que utilizam-se de comprimentos de luz invisível para a comunicação dos dados, e o desenvolvimento de fibras ópticas de baixo custo baseados em plástico.

Finalmente, um aspecto importante da Internet Avançada será a constante busca por interfaces de usuário cada vez mais intuitivas e naturais.

## **2.4 Panorama dos Sistemas de TV no Brasil**

No Brasil, as redes de TV aberta (UHF e VHF) apresentaram grande expansão a partir da década de 70, devido à introdução da TV em cores e a redução dos custos dos aparelhos televisores.

Por conta da quantidade e diversidade de programação dos canais de difusão aberta, a TV por assinatura surge tardiamente no País, comparativamente a outras economias emergentes, tais como Argentina e México. A TV por assinatura no Brasil inicia-se com a exploração da banda C e do MMDS (*Multi-channel Multipoint Distribution Service*), em 1990. A distribuição dos sinais de TV a cabo chegou aos assinantes em 1991 ([www.anatel.gov.br](http://www.anatel.gov.br)).

Em 1993, o País contava com 250 mil assinaturas, expandindo para 1 milhão, em 1995 e 2,5 milhões, em 1997. Deste total, 69% correspondem ao serviço de TV a cabo, 17% MMDS e 14% satélite (Banda C e Banda KU). De 1993 a 1997, o crescimento do número de usuários se deu à taxa média de 65% ao ano.

É importante assinalar que a Indústria de TV por assinatura encontra-se em fase de expansão no País, com consideráveis esforços de investimentos, seja na instalação da rede de cabos, estações transmissoras para MMDS ou sistemas de DTH (*Direct To Home*), desenvolvimento de equipamentos, bem como na adaptação, aquisição e desenvolvimento de pacotes de programação.

Há, atualmente, a preocupação de se estabelecer políticas públicas adequadas, orientadas para a máxima obtenção de benefícios sociais e para a institucionalização de regras claras e estáveis que assegurem a atratividade a novos investimentos.

### **2.4.1 Estruturação Legal do Setor**

A estruturação legal do setor fundamenta-se numa série de atos de caráter geral, que dispõem sobre concessões, licitações, serviços de telecomunicações, além de uma legislação recente e de caráter específico que aborda os serviços de TV a Cabo, MMDS e DTH.

As outorgas de TV a Cabo e MMDS são limitadas por área geográfica. As 99 outorgas atualmente existentes para TV a Cabo e para MMDS atendem a 197 localidades. As regiões Sul e Sudeste concentram 94% das concessões de TV a Cabo e 58% de MMDS. No caso de TV a Cabo, destacam-se os estados de São Paulo, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e

Paraná. No caso de MMDS, destacam-se os estados de São Paulo, Rio Grande do Sul e Paraná.

Em 20 de julho de 1997, encerrou-se o prazo para consulta pública com relação a 23 áreas e 79 localidades, para as quais vários editais de licitação estavam sendo definidos. Em resposta à licitação, 134 empresas apresentaram 981 propostas (829 para TV a Cabo e 152 para MMDS), concorrendo por 319 novas outorgas de TV por assinatura para cerca de 200 cidades.

Com a finalização do processo das novas licenças, prevista para o 2º semestre de 1998, o mercado será acrescido de aproximadamente 25 milhões de domicílios urbanos. Em etapa subsequente, serão lançados novos editais de licitação objetivando o atendimento de 460 novas localidades, sendo 180 de TV a Cabo e 280 de MMDS. É previsto o predomínio de cidades de porte médio, a maioria com população inferior a 300 mil habitantes.

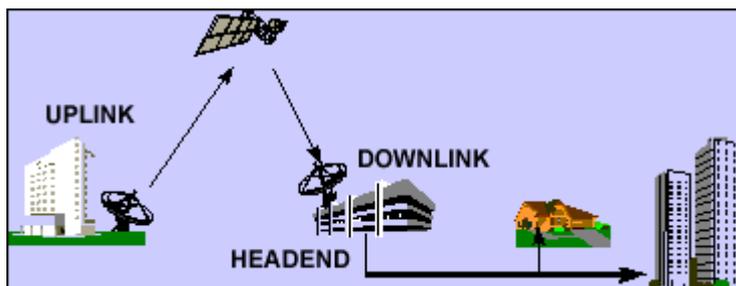
## **2.4.2 Tecnologias**

A televisão é uma área de grandes avanços tecnológicos, no aparelho de TV, nas tecnologias de distribuição e recepção de sinais ou nos sistemas de operação e gerenciamento de negócios. Embora retardatário na implantação de TV por assinatura, o Brasil vem incorporando tecnologias de ponta, com vantagens competitivas em relação a outros países. Suas condições territoriais, demográficas e econômicas favorecem a combinação de diferentes alternativas tecnológicas, reduzindo concorrências e expandindo complementaridades.

Tecnologicamente, a infra-estrutura utilizada pelas empresas de TV por assinatura foi concebida para transporte de sinais de áudio, vídeo, dados e voz.

### **2.4.2.1 TV a Cabo**

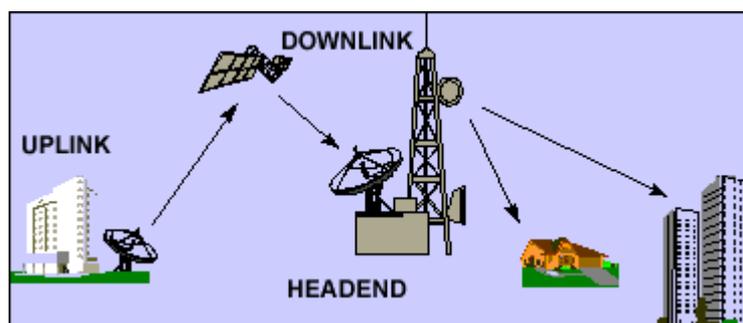
A implantação de rede de cabos pelas cidades para o transporte de sinais exige grande investimento em infra-estrutura. A Figura 2-6 mostra de que forma é realizado o transporte dos sinais até os usuários. Normalmente, esta distribuição é baseada em várias tecnologias integradas de distribuição de sinal, denominada de HFC (*Hybrid Fiber Coax*).



**Figura 2-6 – Esquema de transmissão utilizado em TV a cabo**

#### **2.4.2.2 MMDS - Multi-channel Multipoint Distribution Service**

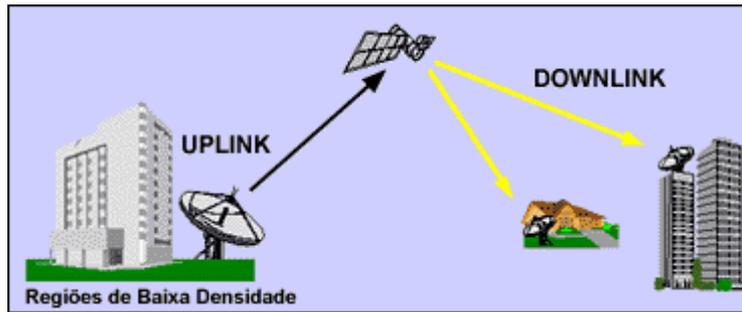
Este esquema exige a instalação de uma emissora especial, em cada cidade, que transmite, pelo ar, sinais codificados diretamente aos usuários. O MMDS pode oferecer um total de 31 canais no sistema analógico, podendo expandir-se com a utilização de tecnologia digital. O sistema MMDS necessita de uma pequena antena receptora e um aparelho decodificador para ter acesso aos serviços. A Figura 2-7 mostra de que forma é feito o transporte dos sinais até os usuários.



**Figura 2-7 – Esquema de transmissão utilizado em MMDS**

#### **2.4.2.3 DBS / DTH - Direct Broadcasting Satellite / Direct To Home**

O sistema DBS/DTH utiliza satélite para transmitir seus sinais diretamente aos domicílios e, simultaneamente, a toda uma região. No sistema de banda KU, o usuário do sistema DBS/DTH necessita de uma pequena antena parabólica (normalmente em torno de 60cm de diâmetro) e um aparelho receptor, para ter acesso aos serviços. A Figura 2-8 mostra de que forma é feito o transporte dos sinais até os usuários.



**Figura 2-8 – Esquema de transmissão utilizado em DBS / DTH**

#### **2.4.2.4 Outros Sistemas**

O sistema LMDS (*Local Multipoint Distribution System*) opera com pequenas antenas transmissoras de alta frequência (28 GHz), cobrindo áreas celulares, com até 5km de raio. O sistema encontra-se em uso comercial nos EUA (Nova Iorque) e no Canadá. O sistema LMDS ainda não está regulamentado no país.

O sistema MVDS (*Multichannel Video Distribution System*) opera com pequenas antenas transmissoras de alta frequência em 40 GHz, cobrindo áreas celulares com poucos quilômetros de raio. Atualmente, o sistema MVDS encontra-se em fase experimental na Europa.

### **2.5 Padrões de TV Digital**

Esperam-se, nos próximos anos, grandes investimentos em infra-estrutura de telecomunicações na área de TV a cabo (CATV). Alguns estudos apresentam uma demanda reprimida da ordem de 27 milhões de sistemas em toda a América Latina. Particularmente no Brasil, as redes CATV começaram a ser instaladas a partir da década de 90, com tecnologia de cabeamento e transmissão de sinais avançada, propiciando serviços digitais bidirecionais. A essas redes denominaremos genericamente de **Redes de Serviços Digitais**.

Particularmente, a visão de TV Digital nas últimas duas décadas confundiu-se com a visão da HDTV (*High Definition TV*) ([RICHER96], NETRAVALI95]). A proposta inicial da HDTV era a de propiciar uma maior imersão [RICHER96] através da ampliação do campo de visão e profundidade utilizando um fator de forma 16x9. Do ponto de vista intuitivo observa-se a demanda do usuário por maior imersão. Em muitos ambientes onde a TV é disposta utiliza-se o escurecimento da sala, donde acreditamos que a médio prazo a melhor forma de alcançar a

imersão completa em dispositivos baratos de exibição de imagens de TV Digital será a partir de sistemas de multiprojeção.

Atualmente, há uma grande discussão sobre a escolha do padrão de TV Digital que será adotado no Brasil. Três padrões estão sendo analisados: o padrão ATSC, o padrão DVB e o padrão ISDB. Face à revolução dos serviços multimídia propiciados pela Internet, há uma grande discussão em torno dos padrões e serviços interativos [SCHAFER95] que poderão ser oferecidos pelas redes de serviços digitais, que incluem, além do entretenimento, o comércio eletrônico, Internet em geral, a tele-educação e a telemedicina.

O padrão ATSC prevê uma melhor inter-operabilidade entre os atuais sistemas analógicos (seja PAL-M ou NTSC) com a futura transmissão digital, podendo utilizar receptores no formato tradicional 4x3 ou no formato HDTV (16x9).

O padrão DVB é voltado para uma utilização mais eficiente do espectro através de técnicas modernas de modulação e transmissão dos sinais, mas com ênfase na utilização de aparelhos receptores com o formato tradicional 4x3.

O ISDB é voltado para a utilização da TV não apenas como um meio de recepção de imagens em tempo real, mas como um verdadeiro sistema multimídia bidirecional, provendo recursos para o usuário escolher uma dentre várias fontes de imagem (múltiplas câmeras), também utilizando as mesmas técnicas de modulação do padrão DVB.

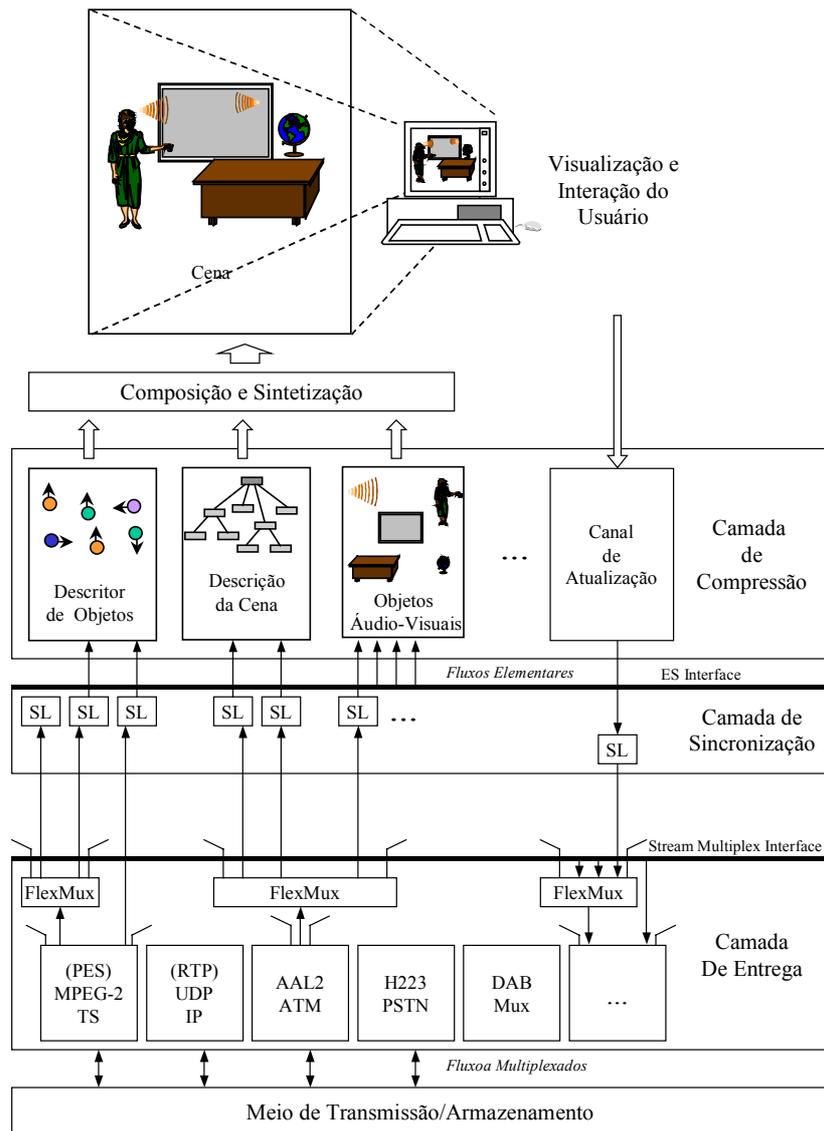
## **2.6 O Padrão MPEG-4**

O MPEG-4, também denominado de **Sistema MPEG-4**, ([BATTISTA99, 00], [AVARO00], [CHIARIGLIONE98], [HERPEL00], [ISO/IEC N357400], [ISO/IEC00A], [ISO/IEC00B], [ISO/IEC00C]) é o primeiro padrão que considera informações multimídia como um conjunto de objetos áudio visuais apresentados, manipulados e transportados individualmente. O principal objetivo do MPEG-4 é o desenvolvimento da especificação de um padrão internacional para descrição e codificação de objetos audiovisuais.

O sistema MPEG-4 ([KOENEN97], [KOENEN99]) considera aspectos tradicionais como a arquitetura, multiplexação e sincronização, bem como aspectos avançados orientados a objetos como descrição de cena, interação, descrição de conteúdo e programabilidade [AVARO00].

O MPEG-4 combina formas inovativas de criação de conteúdo áudio-visual interativo, e a disponibilidade de ferramentas eficientes para a representação de informação. Esta combinação é potencialmente interessante no desenvolvimento de mundos virtuais imersivos e interativos.

A Figura 2-9 apresenta a arquitetura do MPEG-4 que será utilizada como ambiente de programação no Capítulo 4.



**Figura 2-9 - Arquitetura do MPEG-4**

Os padrões MPEG ([SIKORA], [NOLL95], [ORZESSEK98]) anteriores ao MPEG-4 abordavam a representação de informação áudio visual considerando apenas informações originárias a partir de fontes naturais de áudio e vídeo. Na definição do sistema MPEG-4 os tipos de mídia considerados foram estendidos significativamente, os quais possuem atributos

temporais e espaciais e precisam ser identificados pela aplicação consumidora de conteúdo. Estas particularidades na definição do sistema MPEG-4 estabeleceram um conjunto de requisitos para correnteza (*streaming*), sincronização e gerenciamento de fluxo.

A informação áudio-visual no sistema MPEG-4 é enviada na forma de correnteza de dados, adequada para a distribuição ao vivo de conteúdo. Desta maneira, a informação multimídia é transmitida aos pedaços para atender às limitações específicas da rede e do terminal de acesso do cliente.

Normalmente, os diferentes objetos componentes de uma apresentação áudio-visual são intimamente relacionados no tempo. Para a maioria das aplicações, amostras de áudio e vídeo devem ser apresentadas simultaneamente ao usuário em instantes precisos de tempo. Estas particularidades de sincronização são generalizadas no sistema MPEG-4 permitindo a sincronização de várias mídias.

O completo gerenciamento de fluxos de informação audiovisuais implica na necessidade de mecanismos para permitir às aplicações consumirem conteúdo. Estes mecanismos incluem recursos como a localização precisa do conteúdo, a identificação do tipo de conteúdo, a descrição das dependências entre as diversas mídias componentes do conteúdo e o acesso à informação de propriedade intelectual associada a cada conteúdo.

Diferente dos padrões MPEG-1 e MPEG-2, o MPEG-4 define outras características importantes:

- Representa as unidades que contêm áudio, vídeo ou ambos, através de “objetos de mídia”. Esses objetos de mídia podem ser de origem natural ou sintética, isto é, podem ser gravados, através de uma câmera ou microfone, ou gerados por um computador. Além disto, permite a codificação de objetos áudio-visuais a taxas muito baixas;
- Descreve a composição [KOMPATSIARIS98] desses objetos para gerar componentes de objetos de mídias que formam as cenas audiovisuais; multiplexa e sincroniza os dados associados aos objetos de mídia, de maneira que eles possam ser transportados, através de um canal de comunicação, com qualidade de serviço (QoS) adequada à natureza específica de cada objeto de mídia;

- Permite um alto grau de interatividade possibilitando que uma cena áudio-visual seja modificada, por exemplo, removendo ou adicionando objetos, com a possibilidade de se fundirem objetos naturais com objetos sintéticos, textos, e gráficos.

A descrição de uma cena MPEG-4 é herdada da linguagem VRML, com a inclusão de novos nós 3D, e principalmente nós 2D. O formato de descrição da cena é o BIFS (*Binary Format for Scenes*), o qual ao contrário do VRML que usa um formato textual para sua distribuição, é um formato binário que garante um desempenho melhor que o VRML. As funcionalidades que podem ser realizadas dentro de uma cena incluem:

- posicionamento de objetos de mídia em qualquer espaço dentro do sistema de coordenadas;
- aplicação de transformações para modificação de atributos de objetos de mídia;
- agrupamento de objetos de mídia, que possibilita a formação de objetos de mídia compostos;
- aplicação de fluxo de dados nos objetos de mídia;
- alteração dos pontos de vista do usuário;
- disparo de eventos quando da seleção de um objeto específico, por exemplo, a iniciação ou interrupção de um vídeo.
- tipos complexos de comportamento podem ser disparados também, como por exemplo, uma cena onde um telefone virtual toca, o usuário atende e um elo de comunicação é estabelecido;
- seleção do tipo de linguagem desejada quando múltiplas linguagens estão disponíveis.

Dados BIFS [SIGNES] são encapsulados dentro de estruturas denominadas BIFS-Command (Comandos BIFS). O mecanismo de BIFS-Command permite trocar qualquer propriedade dentro da cena. Comandos BIFS são agrupados dentro de quadros de atualização (*Update Frame*) de forma que vários comandos possam ser enviados, através de uma única unidade de acesso (*AU Access Unit*). Por exemplo, o nó *Transform* pode ser modificado para mover um objeto dentro da cena, ou ainda, um nó pode ser adicionado ou removido. São definidos

quatro comandos básicos: inserção, remoção, modificação e modificação de toda a cena. Os três primeiros comandos podem ser usados para atualizar as seguintes estruturas: nó, campo ou rota (*ROUTE*).

```
Group {
  children [
    Viewpoint {
      position 0 0 0
    }

    DEF CUBO Transform{
      translation 0 0 0
      children [
        Shape {
          geometry Box {}
        }
      ]
    }
  ]
}
AT 1000 REPLACE CUBO.translation BY 3 0 0
```

**Figura 2-10 - Alterando uma cena através de comandos BIFS**

Na Figura 2-10 é mostrado um exemplo de uma descrição de cena, no qual um cubo está localizado na posição xyz (0, 0, 0), e é reposicionado para a posição xyz (3, 0, 0) após 1000 *ms* em que a cena é carregada (última linha). A última linha, em especial, é codificada como um *BIFS-Command* dentro de um quadro de atualização (*UpDate Frame*) e enviado como uma unidade de acesso.

Objetos de mídia e BIFS são todos convertidos em segmentos de dados (*streams*) que são transportados em um ou mais segmentos elementares (ES - *Elementary Stream*). No MPEG-4, qualquer tipo de dado é transportado através de um fluxo contínuo (*streaming*). O termo ES refere-se ao dado que contém totalmente ou parcialmente a representação codificada de um simples áudio ou vídeo, descrição da cena ou informação de controle. Todos os ES são identificados e caracterizados por um descritor de objetos, o que permite manipular os dados de forma hierárquica, bem como associar meta informações sobre o conteúdo dos dados e direitos autorais.

Cada segmento de dados é caracterizado por um grupo de descritores que trazem informações de configuração, como por exemplo: determinação dos decodificadores necessários e o tempo de decodificação. Os descritores podem trazer também, indicações de QoS necessárias para a transmissão da informação multimídia, como prioridade, taxa máxima de velocidade, etc.

A sincronização dos ESs é realizada através de estampilhas de tempos (*time stamping*) de unidades de acesso individuais dentro dos próprios ESs. A identificação de tais unidades de acesso e a sincronização das estampilhas de tempo são executadas na camada de sincronização. Independente do tipo de mídia, esta camada permite a identificação das unidades de acesso, como, por exemplo, quadros de vídeo ou áudio, comandos de descrição da cena, em segmentos elementares, recriando os tempos base dos objetos de mídia ou a descrição da cena, permitindo assim a sincronização entre eles.

Na camada de distribuição, os fluxos de dados podem explorar diferentes QoS que estiverem disponíveis. Esta camada contém dois níveis de multiplexação: o primeiro nível, denominado FlexMux, e o segundo nível denominado TransMux.

O FlexMux permite agrupar ESs com baixa sobrecarga de multiplexação. A multiplexação neste nível pode ser usada, por exemplo, para agrupar ESs com requisitos de QoS similares, reduzindo o número de conexões ou o atraso fim-a-fim.

O segundo nível, TransMux, oferece os serviços de transporte e os requisitos de QoS. Somente a interface deste nível é especificada pelo MPEG-4, tornando possível utilizar qualquer tipo de protocolo existente como RTP, UDP, TCP, ATM ou MPEG-2 Transport Stream, para criar uma instância do TransMux, que permitirá que o MPEG-4 seja usado em uma grande variedade de plataformas.

Tanto o FlexMux como o TransMux, são definidos e coordenados de acordo com a especificação do DMIF – *Delivery Multimedia Integration Framework*. O DMIF define os mecanismos de gerenciamento de sessão, canais de transporte e o fluxo dos ESs através destes canais. O gerenciamento das sessões e dos canais de transporte é visível para o MPEG-4, através unicamente da interface DAI (*DMIF Interface*). Uma aplicação que usa esta interface, não precisa conhecer como as camadas inferiores interpretam esses comandos. Cada rede necessita, por exemplo, definir somente como mapear os fluxos MPEG-4 aos seus canais de transporte.

### **2.6.1 MPEG-J**

O MPEG-J foi introduzido na versão 2 do MPEG-4, e consiste de um conjunto de APIs (*Application Programming Interface*) que possibilitam que aplicações e *applets* Java possam acessar os componentes de um *player* MPEG-4. O MPEG-J suporta a manipulação da cena,

permitindo respostas apropriadas para os eventos da rede, do servidor ou das entradas do usuário.

Uma aplicação MPEG-J pode ser local ou remota. Quando uma aplicação é remota, ela deve implementar a interface MPEGLet. Da mesma maneira que ocorre com os *applets* Java, aspectos relacionados à segurança devem ser considerados quando a aplicação for remota. Uma aplicação é distribuída da mesma maneira que os demais segmentos (vídeo, áudio, descrição da cena – BIFS, etc.), através de um Segmento Elementar - ES, ou seja, uma aplicação MPEG-J remota deverá possuir um descritor de objeto, para que possa ser multiplexada e distribuída dentro de um arquivo no formato MPEG-4.

## **2.7 Conclusões**

Neste capítulo apresentamos o estado da arte relacionado com os meios eletrônicos interativos atualmente disponíveis. Os assuntos abordados neste capítulo relacionam-se diretamente com a proposta de convergência desta tese e serão utilizados nos sistemas e desenvolvimentos propostos nos próximos capítulos.

A principal conclusão é a disponibilidade na sociedade à médio prazo de uma infraestrutura de comunicações de tecnologias que vão radicalmente alterar os mecanismos de intercâmbio de informações na sociedade. Uma das hipóteses é a possível convergência do televisor com o microcomputador e do sistema de distribuição de sinais de TV com a Internet. Esta hipótese é baseada nos avanços tecnológicos, nos novos padrões de comunicação e distribuição de mídias digitais e na disseminação destes conhecimentos na sociedade.

Esta convergência deve levar em conta também a evolução das interfaces de comunicação entre o usuário e a TV do futuro, considerando a imersão baseada na multiprojeção de imagens estereoscópicas e na eventual resposta tátil.

## 2.8 Bibliografia do Capítulo

- [AVARO00] Avaro, Olivier; Eleftheriadis, Alexandros; Helpel, Carsten; Rajan, Ganesh; Ward, Liam. "MPEG4 System: Overview", *Signal Processing: Image Communication*, 15, (2000), p. 281-298, Elviesier Science.
- [AVILA99] Avila, R.S. "Haptics: From Basic Principles to Advanced Applications. SIGGRAPH'99", *Course Notes. ACM SIGGRAPH*, agosto, 1999.
- [AYDINOGLU98] H.Aydinoglu and M.H.Hayes,III. "Stereo Image Coding: A Projection Approach". *IEEE Transactions on Image Processing*, vol.7, no.4, pp.506-516, April 1998.
- [BARNARD80] S.T.Barnard and W.B.Thompson. "Disparity Analysis of Image". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.PAMI-2, no.4, pp.333-340, July 1980.
- [BATTISTA00] S.Battista, F.Casalino, C.Lande. "MPEG-4: A Multimedia Standard for the Third Millennium, Part 2". *IEEE Multimedia Magazine*, pp.76-84, January-March 2000.
- [BATTISTA99] S.Battista, F.Casalino, C.Lande. "MPEG-4: A Multimedia Standard for the Third Millennium, Part 1". *IEEE Multimedia Magazine*, pp.74-83, October-December 1999.
- [BLANZ99] V.Blanz and T.Vetter. "A Morphable Model for the Synthesis of 3D Faces". *Proc. SIGGRAPH 99*, (Los Angeles, California, August 8-1399) pp.187-194.
- [BURDEA96] BURDEA, G.C. "Force and Touch Feedback for Virtual Reality". New York, John Wiley & Sons, 1996.
- [CARVALHO99] M.B.Carvalho e E.A.B.Silva. "Compressão de Sinais Multi-dimensionais via Decomposição em Base e Casamento de Padrões". *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações SBT'99*, Setembro 1999, pp.229-232.
- [CASTAGNO98] R.Castagno, T.Ebrahimi, M.Kunt. "Video Segmentation Based on Multiple Features for Interactive Multimedia Applications". *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.8, no.5, pp.562-571, September 1998.
- [CHIARIGLIONE98] L.Chiariglione. "MPEG-4, why use it?". CSELT, Italy98. [Http://www.csel.it/leonardo/paper/mpeg-4/mpeg-4.htm](http://www.csel.it/leonardo/paper/mpeg-4/mpeg-4.htm)
- [CHRISTIE00] Christie Digital Systems, "Marquee Ultra User's Manual", 2000.
- [DITTMANN98] J.Dittmann, M.Stabenau, R.Steinmetz. "Robust MPEG Video Watermarking Technologies". *ACM Multimedia'98*, Bristol, UK98.
- [FOLEY90] Foley, J. D. etl alli, "Computer Graphics: Principles and Practice". 2nd Ed. Addison Wesley, 1990.
- [GEIGER89] D.Geiger and A.Yuille. "Stereo and Eye Movement". *Biological Cybernetics*, 62, pp.117-12889.
- [HALLE97] Michael Halle, "Autosteresocopic displays and computer graphics", *Computer Graphics, ACM SIGGRAPH*, 31(2), may 1997, pp. 58-62.
- [HAN00] J.H.Han and J.S.Park. "Contour Matching Using Epipolar Geometry". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.22, no.4, pp.358-370, April 2000.
- [HERPEL00] C. Herpel, A. Eleftheriadis, "MPEG-4 Systems: Elementary stream

- management", *Signal Processing : Image Communication* 15 (2000), p. 299-320. Elsevier Science Ed.
- [HILDRETH89] E.C.Hildreth and S.Ullman. "The Computational Study of Vision". In *Foundations of Cognitive Science*, Ed.M.I.Posner, MIT Press89, pp.581-630.
- [HODGES85] L.F.Hodges and D.F.McAllister. "Stereo and Alternating-Pair Techniques for Display of Computer-Generated Images". *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp.38-45, September 1995.
- [HODGES90] L.F.Hodges and D.F.McAllister. "Rotation Algorithm Artifacts in Stereoscopic Images". *Optical Engineering*, vol.29, no.8, pp.973-976, August 1990.
- [HODGES92] L.F.Hodges. "Tutorial: Time-Multiplexed Stereoscopic Computer Graphics". *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp.20-30, March 1992.
- [HOWLETT90] E.M.Howlett. "Wide Angle Orthostereo". *SPIE Vol.1256 Stereoscopic Displays and Applications*, pp.210-22390.
- [ISO/IEC N357400] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N3574. "Call for Proposals for MPEG-4 Multi-users technology". Beijing, July 2000. <http://www.csel.it/mpeg/>
- [ISO/IEC00A] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N3747 "Overview of the MPEG-4 Standard (V.16-La Baule Version)". Ed. Rob Koenen. La Baule, October 2000. <http://www.csel.it/mpeg/standards/mpeg-4/mpeg-4.htm>
- [ISO/IEC00B] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N3536 "Overview of the MPEG-4 Standard (V.15-Beijing Version)". Ed. Rob Koenen. Beijing, July 2000.
- [ISO/IEC00C] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N3444 "Overview of the MPEG-4 Standard (V.14-Geneva Version)". Ed. Rob Koenen. Geneva, May/June 2000.
- [IZQUIERDO99] E.Izquierdo and X.Feng. "Modeling Arbitrary Objects Based on Geometric Surface Conformity". *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.9, no.2, pp.336-352, March 1999.
- [KATTO99] J.Katto and M.Ohta. "System Architecture for Synthetic/Natural Hybrid Coding and Some Experiments". *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.9, no.2, pp.325-335, March 1999.
- [KELSO92] R.P.Kelso. "Perspective Projection: Artificial and Natural". *Engineering Design Graphics Journal*, pp.27-35, Fall 1992.
- [KOENEN97] R.Koenen, F.Pereira, L.Chiariglione. "MPEG-4: Context and Objectives". *Signal Processing: Image Communication*, vol.9, pp.295-30497.
- [KOENEN99] R. Koenen. "MPEG-4 Multimedia for our time". *IEEE Spectrum*. Feb. 1999.
- [KOMPATSIARIS98] I.Kompatsiaris, D.Tzovaras, M.G.Strintzis. "3D Model-Based Segmentation of Videoconference Image Sequences". *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.8, no.5, pp.547-561, September 1998.
- [KURASHIMA00] C.S.Kurashima. "Comunicação Multimedia Imersiva: Estudo Comparativo de Padrões de Compressão de Video com ênfase na Exibição de Imagens Estereoscópicas". PEE-5830-Processamento Digital de Imagens, Junho 2000.
- [MA93] R.Ma and M.Thonnat. "A Robust and Efficient Stereo Matching Algorithm". *INRIA Rapport de Recherche*, no.1860, February 1993.
- [MACHADO01] Machado, L. S.; Zuffo M. K.; "A Virtual Reality Simulator for Bone Marrow Harvest for Pediatric Transplant", *MMVR 2001, Medicine Meets Virtual Reality Conference*, January 2001, New Port Beach, CA.
- [MAHONEY94] Mahoney, D.P. "Virtual Science". *Computer Graphics World*, p. 20-26, julho de 1994.

- [MALASSIOTIS97] S.Malassiotis and M.G.Strintzis. "Coding of Video-conference Stereo Image Sequences using 3D Models". Signal Processing: Image Communication, vol.9, pp.125-13597.
- [MARR76] D.Marr and T.Poggio. "Cooperative Computation of Stereo Disparity". Science, vol.194, pp.283-287, October 1976.
- [MOMUSYS] Mobile Multimedia Systems (MoMuSys). "*The Project and its Impact on MPEG-4*". The MoMuSys Web Site, <http://www.tnt.uni-hannover.de/project/eu/momusys/>
- [MURRAY97] Murray, J. H. "Hamlet on the Holodeck: The Future of Narrative in Cyberspace", The MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1997, 324p.
- [NETRAVALI95] A.Netravali and A.Lippman. "*Digital Television: A Perspective*". Proceedings of the IEEE, vol.83, no.6, June 1995, pp.834-842.
- [NOLL95] P.Noll. "*Digital Audio Coding for Video Communications*". Proceedings of the IEEE, vol.83, no.6, June 1995, pp.925-943.
- [OHM99] J-R.Ohm. "Incomplete 3D Multiview Representation of Video Objects". IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol.9, no.2, pp.389-400, March 1999.
- [ORZESSEK98] M.Orzessek and P.Sommer. "*ATM & MPEG-2: Integrating Digital Video into Broadband Networks*". Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ98, "*Chapter 3: MPEG-2*", pp.39-76.
- [PEREIRA97] F.Pereira. "Very Low Bitrate Video Coding: The Content-Based Approach". Proc. VLVB'97, Linkoping – Sweden, July 1007. <http://www.tnt.uni-hannover.de/project/eu/momusys/>
- [POLLARD85] S.B.Pollard, J.E.W.Mayhew, J.P.Frisby. "PMF: A Stereo Correspondence Algorithm using a Disparity Gradient Limit". Perception, vol.14, pp.449-47085.
- [PREMINGER99] G.M.Preminger, F.C.Delvecchio, J.M.Birnback. "Digital Image Recording: na Integral Aspect of Video Endoscopy". Medicine Meets Virtual Reality, IOS Press99, pp.268-274.
- [PURI97] A.Puri, R.V.Kollarits, B.G.Haskell. "Basics of stereoscopic video, new compression results with MPEG-2 and a proposal for MPEG-4". Signal Processing: Image Communication, vol.10, pp.201-234, July.1997.
- [PYNE99] Marc Pyne e Lars Yoder, "DLP and Digital Visual Interfaces: The Complete Digital Solution", Texas Instruments digital Imaging, June, 1099.
- [RICHER96] Mark S. Richer "The Vision of HDTV", HDTV, 96, Keynote Address.
- [SALEMBIER95] P.Salembier, L.Torres, F.Meyer, C.Gu. "*Region-Based Video Coding Using Mathematical Morphology*". Proceedings of the IEEE, vol.83, no.6, June 1995, pp.843-857.
- [SALISBURY95] Salisbury, K. Haptics: "The Technology of Touch. HPCWire Special", novembro de 1995. Disponível também em: <http://www.sensable.com/community/haptwhpp.htm>.
- [SCHÄFER95] R. Schäfer and T.Sikora. "*Digital Video Coding Standards and Their Role in Video Communications*". Proceedings of the IEEE, vol.83, no.6, June 1995, pp.907-924.
- [SIGNÈS] J. Signès. "Binary Format for Scene (BIFS): Combining MPEG-4 Media to Build Rich Multimedia Services". Julien Signès' award-winning papers, in <http://www.cselt.it/mpeg/>

- [SIKORA] T. Sikora. "MPEG1 and MPEG-2 Digital Video Coding Standards". [http://wwwam.HHI.DE/mpeg-video/papers/sikora/mpeg1\\_2/mpeg1\\_2.htm](http://wwwam.HHI.DE/mpeg-video/papers/sikora/mpeg1_2/mpeg1_2.htm)
- [STEREO87] "StereoGraphics Developers' Handbook". StereoGraphics Corporation87.
- [TATRC01] Telemedicine & Advanced Technology Research Center, "TATRC's 2001 Principal Investigators Review: Precision Health Care", January 24, 2001, in conjunction with Medicine Meets Virtual Reality 2001, Newport Beach, CA, USA, 2001.
- [WHEATSTONE38] Wheatstone. C. "On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision", Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Royal Society, London, UK, 29 de dezembro de 1838, p. 371-394.

## CAPÍTULO 3 CAVERNA Digital

---

(...)

E impelido pela minha ávida vontade, desejoso de ver a grande abundância de formas variadas e estranhas feitas pela engenhosa natureza, andando à roda um pouco entre os rochedos sombrios, cheguei à entrada de uma grande caverna.

Na sua porta, ficando um tanto estupefato e sem saber o que era, arqueando-me, firmei a mão cansada sobre o joelho e com a direita tapei os olhos, ficando às escuras. E muitas vezes me abaixei aqui e ali para ver se avistava alguma coisa, mas era impedido pela escuridão que havia lá dentro.

Estando um pouco ali, dois sentimentos me sobressaltaram: medo e desejo; medo pela ameaçadora e escura CAVERNA; desejo de ver se lá dentro havia algo extraordinário.

**Leonardo da Vinci<sup>5</sup>**

---

<sup>5</sup> Do livro "Obras Literárias, Filosóficas e Morais", p. 227 editora Hucitec São Paulo, 1997, tradução: Roseli Sartori, citação indicada pelo Eng. Jessian Cavalcanti

Neste capítulo apresentamos o projeto e desenvolvimento do sistema de multiprojeção estereoscópico para aplicações imersivas da realidade virtual. Dentre os vários sistemas de multiprojeção estereoscópicos disponíveis estamos interessados em sistemas capazes de propiciar a imersão total do usuário no ambiente de simulação. Particularmente, pesquisamos e desenvolvemos um sistema baseado em um cubo com projeção estereoscópica cinco de suas paredes, o qual denominaremos de **CAVERNA Digital**.

### **3.1 Introdução**

Há 30 anos atrás, Ivan Sutherland propôs um artigo visionário intitulado "The Ultimate Display" [SUTHERLAND68], estabelecendo os paradigmas da realidade virtual moderna, a partir da publicação deste artigo, a pesquisa e desenvolvimento da realidade virtual intensificou-se resultando nas primeiras aplicações da realidade virtual em simulação de vôos ainda da década de 70.

Dentre as várias possibilidades de sistemas de multiprojeção imersivos, decidiu-se implementar uma CAVERNA Digital (*CAVE Automatic Virtual Environment*) [CRUZ-NEIRA93], isto é, optou-se por um sistema de multiprojeção estereoscópico montado na forma de um cubo, onde imagens de alta resolução são projetadas em cada uma das faces do mesmo permitindo que usuários sejam totalmente inseridos (imersos) em uma simulação gerada por computador (Figura 3-1). Dentre as muitas vantagens deste tipo de sistema podemos citar sua alta resolução, grande flexibilidade de resolução e a ampla cobertura do campo de visão (*field-of-view*). Sistemas do tipo CAVERNA podem ter de 3 a 6 faces e requerem sistemas computacionais capazes de gerar e sincronizar imagens em alta resolução a partir da mesma base de dados gráfica.

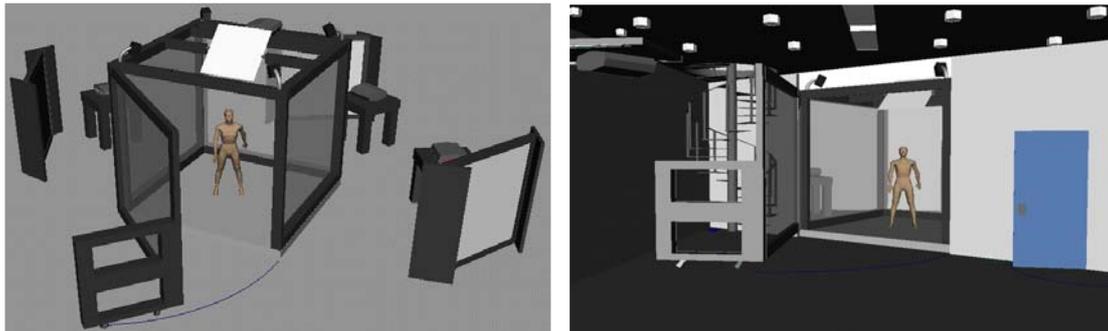
### **3.2 Descrição Geral**

A CAVERNA Digital implementada é composta por um cubo de dimensão 3m x 3m x 3m com projeção em 5 de suas faces (4 paredes e piso). O sistema foi projetado de forma a cobrir todo o campo de visão de um usuário com estatura de 1,70m posicionado em pé no centro da face inferior do cubo. Para aplicações coletivas, o sistema pode comportar até 6 usuários no seu interior compartilhando a mesma experiência virtual [DISZ97].

A escolha das faces do cubo onde há projeção foi baseada no potencial de uso de aplicações relevantes para Ciências, Engenharias e Indústria brasileira (por exemplo, setores automotivo,

petrolífero, energético, aeronáutico, de saúde, de previsão numérica de tempo, biociências e arte eletrônica).

As imagens das quatro paredes são retroprojetadas em películas de material plástico polímero branco semi-translúcido. A retroprojeção das imagens nas três paredes fixas é baseada em espelhos de cristal com alto índice de reflexão e planicidade; e a retroprojeção das imagens na porta é realizada diretamente, sem a necessidade de espelho.



(a)

(b)

**Figura 3-1 - Leiaute da CAVERNA Digital**

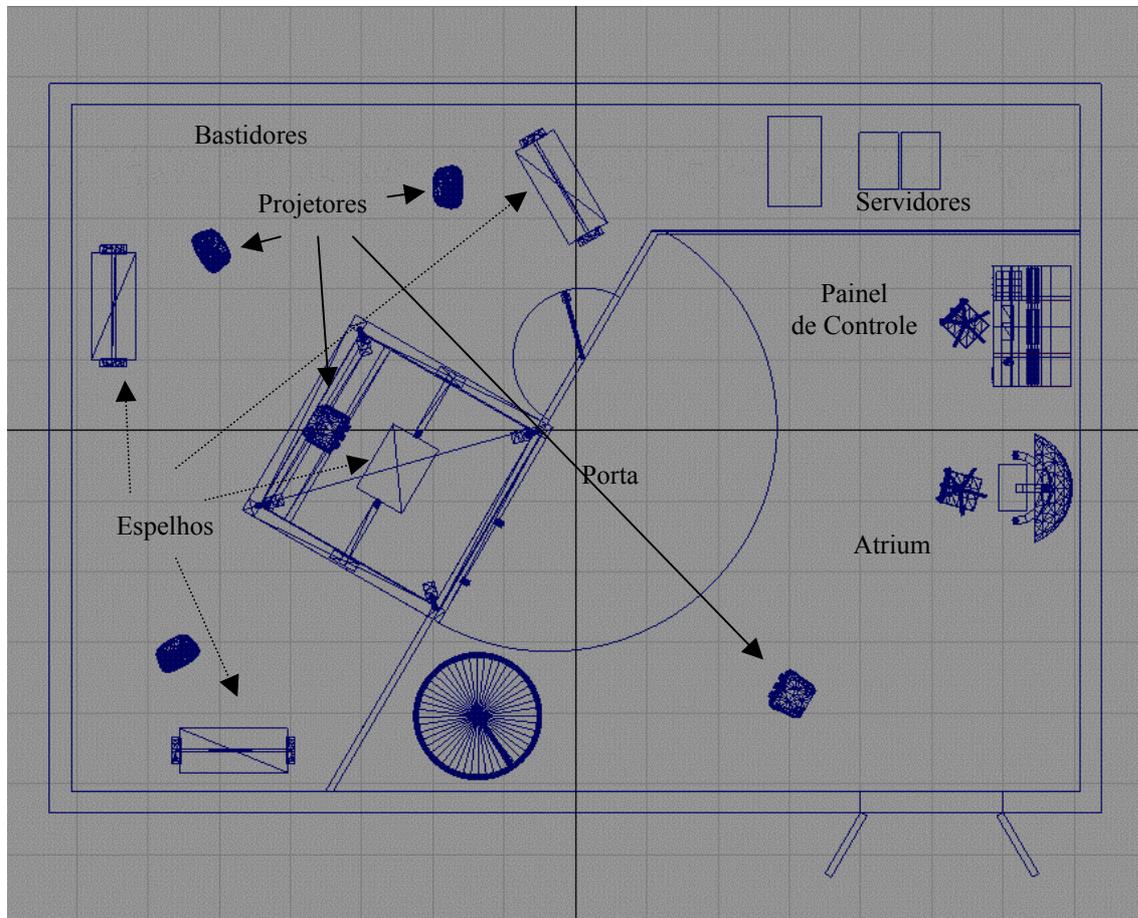
### **3.3 Aspectos Arquitetônicos e Estruturais**

A Figura 3-1a apresenta o leiaute estrutural da CAVERNA Digital, a Figura 3-1b apresenta o leiaute arquitetônico da CAVERNA Digital. No projeto optou-se por embutir totalmente os projetores e outros dispositivos ópticos eletrônicos, escondendo do usuário final as particularidades técnicas do sistema.

Normalmente, considerando-se faces com dimensão de 3m x 3m, a resolução mínima recomendada para cada face é de 1024 x 1024 pixels, estabelecendo um tamanho de pixel da ordem de 3mm x 3mm. Desta forma, um aspecto crítico no projeto estrutural foi o ajuste físico entre as faces de projeção que não deve passar de alguns milímetros.

Do ponto de vista estrutural foram levados em conta aspectos como compatibilidade eletromagnética, iluminação, isolamento acústico, controle de temperatura e umidade, e finalmente, a possibilidade de montagem de periféricos com resposta táctil no interior do cubo.

A estrutura do cubo é toda feita em madeira e plástico, envolvendo o uso de metal apenas em alguns parafusos estruturais e projetores, buscando minimizar a distorção dos campos magnéticos gerados pela maioria dos rastreadores de posição disponíveis comercialmente.



**Figura 3-2 - Leiaute em planta baixa da CAVERNA Digital 1º Andar**

A experiência virtual imersiva começa antes do usuário entrar no interior do cubo com a adaptação do sistema visual humano a intensidade de luz projetada nas faces. A eliminação do ofuscamento é realizada através do uso de difusores de luz e da utilização de lâmpadas com alta resposta de cor. A flexibilidade de iluminação é também importante demandando a utilização de sistemas de iluminação heterogêneos baseados em lâmpadas alógena e lâmpadas fluorescentes, ambos com controle automatizado de intensidade.

A Figura 3-2 apresenta o leiaute em planta baixa da CAVERNA Digital. Os bastidores da CAVERNA alojam os projetores e espelhos bem como a estrutura em madeira. Os espelhos são utilizados para minimizar a área de bastidores bem como minimizar o volume de ar-refrigerado, tratamento acústico e isolamento óptico das paredes (toda a área dos bastidores é

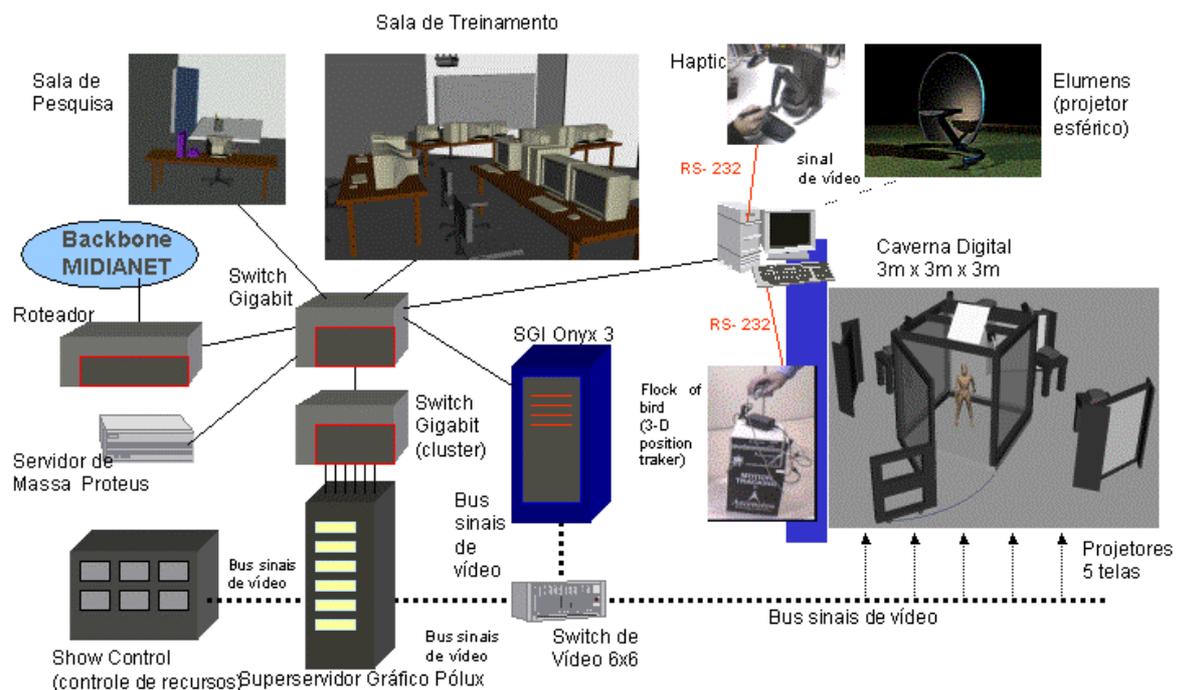
pintada de preto fosco). Para não comprometer as características de isolamento acústico optou-se pela utilização de sistemas de ar-condicionado de alto volume (60.000 BTUs) com baixa emissão sonora.

### 3.4 O Superservidor Gráfico SGI Onyx 3000 Infinity Reality 3

Praticamente, a totalidade de CAVERNAS Digitais atualmente disponíveis no mundo utilizam a plataforma SGI como plataforma básica de exibição de imagens.

No caso da CAVERNA Digital, implementada, escolhemos uma configuração de plataforma baseada num servidor Onyx 3000 com 1 Gbyte RAM e duas CPUs MIPS R12000 400MHz, e cartão gráfico Infinity Reality 3. O sistema operacional utilizado é o IRIX 6.5.

A Figura 3-3 apresenta a infraestrutura computacional e periféricos atualmente instalados e disponíveis na CAVERNA.



**Figura 3-3 - Infraestrutura Computacional da CAVERNA Digital**

Na Figura 3-3 podemos identificar o aglomerado PLÊIADES que será descrito em detalhes no capítulo 4.

### 3.5 Ambiente de Programação

Levando-se em conta a utilização de microprocessadores heterogêneos Intel e MIPS, estamos utilizando os sistemas operacionais Windows 2000, Linux e IRIX. Um dos principais motivos

desta escolha foi a grande quantidade de aplicativos nestes três sistemas operacionais. A maioria das aplicações comerciais estão disponíveis na plataforma operacional IRIX, enquanto a grande maioria de aplicações de domínio público estão disponíveis na plataforma operacional Linux.

### **3.5.1 Bibliotecas de Desenvolvimento**

O ambiente de desenvolvimento de programas aplicativos para sistemas de multiprojeção estereoscópicas é complexo, pois leva em conta aspectos como a representação de grandes estruturas de dados, o gerenciamento de periféricos e o mapeamento das imagens nos projetores.

Na CAVERNA Digital é necessário alimentar cinco faces de projeção. Além disso, devido ao tamanho da tela, deve-se utilizar uma resolução suficientemente grande para que não se note a discretização das imagens. Assim, estamos utilizando tipicamente a resolução de 1024x1024 na frequência de 96Hz.

O IRIS-Performer, por exemplo, é uma biblioteca gráfica de alto desempenho desenvolvida pela SGI que opera tanto em plataformas IRIX como Linux. Esta biblioteca permite a sincronização das imagens geradas em conjunto com a utilização de sistemas de rastreamento, além de uma série de efeitos que podem ser produzidos pela arquitetura gráfica e que não são facilmente acessíveis para outras plataformas de desenvolvimento. Embora o IRIS-Performer tenha um bom potencial para o desenvolvimento de aplicações para a CAVERNA Digital ele ainda exige do usuário um grande grau de conhecimento de técnicas computacionais [SGI00], [ROHLF94].

A biblioteca CAVELib ([www.vrco.com](http://www.vrco.com)) é uma interface de programação de aplicação (API) que provê o suporte geral para a construção de ambientes virtuais para sistemas de multi-exibição imersivos e equipamentos de realidade virtual. A CAVELib permite a configuração dos dispositivos de exibição, a sincronização dos múltiplos processos, mapeamento das vistas estereoscópicas, comunicação com os dispositivos de rastreamento, suporte ao modelo de câmera virtual baseado no ponto de vista do observador e os recursos básicos de comunicação em rede entre ambientes de realidade virtual remotos. A CAVELib permite que um simples programa seja disponibilizado para uma grande variedade de dispositivos de exibição de realidade virtual sem a necessidade de recompilação destes programas. Originalmente

desenvolvida para estações gráficas SGI, recentemente a CAVELib foi também disponibilizada para aglomerados de PCs.

A biblioteca CAVERNsoft G2 [PARK00] é um conjunto de ferramentas para suportar computação de alto desempenho e gerenciamento de grandes bases de dados que podem ser acoplados a ambientes de realidade virtual colaborativos e imersivos. Esta biblioteca incorpora módulos que provêm o controle total da rede no nível de *sockets*, a distribuição de dados baseados em RPCs (*Remote Procedure Calls*), e módulos de alto nível para a implementação de camadas de aplicação e avatares.

### **3.5.2 Bibliotecas de Sincronização**

Para a utilização do aglomerado é necessário garantir a coerência dos dados distribuídos entre os nós. Um dos pontos mais críticos é fazer com que os nós manipulem o movimento dos mundos virtuais ao mesmo tempo, assim, é necessário que as movimentações sejam trocadas rapidamente entre os nós. Para isto, está sendo desenvolvida uma biblioteca de sincronização, denominada de DICELib [GNECCO01], descrita no Capítulo 4, que tem o objetivo de fazer este sincronismo a nível de aplicação [SINGHAL99].

### **3.6 Sistema de Multiprojeção**

Para o sistema de multiprojeção são utilizados cinco projetores de alta resolução baseados em tecnologia CRT (*Cathode Rays Tubes*) Electrohome Marquee 9500LC com a eletrônica modificada pela empresa TAN [www.tan.de] a fim de permitir a calibração eletrônica e física.

No caso físico, todos os cuidados foram tomados em relação à distância entre os projetores e as telas para que fossem iguais, os ângulos dos espelhos e a altura dos projetores em relação ao piso. Foi realizada uma fixação eficiente dos projetores para não haver problemas de movimentação devido à dilatação e acomodação do piso. O sistema de calibração eletrônico destes projetores incorpora uma grande possibilidade de ajustes para que as imagens sejam ajustadas às dimensões exatas das faces, estejam totalmente alinhadas apresentem suas cores devidamente compatibilizadas para proporcionar continuidade das imagens entre as faces.

Alguns cuidados adicionais devem ser tomados em relação às projeções. O principal cuidado é o de evitar que a luz externa chegue às telas alterando a qualidade e intensidade das projeções. Além disso, a relação entre a transparência da tela e a intensidade luminosa dos projetores deve ser devidamente balanceada, pois se a intensidade dos projetores for muito

alta poderá se identificar regiões da tela mais iluminadas onde se encontram as lentes do projetor; por outro lado, se for muito baixa, a imagem poderá ser muito escura, o que compromete a visualização dos mundos virtuais.

Finalmente, um último aspecto no sistema de multiprojeção é a calibração da projeção para evitar cintilação (*hot spotting*) nas telas. Este efeito de cintilação é notado quando não há um balanceamento uniforme da distribuição de luz nas faces de projeção.

### **3.7 Sistema de Imagens Estereoscópicas**

As projeções na CAVERNA Digital são feitas nas telas por retroprojeção, sendo que no piso a projeção é direta. Contudo, uma simples projeção não induz ao usuário o efeito estereoscópico. Para induzir no usuário a sensação de imersão com visão em profundidade, é utilizado um sistema de estereoscopia ativa, necessitando da geração de uma imagem para cada olho do observador [DAI97].

A disponibilidade da estereoscopia na maioria das CAVERNAS Digitais é baseada em sistemas ativos, onde é necessário enviar um sinal de sincronização para os óculos do usuário, para estes comutarem a abertura de suas lentes, ou seja, quando o computador estiver gerando a imagens para o olho esquerdo deverá ser enviado um comando para os óculos fecharem a lente do olho direito, e vice-versa. Devido ao fato de que normalmente o sistema visual humano consegue detectar transições em frequências inferiores a 60 Hz, é necessário produzir imagens a 120 Hz ou seja 60 Hz para cada olho.

Utilizando o servidor gráfico Onyx III estamos conseguindo imagens de qualidade com frequências de 96Hz, ou seja 48 Hz para cada olho.

### **3.8 Rastreamento de Posição**

Para o controle de navegação e posicionamento da CAVERNA Digital é necessário que o sistema de rastreamento de posição seja o mais transparente possível para o usuário. Para isto são utilizados sistemas de rastreamento eletromagnéticos, que conseguem detectar a posição e orientação de elementos no espaço tridimensional.

Com o sistema de rastreamento é possível localizar a posição do usuário e recalculer a projeção das imagens para o ponto de vista dele. Além disso, mediante um sistema conhecido

como **varinha** (*wand*) o qual consiste de uma varinha eletrônica com botões o usuário navegar interativamente no ambiente virtual.

### **3.9 Sistema de Gerenciamento**

#### **3.9.1 Estação de Controle ORION**

Devido a grande diversidade de recursos da CAVERNA Digital o seu gerenciamento torna-se complexo. Para tanto propusémos uma inovação que é o estação de controle chamado de ORION. Este estação é basicamente uma mesa com uma série de dispositivos integrados, destacando-se a série de monitores, um teclado e mouse e um conjunto de pequenas alavancas para controle de áudio, iluminação, comutação de teclado e mouse. A estação de controle ORION é apresentada na Figura 3-4.



**Figura 3-4 - A Caverna Digital e Estação de Controle ORION**

#### **3.9.2 Programa de Controle SIRIUS**

Para o controle de todo ambiente da CAVERNA, propusémos o desenvolvimento de um programa de controle denominado SIRIUS.

Considerando-se a heterogeneidade do sistema, optou-se também por uma interface independente de arquitetura. A solução proposta é baseada em um servidor acionado mediante aplicativos em Java, sendo assim possível controlar remotamente todos os recursos disponíveis no ambiente.

A Figura 3-5 apresenta a interface de usuário da Ferramenta SIRIUS. Um contexto é o conjunto de parâmetros de iluminação, mapeamento de vídeo, situação dos projetores,

calibração dos rastreadores e distribuição de áudio. Os contextos podem ser modificados e armazenados pelo usuário.

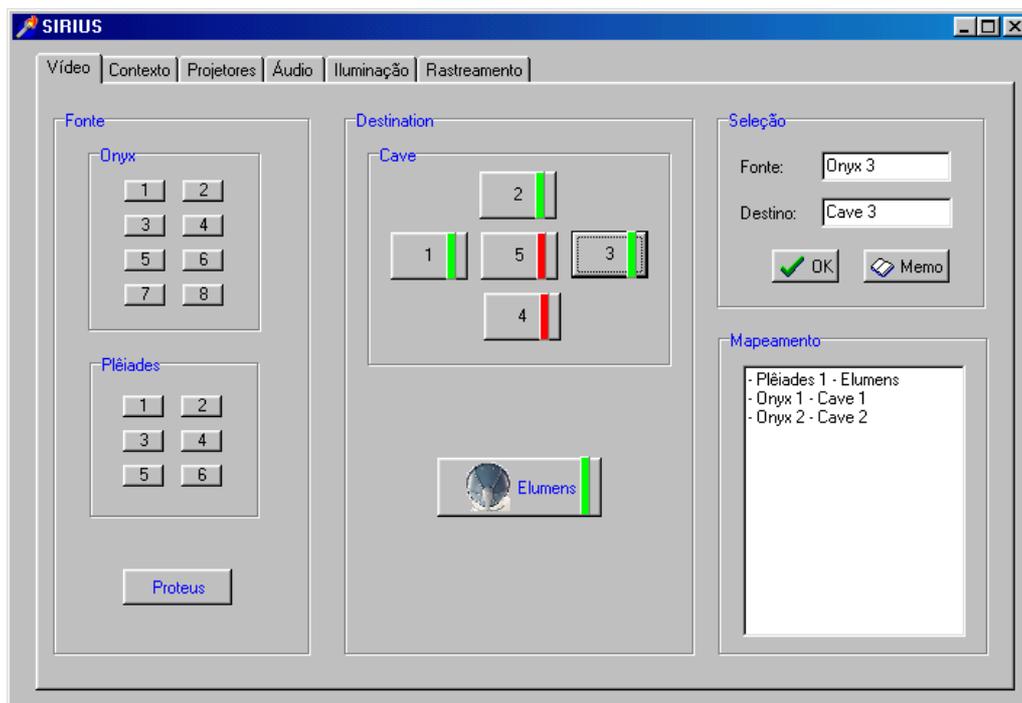


Figura 3-5 - Tela da Interface de Gerenciamento SIRIUS

### 3.9.2.1 Gerenciamento de Comutação de Vídeo

A CAVERNA Digital utiliza um sistema de geração de sinal de vídeo analógico, baseado no padrão de sinal RGBHV ( três canais de cor: R vermelho, G verde e B azul e dois canais de sincronismo: H horizontal e V vertical). Levando-se em conta a disponibilidade de diferentes fontes de sinal de vídeo (servidores SGI e PLÊIADES) existe a necessidade de se comutar as entradas dos projetores para o servidor gráfico utilizado, esta necessidade impôs o uso de um comutador de vídeo onde é possível se escolher diversas entradas e diversas saídas. Um aspecto importante é a capacidade deste comutador de vídeo de ser controlado remotamente por uma porta serial comum.

### 3.9.2.2 Gerenciamento dos Projetores

Os projetores possuem interfaces de comunicação serial que permitem o controle remoto por computador, uma das principais aplicações desta facilidade é permitir que os projetores sejam ligados e desligados remotamente, aumentando consideravelmente sua vida útil.

### 3.9.3 Gerenciamento de Áudio

O sistema de gerenciamento de áudio é muito similar ao sistema de vídeo. Também existe a necessidade de se comutar o sinal dentre os vários sistemas. Contudo devido às várias soluções de mercado, este necessita de uma mesa de som para se escolher os diversos canais de entrada e as respectivas saídas.

Como sistema de saída existem duas soluções, a primeira é gerar o som em caixas amplificadas espalhadas estrategicamente na CAVERNA Digital, outra possibilidade é a utilização de um fone de ouvido sem fio, e o som gerado nele sendo baseado na posição do observador que é conhecida através do sistema de rastreamento.



**Figura 3-6 - Usuário no Ambiente Imersivo da CAVERNA Digital**

### **3.10 Conclusões**

Sistemas de realidade virtual baseados em multiprojeção estereoscópica baseados no paradigma de CAVERNA Digital são ferramentas importantes utilizadas em várias aplicações da engenharia e ciências. Este capítulo apresentou as várias decisões de projeto e inovações relacionadas com a implementação da primeira CAVERNA Digital da América Latina.

A diversidade de recursos existentes na CAVERNA Digital proporcionam um enorme potencial de aplicabilidade e pesquisa nas diversas áreas do conhecimento humano. A Figura 3-6 apresenta usuários no interior da CAVERNA utilizando-se de algumas aplicações já disponibilizadas.

Dentre os vários desafios ainda em aberto, destacam-se a disponibilidade de ambientes de programação mais eficientes e ambientes de computação mais poderosos. No capítulo 4 apresentamos a arquitetura do multicomputador gráfico PLÊIADES, atualmente utilizado para o acionamento das projeções e simulações.

De forma geral, a reação de usuários leigos ao primeiro contato com a CAVERNA Digital é de curiosidade, e tão logo o sistema é ligado, percebe-se uma rápida familiarização do usuário com o sistema, atingindo assim um dos objetivos do projeto da CAVERNA que é o desenvolvimento de interfaces intuitivas.

Finalmente, dois focos de pesquisa devem ser considerados na direção do uso mais disseminado deste tipo de tecnologia Digital no cotidiano: o desenvolvimento de sistemas de autoestereoscopia, eliminando-se assim o único elemento invasivo ao usuário que são os óculos polarizadores; e a minimização dos custos associados, sendo que uma possibilidade muito promissora é a substituição da atual tecnologia de projeção CRT pela tecnologia de projeção DLP.

### 3.11 Bibliografia do Capítulo

- [CRUZ-NEIRA92] C. Cruz-Neira, D.J. Sandin, T.A. DeFanti R.V. Kenyon and J.C. Hart, "The Cave Automatic Virtual Environment", Communications of the ACM, 35(2): 64-72, June 1992.
- [CRUZ-NEIRA93] Cruz-Neira, C.,D.J. Sandin, and T.A. DeFanti. Surround-screen projection-based virtual reality: The design and Implementation of the CAVE. In SIGGRAPH 1993. ACM SIGGRAPH, Anaheim, July 1993.
- [CRUZ-NEIRA95] Carolina Cruz Neira, "Virtual Reality Based on Multiple Screens: The CAVE and its Applications to the Computational Science and Engineering", Doctor's Thesis, University of Illinois, Chicago USA, 1995, 250p.
- [DAI97] Dai, P., Eckel G., Göbel, M., Hasenbrink, F., Lalioti, V., Lechner, U., Strassner, J., Tramberend, H., Wesche, G., "Virtual Spaces: VR Projection System Technologies and Applications", Tutorial Notes, Eurographics '97, Budapest 1997, 75 pages.
- [DISZ97] Disz, T. "Introduction - The CAVE: family of Virtual Reality devices.", Argonne National Laboratory, Proceedings of the USENIX Windows NT Workshop, August 11-1397, Seattle, Washington, USA
- [JALKANEN00] Janne Jalkanen, "Building a Spatially Immersive Display: HUTCAVE", Tese, Helsinki University of Technology, Depto. of computer Science, 2000.
- [ROHLF94] Rohlf, J. e Helman, J. "IRIS Performer: A High Performance Multiprocessing Toolkit for Real-Time 3D Graphics", SIGGRAPH'94, Orlando, Florida, July94 pp.381-394
- [SINGHAL99] Singhal, S. e Zyda, M. "Networked virtual environments : design and implementation", Addison Wesley99.
- [SUTHERLAND68] Sutherland, Ivan E. "A Head Mounted Three Dimensional Display", Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conferences, Washington DC, Thompson Books68, 757-764.

## CAPÍTULO 4 O Multicomputador Gráfico PLÊIADES

---

(...)

Observaram o quarto.

Media 12 metros de comprimento por 12 de largura e 9 de altura.

Custara quase a metade do resto da casa.

"Nada é bom demais para os nossos filhos", dissera George.

O quarto estava silencioso, vazio como uma clareira da selva ao meio-dia, com paredes vazias e bidimensionais. Enquanto George e Lydia Hadley permaneciam no centro do quarto, as paredes começaram a ronronar, recuar e se transformarem em distância cristalina, segundo parecia. Subitamente, apareceu a estepe africana, em três dimensões, em côres, com as menores pedras e gravetos fielmente reproduzidos. O teto acima transformou-se em azul profundo com um quente sol amarelo.

George Hadley sentiu o suor porejar-lhe a testa.

- Vamos sair do sol - disse ele. - Isto é real demais.

(...)

**Ray Bradbury<sup>6</sup>**

---

<sup>6</sup> Conto "A Estepe Africana", do livro Uma Sombra Passou por Aqui, editora Record, 1951, Tradução do título original em inglês The Illustrated Man, por Ruy Jungmann.

Este capítulo apresenta o Multicomputador Gráfico PLÊIADES, este sistema é um servidor gráfico de alto desempenho baseado no paradigma de arquitetura de aglomerado de computadores (*clusters*).

#### 4.1 Introdução

Uma das maiores barreiras em realidade virtual imersiva é a demanda computacional para a geração e multi-exibição de imagens realísticas em tempo real, demandando pesquisa e desenvolvimento em sistemas de computação e processamento gráfico de alto desempenho.

O custo é um fator muito importante, considerando que os atuais sistemas disponíveis comercialmente têm custos entre US\$20K e US\$2M, impondo uma limitação considerável para a popularização desta tecnologia. Levando-se em conta estes aspectos, as aplicações correntes são resultado de compromissos entre qualidade de imersão, custo e interatividade.

Atualmente, os aglomerados são uma alternativa aos sistemas de alto desempenho disponíveis no mercado. Estes sistemas têm sido utilizados em diversas aplicações computacionalmente intensivas como é o caso do processamento científico voltado à previsão numérica de tempo e do processamento transacional voltado à serviços na Internet como, por exemplo, os servidores WWW (*World Wide Web*).

Sistemas baseados em **aglomerados de computadores**, também denominados de **multicomputadores**, são basicamente um conjunto de computadores convencionais de baixo custo que agrupados suportam aplicações de alto desempenho. Cada computador do aglomerado é designado por **nó** de computação, ou simplesmente nó. Os nós são normalmente conectados a sistemas de interconexão de alta velocidade, que podem ser desde sistemas convencionais disponíveis comercialmente (operando em dezenas a centenas de MBits/segundo) até sistemas de interconexão de altíssima velocidade (operando em centenas de milhares de MBits/segundo). Normalmente, os multicomputadores são designados também de sistemas de **memória distribuída**, pois a memória global do sistema é fisicamente distribuída entre os nós.

Dentre as vantagens na adoção deste paradigma podemos destacar o menor custo e a maior escalabilidade, permitindo a construção de multicomputadores com dezenas a centenas de nós de processamento.

Os **multiprocessadores** são sistemas de computação de alto desempenho em que vários processadores compartilham a mesma memória através de um sistema de interconexão, estes sistemas são também denominados de sistemas com **memória compartilhada**. Normalmente a comunicação entre os processadores e a memória nestes sistemas é muito mais eficiente fazendo com que os multiprocessadores possuam um desempenho maior do que os multicomputadores em algumas classes de aplicações. Entretanto uma limitação intrínseca dos multiprocessadores é a sua baixa escalabilidade e elevado custo.

## 4.2 Histórico

Desde a década de 80, a comunidade científica internacional tem voltado a sua atenção ao desenvolvimento de sistemas de computação de alto desempenho para a solução de grandes desafios científicos. Ao longo desta década, os primeiros sistemas de computação de alto desempenho baseados em processamento paralelo começaram a competir com os supercomputadores vetoriais.

A pesquisa em multicomputadores gráficos no Laboratório de Sistemas Integráveis da Escola Politécnica da USP teve seu início ainda no final da década de 80. Isto ocorreu a partir da constatação que a alternativa de implementação de multicomputadores gráficos é economicamente viável com a vantagem de potencialmente superar as limitações de escalabilidade e desempenho estabelecidas pelos superaceleradores gráficos.

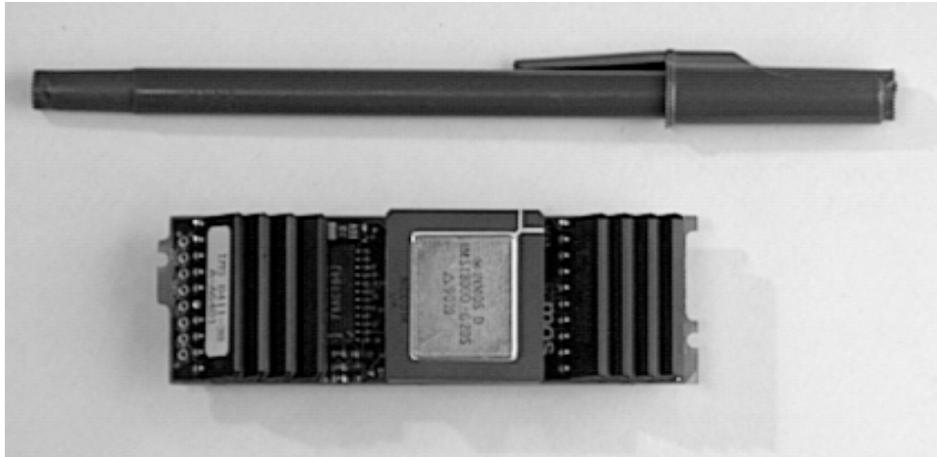
Ao longo da década de 90, dois multicomputadores foram desenvolvidos e investigados: o Multicomputador Gráfico TRGR-01 e o Multicomputador MEIKO CS-2. Estes sistemas serão descritos com maiores detalhes nas próximas seções.

### 4.2.1 O Multicomputador Gráfico TRGR-01

Na segunda metade da década de 80 um conceito revolucionário de microprocessador foi proposto, no caso os **transputadores** (*transputers = transistor+computer*) [ZUFFO93]. O principal objetivo dos microprocessadores transputadores era a proposição de uma célula básica (como o transistor na eletrônica) para o projeto e desenvolvimento de multicomputadores com dezenas de milhares de nós.

No caso a família de transputadores da empresa INMOS [ZUFFO93] inclui transputadores de 16 bits, 32 bits, e 32 bits com co-processador numérico (no caso o transputador modelo T800). Cada transputador inclui além da CPU, memória local, controle de memória RAM e 4

portas de comunicação serial rápidas (no caso 10MBits/s). Transputadores podem ser integrados em células de maior complexidade com memória local, denominados de módulos. A Figura 4-1 apresenta um módulo transputador T800 com 4Mbytes de memória RAM.



**Figura 4-1 - Nó Transputador T800 com 4MBytes de RAM**

A partir da tecnologia dos transputadores foi proposto e desenvolvido o sistema Multitransputador Gráfico TRGR-01. A arquitetura do TRGR-01 é capaz de suportar até 9 nós em uma única placa PC.



**Figura 4-2 - O Sistema TRGR-01**

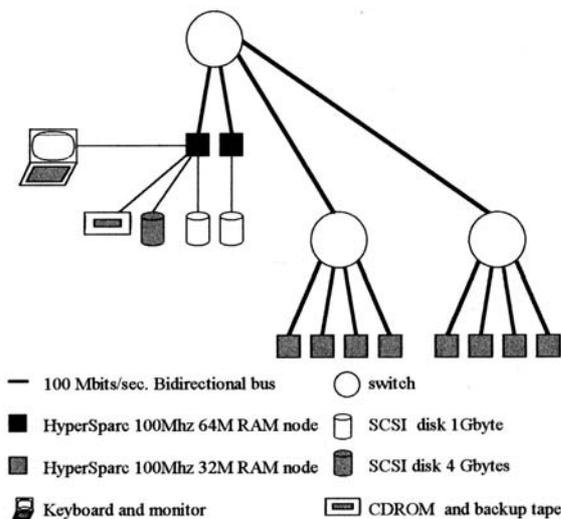
O nó principal tem acesso a uma memória gráfica de 4Mbytes suportando resoluções de até 1280x1024 pixels. Os nós restantes eram interligados pelos 4 canais de comunicação serial e bidirecional, permitindo a interconexão dos nós em topologias arbitrárias. A Figura 4-2 apresenta o sistema TRGR-01 desenvolvido. Para a avaliação dos sistema duas aplicações

gráficas foram desenvolvidas: o porte do ambiente de programação gráfica PHIGS [LOPES94], e o desenvolvimento de um programa baseado na técnica de lançamento de raios (*ray-tracing*) [ZUFFO93].

#### 4.2.2 O Multicomputador MEIKO CS-2

Em 1994 teve início o projeto "*Scientific Visualization for High Performance Computing Applications*". Este projeto objetivou o desenvolvimento de ambientes de programação para a visualização científica de alto desempenho sobre multicomputadores. Neste projeto foi utilizado o multicomputador MEIKO Computing Surface 2 da empresa MEIKO LTD [ZUFFO97].

O MEIKO CS-2 é um multicomputador baseado no microprocessador HyperSparc operando em 100MHz, os nós são interligados por um sistema de interconexão de alta velocidade em 100MBits/s. A topologia de interconexão é do tipo *fat-tree*.



**Figura 4-3 - Multicomputador Gráfico MEIKO -CS2**

Neste projeto foram desenvolvidas duas bibliotecas de visualização em paralelo: a PVV e a PI3D.

A biblioteca PVV (*Parallel Volume Rendering*) é uma conjunto de ferramentas de programação volumétrica que incorpora uma abstração de memória compartilhado em ambientes de computação distribuídos, baseada no paradigma de Memória Compartilhada Distribuída (DSM *Distributed Shared Memory*) [ZUFFO98].

A biblioteca PI3D (Processamento de Imagens em 3D) é um conjunto de ferramentas escritas sobre a biblioteca PVV para o processamento de grandes bases de dados volumétricos em paralelo [LOPES98].

### 4.3 Arquitetura do Multicomputador Gráfico PLÊIADES

A arquitetura do multicomputador PLÊIADES é apresentada na Figura 4-4. O multicomputador é composto por um aglomerado de 6 computadores Dual-Pentium III Xeon 1GHz com 75GBytes de disco rígido e 1GByte de memória RAM, interligados por um sistema de interconexão de alta velocidade.

O sistema de interconexão é baseado em comutadores Gigabit Ethernet NetStructure 470F Intel™ disponibilizando 8 portas ópticas 1000Base-SX. Os nós são interconectados através de placas adaptadoras de redes ópticas GigaBit Ethernet. Através de um comutador adicional o aglomerado é conectado a um sistema de armazenamento de massa de dados. Este sistema de armazenamento de massa de dados é baseado em uma estação Dual Pentium III Xeon 833MHz com um banco de discos de 250GBytes (responsável pelo armazenamento centralizado de bases de dados gráficas).

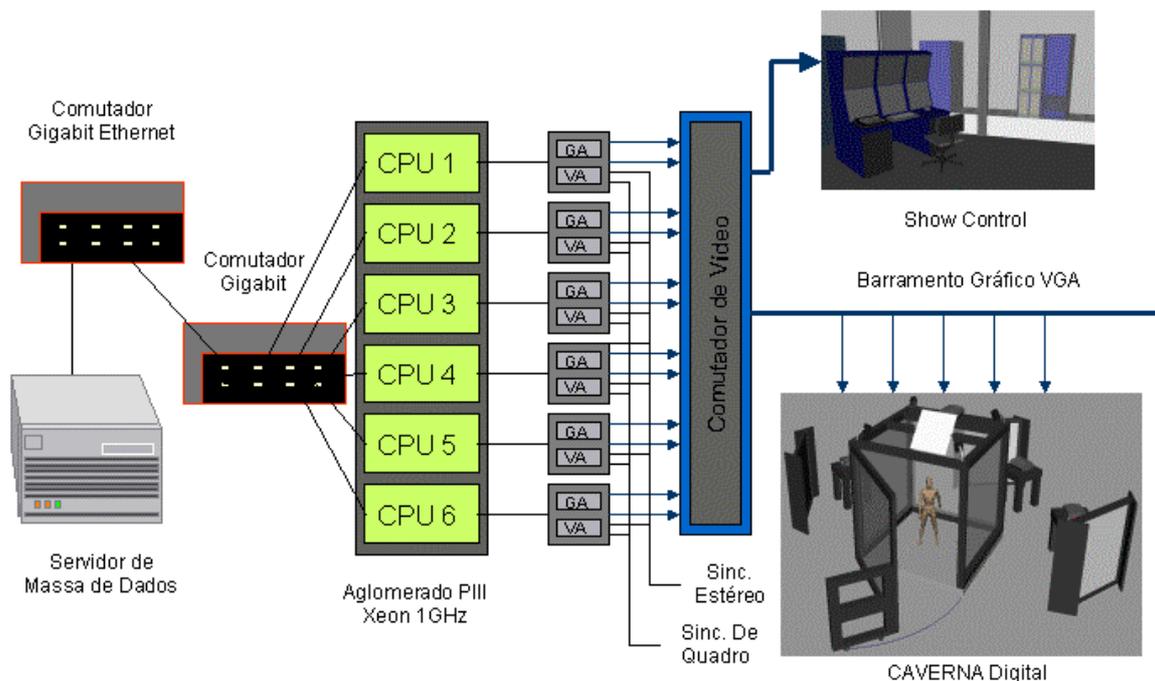


Figura 4-4 - Arquitetura do Multicomputador Gráfico PLÊIADES

O sistema de exibição gráfica de cada nó é baseado em placas aceleradoras gráficas Oxygen GVX1 PRO 3DLabs™ de propósito geral e placas Volume PRO VP500-2X Double Memory para a aceleração do processamento em aplicações de visualização volumétrica.

#### 4.4 Ambientes de Programação de Multicomputadores Gráficos

Dentro do atual estágio científico e tecnológico podemos considerar a disponibilidade de três grandes abordagens para a modelagem e síntese de imagens na área de computação visual: computação gráfica convencional, visualização volumétrica e recentemente, síntese tridimensional baseada em imagens.

A **computação gráfica** convencional [FOLEY92] compreende o conjunto de métodos e algoritmos relacionados com a síntese de imagens baseadas na representação por objetos descritos matematicamente através de modelos geométricos. Dentre as vantagens desta abordagem podemos citar a robustez matemática dos modelos e a alta qualidade das imagens obtidas, destacando-se as aplicações no CAD (*Computer Aided Design*) e na indústria de entretenimento, como jogos e efeitos especiais.

A **visualização volumétrica** compreende o conjunto de métodos e algoritmos para a representação, manipulação e exibição de espaços N-dimensionais representados no domínio dos voxels [ZUFFO98]. Dentre as vantagens desta abordagem podemos destacar o poder de representação e resolução do mundo, fazendo com que as aplicações da visualização volumétrica se concentrem principalmente em aplicações de visualização científica. Este é o caso de aplicações em previsão numérica de tempo, visualização tomográfica médica, interpretação de dados geo-sísmicos na área de petróleo, astrofísica, dentre outras aplicações.

Finalmente, devemos considerar uma abordagem promissora, que é a **síntese baseada em imagens** (*image based rendering*), em que a representação de objetos e síntese das imagens é baseada na respectiva reconstrução a partir de múltiplas imagens destes objetos.

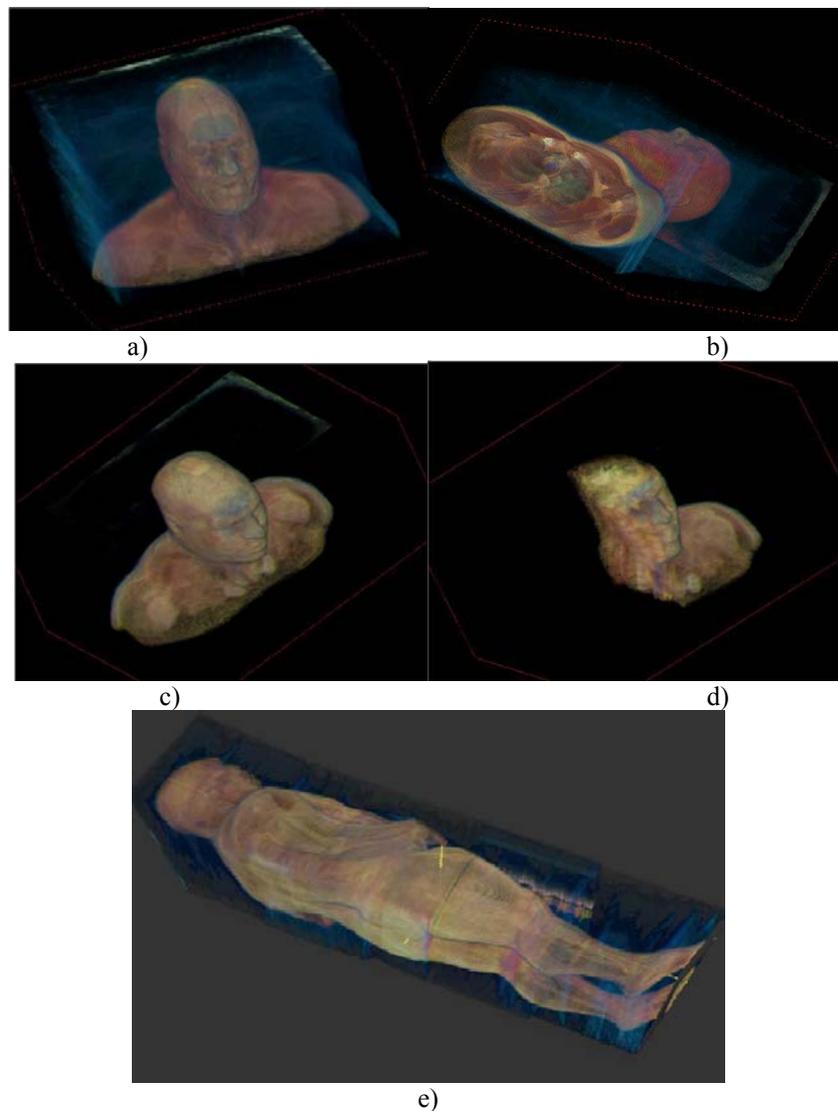
Várias propostas de pesquisa encontram-se em desenvolvimento atualmente. O projeto WireGL [HUMPHREYS00] é um projeto desenvolvido no Laboratório de Computação Gráfica da Universidade de Stanford para a exploração da síntese de imagens em aglomerados de PCs. O WireGL é implementado na forma de um *driver* OpenGL que permite a aplicações nativas (isto é, sem modificação) sintetizarem imagens de forma distribuída em aglomerados de PCs. O sistema proposto suporta um conjunto de sistemas de interconexão que inclui o

protocolo TCP/IP e o protocolo MYRINET GM para um conjunto de até 32 nós. O WireGL incorpora um gerenciador geométrico responsável por distribuir a geometria pelos nós de processamento, que se responsabilizam pela síntese de apenas um pedaço da imagem. Atualmente, a implementação considera apenas um ponto de vista.

Nesta seção, apresentaremos algumas propostas de ambientes de programação em multicomputadores gráficos considerando as três abordagens mencionadas.

#### 4.4.1 Ambientes de Programação Distribuídos em Visualização Volumétrica

A visualização volumétrica lida normalmente com grandes massas de dados que necessitam ser exibidas e manipuladas em tempo real.



**Figura 4-5 - Imagens do Visible Human Dataset Obtidas a Partir de Placas Aceleradoras Especializadas Volume PRO-VP500**

Com o constante decréscimo do custo de memória na década de 90, observamos que a capacidade de representação e resolução dos volumes de dados aumentou significativamente. Este fato tecnológico diminuiu a relação entre as dimensões do pixel (da imagem sintetizada) e do voxel (do volume processado) que atualmente são praticamente as mesmas, sendo que, em alguns casos, a dimensão do pixel é de algumas ordens de grandeza superiores à do voxel.

Atualmente, observamos a demanda por resoluções de imagem de ordem VGA (640x480 pixels) a QXGA (2048x1536 pixels), enquanto observamos volumes com resoluções típicas da ordem de dezena de milhares de voxels por dimensão (ex. o Visible Human Dataset [ZUFFO98] com uma resolução da ordem de 5000x2048x1216 voxels).

Entretanto, apesar da alta capacidade de integração de circuitos integrados de memória, que permitiram o incremento na representação de volumes, o tempo de acesso à memória não cresceu na mesma proporção de integração, mantendo-se praticamente estável. Esta limitação tecnológica estabelece o principal desafio na área de visualização volumétrica de alto desempenho, que é o mapeamento destas grandes estruturas de dados na hierarquia de memória de um sistema computacional.

Simultaneamente, observamos também, na década de 90, a consolidação da implementação eficiente de algoritmos de síntese de imagens volumétricas em tempo real. Por exemplo, a disponibilidade de placas aceleradoras volumétricas como a Volume PRO VP-500, capazes de exibir reconstruções a partir de volumes de até  $512^3$  em tempo real, contornando de maneira inteligente as limitações de transferência de dados volumétricos ([ZUFFO98], [GOES01]).

Considerando-se ambientes de programação em visualização volumétrica distribuídos sobre multicomputadores, o principal desafio é contornar as limitações de distribuição e gerenciamento da massa de dados volumétrica sobre a hierarquia de memória do multicomputador gráfico.

#### **4.4.1.1 Sistemas Volumétricos de Memória Compartilhada Distribuída**

Levando-se em conta os aspectos propostos, a nossa solução para a implementação de ambientes de programação em multicomputadores para a visualização volumétrica baseia-se no paradigma de sistemas de memória compartilhada distribuída DSM (*Distributed Shared Memory*).

Particularmente, estamos propondo o desenvolvimento de **Sistemas Volumétricos de Memória Compartilhada Distribuída** orientados especificamente para a representação, manipulação e exibição de estruturas de dados volumétricas. Estes sistemas pretendem incorporar protocolos de consistência de dados orientados as características específicas dos algoritmos e estruturas de dados volumétricos. Estas características estão relacionadas diretamente com a grande coerência observada na visualização volumétrica, dentre as quais podemos destacar:

- **a localidade espacial:** dados volumétricos normalmente são organizados em estruturas de dados com dimensão igual ou superior a 3, e possuem forte coerência espacial, o que torna essencial mecanismos de organização espacial da memória;
- **a localidade temporal:** a maioria dos algoritmos de visualização volumétrica considera uma cadeia de operações seqüenciais sobre o voxel, fazendo com um voxel e sua vizinhança sofram múltiplos acessos de escrita e leitura num mesmo intervalo de tempo;
- **percurso espacial contínuo:** o percurso dos voxels na estrutura de dados é normalmente contínuo e suave, sendo possível a modelagem deste percurso na forma de linhas contínuas ou de frente de ondas; e,
- **consistência funcional:** normalmente os algoritmos de visualização volumétrica implementam uma cadeia de operações ou funções (ex. operador gradiente, funções de classificação de material e funções de composição de opacidade) sobre o mesmo voxel considerando a sua vizinhança.

Estas características são fundamentais no estabelecimento dos mecanismos estruturais de um ambiente de memória compartilhada distribuída volumétrica. Os mecanismos propostos são: organização espacial dos dados volumétricos, protocolos de consistência relaxada de dados, modelamento da predição de percurso de dados, mecanismos de pré-busca e pré-oferta de dados e mecanismos de compressão de blocos volumétricos.

A organização espacial de dados pode ser implementada através do particionamento espacial da estrutura de dados em blocos de voxels [ZUFFO98] e o mapeamento destes blocos em páginas de memória. O endereçamento eficiente dos voxels nestas páginas pode ser realizado através de tabelas diretas de endereçamento.

Os protocolos de consistência relaxada de dados podem considerar a replicação e a migração de blocos entre processadores. Levando-se em conta a localidade espacial e temporal dos dados volumétricos pode-se eficientemente dimensionar o tamanho e formato de um bloco de voxels, estabelecendo um compromisso entre a replicação parcial e a migração de blocos entre processadores.

O modelamento da **predição de percurso dos dados** baseia-se na continuidade de percurso de dados observada na grande maioria dos algoritmos de visualização volumétrica. A predição estabelece as necessidades futuras de acesso a blocos baseado nos acessos anteriores. Esta predição pode ser modelada na forma de curvas contínuas de 2º e 3º grau com espessura variável (levando-se em conta os acessos à vizinhança local).

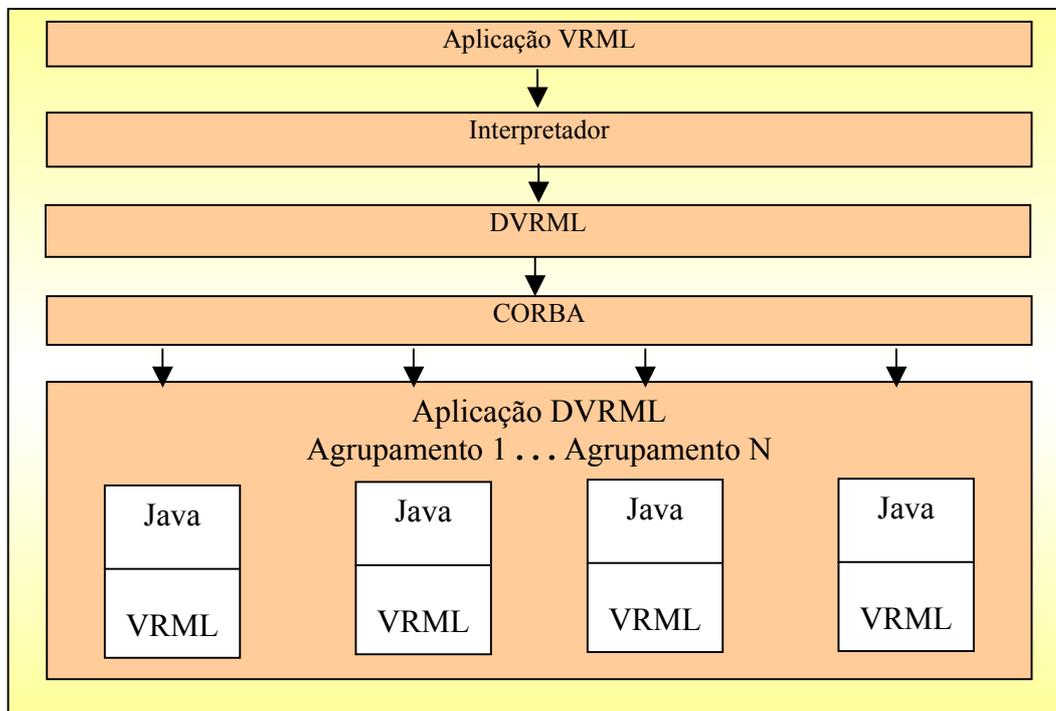
A **pré-busca de dados** leva em conta o estabelecimento de critérios para a antecipação da busca (migração) de um bloco em função da predição de utilização do bloco pelo processador local. A **pré-oferta de dados** leva em conta o estabelecimento de critérios para a antecipação da oferta (migração) de um bloco em função da predição de necessidade do bloco por um outro determinado processador. A pré-busca e a pré-oferta de dados são mecanismos importantes para minimizar a latência de comunicação de dados entre processadores. Neste caso, consideramos a **latência** como o tempo de transferência de dados entre processadores para blocos de tamanho zero.

A compressão de blocos, vinculada à pré-busca e pré-oferta, é um mecanismo interessante para minimizar a contenção de comunicação de dados estabelecida pelo sistema de interconexão. Neste caso, consideramos a **contenção de comunicação** como o limite máximo de transferência de dados entre os processadores.

#### **4.4.2 Ambientes de Programação Distribuídos Baseados na Computação Gráfica Convencional**

Nesta seção descrevemos um ambiente de programação distribuído para a visualização de estruturas de dados baseadas na computação gráfica tradicional. Particularmente neste caso a abordagem proposta baseia-se no formato de arquivos VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), a adoção deste formato leva em conta a incorporação do VRML no padrão MPEG-4.

A Figura 4-6 mostra uma visão geral da arquitetura de visualização do mundo virtual de forma distribuída. Ela é composta por cinco camadas: Aplicação VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), Interpretador, DVRML (*Distributed Virtual Reality Modeling Language*), CORBA e pela Aplicação DVRML.



**Figura 4-6 – Arquitetura do Sistema de Visualização Distribuído Baseado em VRML**

A seguir, apresentamos os detalhes de cada camada da arquitetura de visualização distribuída:

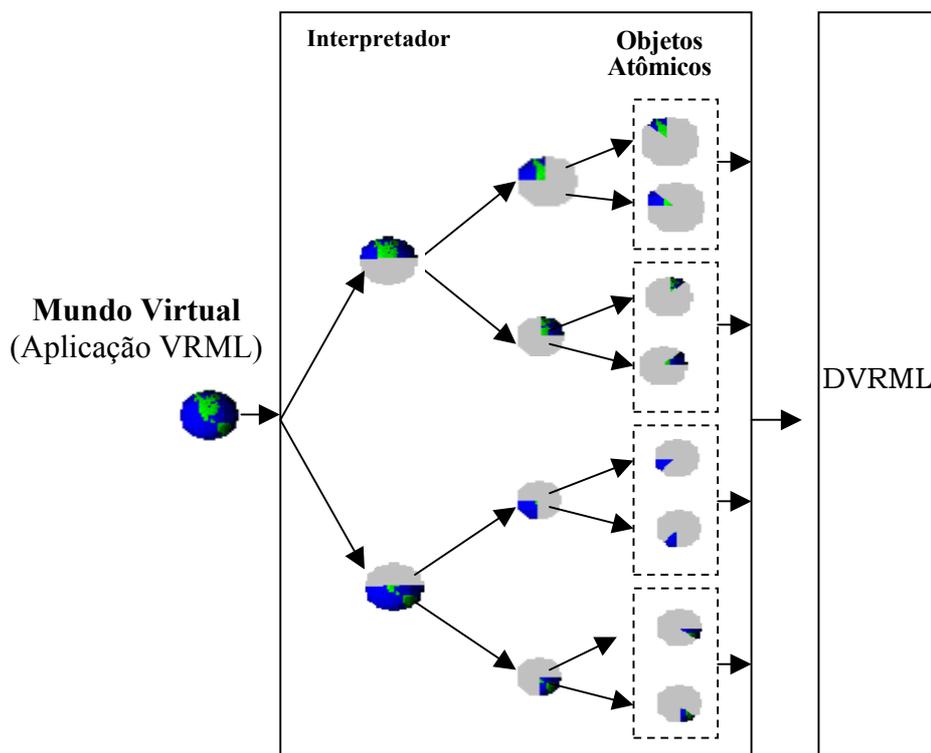
- **Aplicação VRML:** é qualquer aplicação VRML responsável pela simulação do ambiente virtual;
- **Interpretador:** é responsável pela geração do DVRML. A estrutura de relacionamento das aplicações desenvolvidas em VRML é hierárquica. Utilizando esta estrutura, propõe-se um Interpretador que decomponha qualquer aplicação VRML em objetos atômicos.

Estes objetos atômicos devem ser agrupados de acordo com seus relacionamentos. Cada um destes agrupamentos serão processados em uma das CPU's do multicomputador. O resultado final desta decomposição é o DVRML. A Figura 4-6 ilustra a decomposição de uma aplicação VRML que o Interpretador realiza.

- **DVRML:** é o código gerado pelo Interpretador, que permite que os agrupamentos de objetos atômicos sejam enviados para a camada CORBA, informando as CPU's responsáveis por cada agrupamento.
- **CORBA:** é responsável pela distribuição dos agrupamentos de objetos entre as diversas CPU's do multicomputador. Uma vez que a arquitetura proposta indica a adoção de uma abordagem orientada a objetos, é natural que se utiliza uma infraestrutura de distribuição que ofereça um suporte à programação orientada a objetos.

Uma das opções mais interessantes é a utilização do padrão CORBA. Este padrão é a especificação de uma arquitetura que suporta aplicações distribuídas e que atende aos requisitos de escalabilidade, portabilidade e flexibilidade do sistema de visualização distribuído.

- **Aplicação DVRML:** é responsável pela visualização distribuída do mundo virtual, minimizando a replicação de dados. Esta camada é composta por diversos agrupamentos de objetos atômicos, que juntos formam o mundo virtual.



**Figura 4-7 – Interpretador**

Diversas questões e requisitos devem ser resolvidos por esta camada:

- **manutenção da consistência:** deve ser garantido o estado dinâmico compartilhado nos diferentes agrupamentos de visualização;
- **sincronismo:** para que a visualização distribuída funcione será necessário que todos os agrupamentos de visualização tenham seus relógios virtuais sincronizados entre si;
- **heterogeneidade:** é desejável que ofereça recursos a fim de suportar a visualização entre diversos equipamentos, de forma a garantir a qualidade e a consistência da visualização gerada;
- **escalabilidade:** deve permitir um equilíbrio entre o número de objetos atômicos e o número de CPU's do multicomputador; e
- **portabilidade:** é recomendável que o sistema seja implantado e portado para diferentes plataformas de computadores paralelos e ambientes de programação.

#### **4.4.3 Ambientes de Programação Distribuídos Baseados no Padrão MPEG-4**

Nesta seção apresentamos um outra abordagem para o desenvolvimento de ambientes de programação distribuídos voltados para a visualização. Nesta abordagem propomos a convergência dos sistemas avançados de visualização com os sistemas multimídia, neste caso propomos o uso do padrão MPEG-4 como plataforma de programação sobre sistemas de computação tipo multicomputadores.

Existem duas abordagens clássicas para a execução de aplicações gráficas sobre multicomputadores. A primeira é modificar a aplicação que está sendo executada em cada computador, onde cada computador possui uma cópia da aplicação (replicação). A segunda é modificar as rotinas gráficas e difundir as informações gráficas para cada um dos computadores responsáveis pela síntese (difusão), caracterizando-se pela topologia cliente/servidor.

A replicação tem a vantagem de ter um melhor desempenho, principalmente em aplicações que possuam uma grande malha de polígonos que são atualizados constantemente, além de alocar pouca largura de banda da rede. Por outro lado, a portabilidade da aplicação fica comprometida em relação às aplicações de difusão, onde cada cliente precisa saber somente

qual é o protocolo gráfico utilizado. Outra vantagem das aplicações replicadas é a garantia de sincronização e consistência do ambiente.

A principal vantagem do uso da difusão é a separação do controle da aplicação da sua síntese, permitindo uma maior flexibilidade no desenvolvimento do projeto, que fica independente do sistema de síntese. Entretanto o requisito de largura de banda é maior. Neste caso, o uso de técnicas que minimizem o tráfego na rede deve ser adotada. Aplicações de difusão podem ser de várias formas em relação aos tipos de informação transmitida como primitivas gráficas ou pixel, e ainda a frequência no qual as informações são atualizadas nos clientes. Isto define as necessidades de largura de banda de cada aplicação.

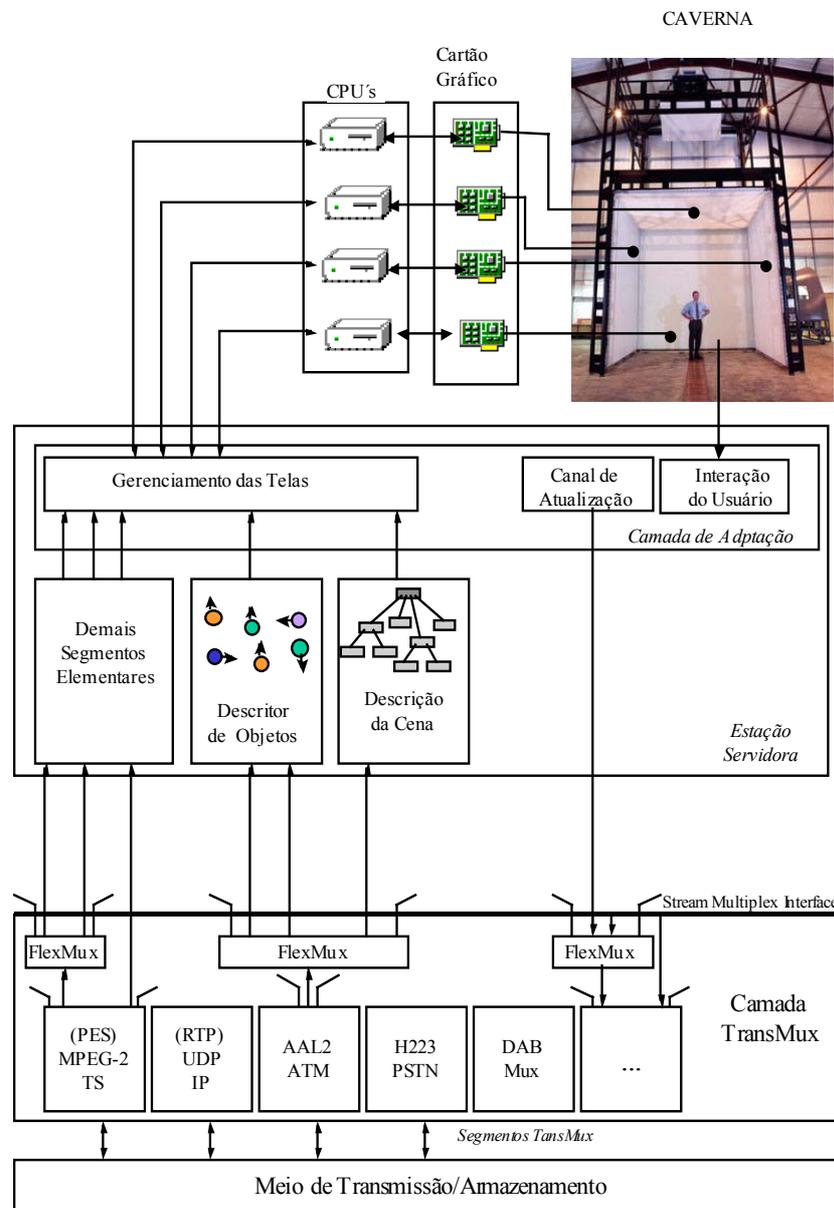
Considerando o tipo de dado enviado pelo servidor para sintetizar cada quadro, dois modos de envio são possíveis: o imediato, onde toda a informação necessária para sintetizar cada quadro é enviada para os clientes; e com retenção, onde cada cliente retém a maior quantidade de informação necessária para sintetizar o próximo quadro.

O modelo utilizado proposto é a difusão de primitivas BIFS com retenção de informações nos clientes. O ponto mais importante desta proposta é o uso de uma máquina centralizada que ficará responsável em receber os dados MPEG-4, provenientes da rede/disco local, gerando vários fluxos de bits (*bitstream*) específicos para cada uma das estações que são responsáveis por gerar as imagens para cada tela de projeção da CAVERNA. A Figura 4-8 apresenta a arquitetura proposta.

Cada cliente recebe os fluxos como vídeo, áudio, MPEG-J, BIFS, provenientes da estação servidora, realizando em seguida a composição e síntese da imagem. Alguns fluxos podem ser multiplexados por terem os mesmos requisitos. Esta tarefa não precisa ser feita pelo servidor, pois os fluxos afins, já podem estar multiplexados. O servidor neste caso funcionaria como um comutador para indicar qual ou quais clientes devem receber estes fluxos. A máquina servidora não é responsável por qualquer tipo de síntese e as suas principais funções são:

- receber o fluxo de dados pela rede/local (MPEG-4);
- realizar os cálculos para cada tela e gerar o fluxo de bits MPEG-4 estereoscópico apropriado;

- tratamento da interação do usuário através de vários dispositivos de Entrada/Saída (óculos, dispositivos de rastreamento de movimentos, luvas, etc.), sendo necessário realizar novos cálculos para cada tela afetada e gerar o fluxo de bits MPEG-4 apropriado;
- distribuir o fluxo de bits estereoscópicos para cada uma das estações;
- distribuir os demais fluxos para os clientes como vídeo, áudio, mpeg-j, etc.
- controle de aplicações MPEG-J com podem interagir com usuário. Por exemplo, o uso de barra de ferramentas, controle remoto e menus.



**Figura 4-8 - Proposta de Arquitetura Convergente MPEG-4 PLÊIADES**

Algumas técnicas podem ser utilizadas na estação servidora durante a geração do fluxo de bits para os clientes. Por exemplo:

- LOD Nível de detalhe de um objeto (*Level of Detail*). Em caso de um vídeo, limita-se o número de quadros por segundo;
- conversão total/parcial de objetos 3D para objetos 2D no servidor;
- tratamento de efeitos visuais como sombras e brilhos, fumaça, fogo, etc;
- particionamento do ambiente;

Os clientes podem aplicar algumas técnicas como a predição (*dead-reckoning*), onde equações de cinemática podem ser utilizadas para calcular localmente as sucessivas posições e orientações dos objetos, reduzindo desta maneira a carga de comunicação na rede e os atrasos percebidos pelo usuário.

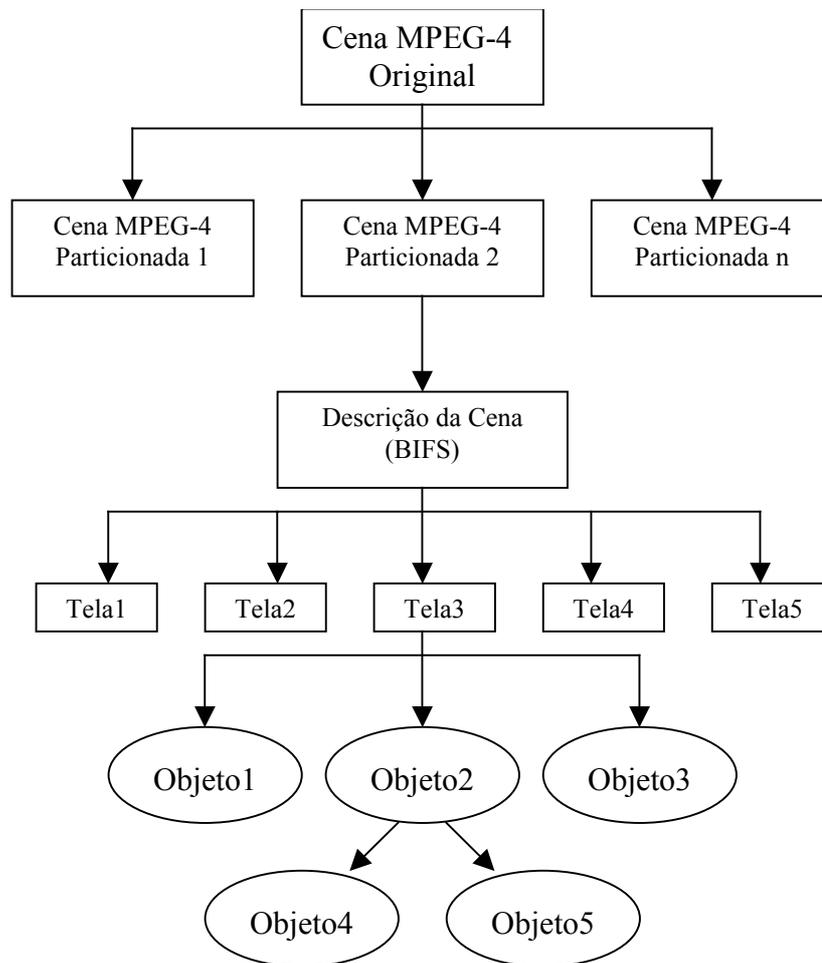
Existem vários tipos de fluxos de dados que são transmitidos entre a estação servidora e os clientes, como vídeo, áudio, BIFS, MPEG-J e descritores de objetos. Cada um desses fluxos possuem requisitos específicos de transmissão (atraso, largura de banda, variação do atraso e confiabilidade). Desta forma, pacotes de um fluxo de vídeo não precisam ser retransmitidos, ao contrário dos pacotes de uma aplicação MPEG-J. A estação servidora deve saber qual é o tipo de fluxo que está transmitindo e tratar de forma adequada a transmissão dos fluxos para maximizar o desempenho da rede.

A Figura 4-9 mostra uma possível árvore de cena manipulada pela estação servidora. O particionamento do ambiente é válido para aplicações que possuam uma vasta região geográfica ou que dividem um objeto em várias partes. Cada região ou parte de um objeto é dividido áreas distintas que são descritas pelo BIFS, cada uma relacionada com uma tela da CAVERNA Digital.

A Figura 4-10 mostra uma possível situação de um cliente, que está recebendo os fluxos provenientes da estação servidora. Aqui, a estação servidora pode ainda explorar as técnicas vistas acima, diminuindo a demanda computacional nos clientes ou realizando algum tipo de efeito. Por exemplo, para diminuir a demanda computacional nos clientes, objetos distantes do campo de visão do usuário podem ter uma quantidade de polígonos menor, ou no caso de

um vídeo ele não precisa ser estereoscópico e ainda pode ter uma taxa de quadros por segundo baixa.

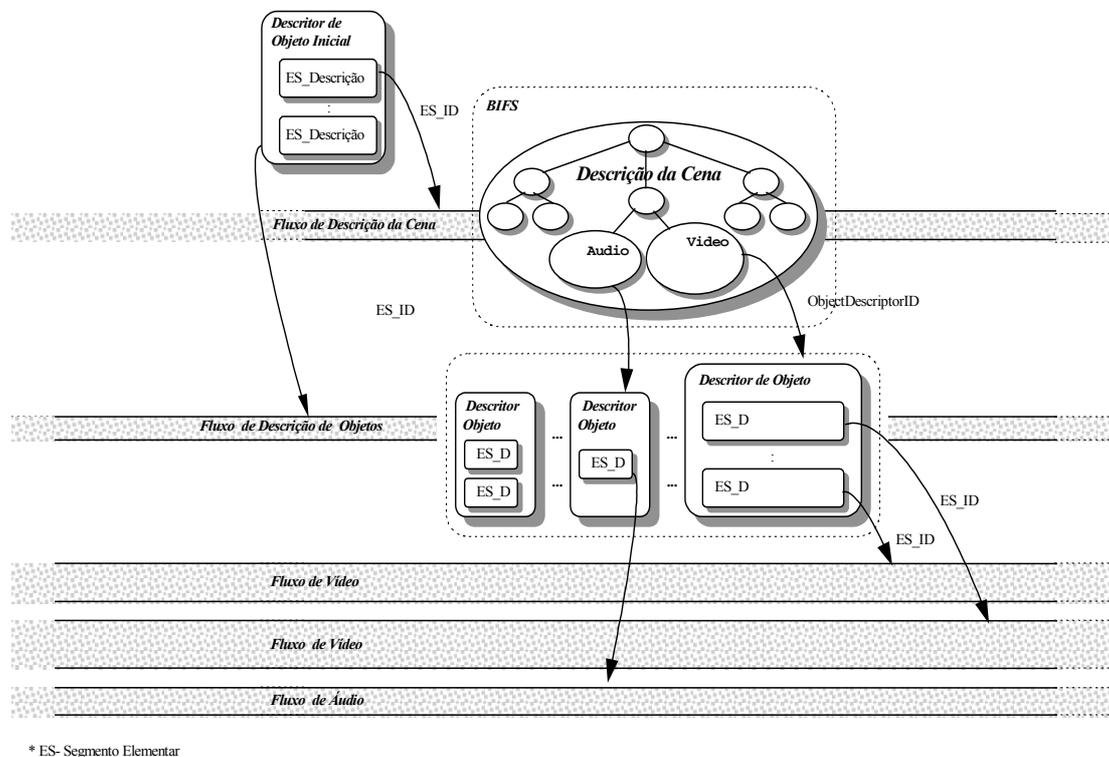
A atualização da cena em cada cliente é feita através do envio de Comandos BIFS para os clientes. Para aplicações que simulem incêndios, as chamadas do fogo podem receber um tratamento especial, onde a imagem gerada para um olho a cor vermelha é mais acentuada e para outro olho, a cor laranja é mais acentuada. Isto faz com que a imagem do fogo fique cintilante. Com isso, a estação servidora sabe como gerar os fluxo de bits MPEG-4 estereoscópico apropriados para cada tela.



**Figura 4-9 - Possível estrutura manipulada pela estação servidora.**

Para ambientes com um alto grau de movimentação, a estação servidora pode gerar a mesma cena para todas as estações, não sendo necessário que a cena possua um alto grau de detalhamento até o usuário ou aplicação cessar a movimentação. Porém, cada cliente possui o seu ponto de vista apropriado, além disto, alguma das funções acima poderão ser tratadas nos clientes. Pode-se construir mecanismos que permitam os chaveamento dinâmico de tarefas

entre o servidor e os clientes, conforme a disponibilidade do sistema, aumentando o seu crescimento. Neste caso, é necessário avaliar qual é o melhor local para uma tarefa ser executada, no cliente ou no servidor. Esta avaliação baseia-se no aproveitamento máximo dos recursos do sistema dentro dos dois principais requisitos de realidade virtual: latência mínima e qualidade da apresentação aceitável.



**Figura 4-10 - Exemplo dos fluxos recebidos por um cliente, conforme as características definidas pelo servidor.**

Vale ressaltar que todo o fluxo MPEG-4 é sincronizado dentro da sua própria arquitetura através de estampilhas de tempos (*time stamping*) nas unidades de acesso individuais dentro dos Segmentos Elementares - ES.

Um mecanismo de sincronização citado na literatura e que pode ser implementado é o uso de barreiras de sincronização. A tarefa de síntese é composta por um conjunto de operações que envolvem milhares de operações. O controle do sincronismo através de barreiras é controlado pela estação servidora que envia um conjunto de informações para cada cliente, juntamente com um mensagem especial de fim de quadro e bloqueia o envio de novas mensagens. Cada cliente processa todas as informações de síntese, que possuem prioridade maior que a operação de fim de quadro. Após esta etapa, cada cliente processa a sua mensagem de fim de quadro enviando um reconhecimento ao servidor. A estação servidora ao receber todos os

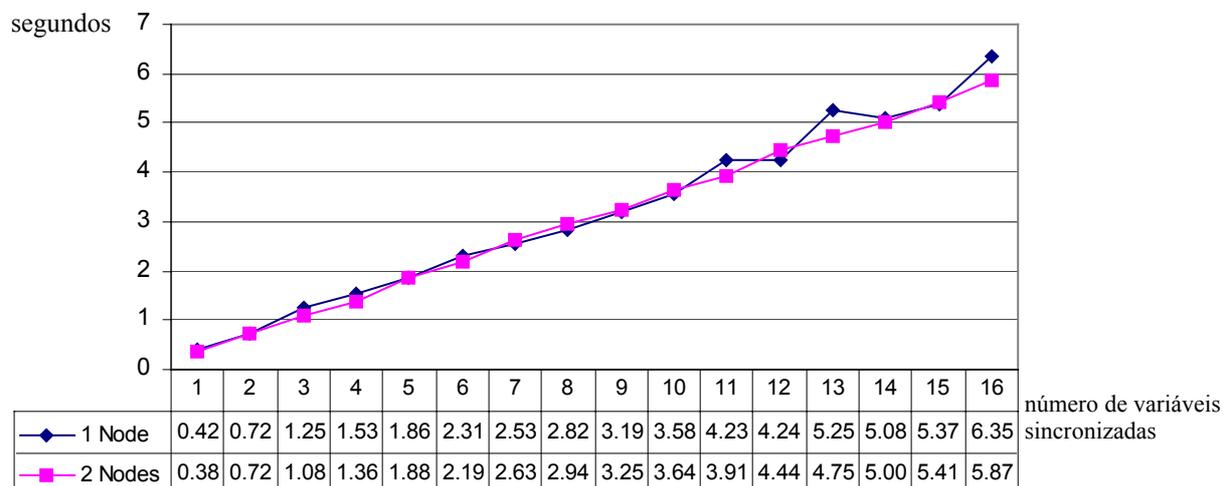
reconhecimentos dos clientes envia novamente uma nova seqüência de informações de um novo quadro, juntamente com a mensagem de fim de quadro.

#### 4.5 A Biblioteca de Sincronização DICElib

A DICElib é uma biblioteca de sincronização e compartilhamento de dados entre computadores ligados em rede. Utiliza o protocolo TCP/IP, sendo implementada diretamente por meio de *sockets*, provendo eficiência e rapidez; permite também a portabilidade para outras plataformas, tendo sido testado com sucesso em Linux/PCs e Irix/SGI.

A DICElib foi proposta e desenvolvida a partir da constatação da necessidade de ferramentas eficientes de sincronização de mundos virtuais em multicomputadores [GNECCO01].

Testes de desempenho provaram que a taxa de atualização da biblioteca é mais do que suficiente para sincronização de vídeo, sendo duas ordens de grandeza maior. Para demonstrar a capacidade da DICElib, alguns demonstrações foram escritas. Tanto em sistemas com alta desempenho gráfico como em um sistema onde um dos computadores não tinha aceleração gráfica (reduzindo para apenas alguns poucos quadros por segundo), os resultados foram excelentes sendo impossível diferenciar qualquer tipo de diferença na sincronia dos programas.



**Figura 4-11 - Desempenho da DICElib**

A Figura 4-11 apresenta o desempenho da DICElib considerando dois nós de processamento do multicomputador PLÊIADES. O desempenho apresentado é satisfatório para a sincronização de imagens esteresocópicas em 120Hz.

## **4.6 Conclusões**

Neste capítulo apresentamos a arquitetura do multicomputador gráfico PLÊIADES e três abordagens para o desenvolvimento de ambientes de programação para a visualização de alto desempenho.

As propostas apresentadas consideram os vários aspectos da visualização de dados gráficos heterogêneos como a sincronização, distribuição e gerenciamento.

Além da abordagem tradicional baseadas na visualização volumétrica e na computação gráfica tradicional, propomos um método inédito na literatura que é a utilização do padrão MPEG-4 como plataforma de programação sobre multicomputadores gráficos. A utilização do padrão MPEG-4 além de ser promissora em termos de funcionalidade e adequação da arquitetura do ambiente de programação à arquitetura do multicomputador PLÊIADES, pode ser um passo importante na convergência dos multicomputadores gráficos com os futuros sistemas de distribuição de informações multimídia de alto desempenho para TV Digital, no caso os Set-Top-Boxes.

Finalmente a proposta e implementação da biblioteca de sincronização DICElib é um passo importante na consolidação do uso de multicomputadores gráficos em ambientes de multiexibição de imagens estereoscópicas tipo CAVERNAs Digitais.

## 4.7 Bibliografia do Capítulo

- [AVILA92] R.S. Avila, L.M. Solierajski and A.E. Kaufman, "Towards a Comprehensive Volume Visualization System", *Visualization '92 Conference Proceedings*, Boston, Out 1992, pp. 13-20.
- [BANERJEA94] Anindo Banerjea, Domenico Ferrari, Bruce A. Mah, Mark Moran, Dinesh C. Verma, and Hui Zhang. "Tenet real-time protocol suite: Design, implementation, and experiences" – Technical Report ICSI TR-94-059, International Computer Science Institute, Berkeley, CA, November 1994.
- [BARTZ99] D. Bartz, B. Schneider and C. Silva, "Rendering and Visualization in Parallel Environments", *SIGGRAPH'99 Course Notes*, 1999.
- [BETHEL00] W. Bethel et al., "Using High-Speed WANs and Network Data Caches to Enable Remote and Distributed Visualization", *SC2000 Proceedings*, Dallas, Out 2000.
- [BOHN99] C.A. Bohn and G.B. Lamont, "Asymmetric Load Balancing on a Heterogeneous Cluster of PCs", *PDPTA'99*, Las Vegas, Jun 1999.
- [CAMAHORT93] E. Camahort and I. Chakravarty, "Integrating Volume Data Analysis and Rendering on Distributed Memory Architectures", *IEEE Parallel Rendering Symposium*, San Jose, Out 1993, pp. 89-96.
- [CHEN94] T.-F. Chen and J.-L. Baer, "A performance study of software and hardware data prefetching schemes", *The 21st Annual International Symposium on Computer Architecture Proceedings*, 1994, Page(s): 223-232.
- [CHEUNG99] B.W-L. Cheung, C-L. W and K. Hwang, "A Migrating-Home Protocol for Implementing Scope Consistency Model on a Cluster of Workstations", *PDPTA'99*, Las Vegas, Jun 1999.
- [CHO95] S.-Y. Cho; P.C.-Y. Sheu, K. Kim, L.J. Peterson and D.P. Yu, "A state network approach to dynamic 3-D visualization", *Seventh International Conference on Tools with Artificial Intelligence Proceedings*, 1995, Page(s): 134-137.
- [CORRIE92] B. Corrie and P. Mackerras, "Parallel Volume Rendering and Data Coherence on the Fujitsu AP1000", *First Annual Users' Meeting of Fujitsu Parallel Computing Research Facilities*, Fujitsu, Kawasaki, Nov 1992, pp.1-28.
- [CORRIE93] B. Corrie and P. Mackerras, "Parallel Volume Rendering and Data Coherence", *IEEE Parallel Rendering Symposium*, San Jose, Out 1993, pp. 23-26,106.
- [COX97] M. Cox and D. Ellsworth, "Managing Big Data for Scientific Visualization", *SIGGRAPH'97 Course Notes*, Los Angeles, Ago 1997.
- [CROCKETT98] T.W. Crockett, "Parallel Rendering", *SIGGRAPH'98 Course Notes*, Orlando, Jul 1998. (<http://www.icas.edu/~tom/>)
- [CROW97] F. Crow, "A Look At Commodity Parallel Rendering", *IEEE Symposium on Parallel Rendering Proceedings*, PRS 97, 1997, Page(s): 5-5.
- [GEIST96] G.A. Geist, J.A. Kohl and P.M. Papadopoulos, "PVM and MPI: a Comparison of Features", *Calculateurs Paralleles*, v. 8, n. 2, Mai

1996. (<http://www.epm.ornl.gov/pvm/PVMvsMPI.ps>)
- [GNECCO01] Bruno Barberi Gnecco, Paulo Alexandre Bressan, Marcelo Knörich Zuffo, "DICELib: A Real Time Synchronization Library for Multi-Projection Virtual Reality Distributed Environments", Simpósio Brasileiro de Realidade Virtual, Florianópolis, Outubro de 2001.
- [GOES01] Goes, V. ; Zuffo M. K.; "Interactive Stereoscopic Full-Color Direct Volume Visualization for Virtual Reality Applications in Medicine", MMVR 2001, Medicine Meets Virtual Reality Conference, January 2001, New Port Beach, CA.
- [GRANT96] Grant, A.J., F. Lin, M. Preston, S.M. Ramsden and M.A. Pettipher, *An Introduction to High Performance Computing*, University of Manchester, 2ª Edição, Abr 1996.
- [GROOP99] Groop, W., E. Lusk and R. Thakur, *Using MPI-2 – Advanced Features of the Message-Passing Interface*, MIT Press, 1999.
- [GUARRACINO00] M.R. Guarracino, G. Laccetti and D. Romano, "Browsing virtual reality on a PC cluster", *IEEE International Conference on Cluster Computing Proceedings*, 2000, Page(s): 201-208.
- [HANSEN97] C. Hansen, M. Krogh and J. Painter, "Parallel rendering techniques for massively parallel visualization", *International Symposium Parallel Algorithms/Architecture Synthesis Proceedings*, 1997, Page(s): 276-281.
- [HEIRICH99] A. Heirich and L. Moll, "Scalable distributed visualization using off-the-shelf components", *IEEE Parallel Visualization and Graphics Symposium Proceedings*, 1999, Page(s): 55-118.
- [HSU93] W.M. Hsu, "Segmented ray casting for data parallel volume rendering", *Parallel Rendering Symposium*, 1993, Page(s): 7-14.
- [HUMPHREYS00] Humphreys, I. Buck, M. Eldridge and P. Hanrahan, "Distributed Rendering for Scalable Displays", SC2000: High Performance Networking and Computing Conference, Dallas, Texas, Nov 2000.
- [HWANG95] S.-J. Hwang and M.-S. Park, "Software data prefetching to reduce data reloading overhead", *Computer Architectures for Machine Perception Proceedings*, CAMP '95, 1995, Page(s): 190-195.
- [JORDAN96] K.E. Jordan, D.A. Yuen, D.M. Reuteler, S. Zhang and R. Haimes, "Parallel interactive visualization of 3D mantle convection", *IEEE Computational Science and Engineering*, Winter 1996, Volume: 3 Issue: 4, Page(s): 29-37.
- [KARLSON99] S. Karlson and M. Brorsson, "An Infrastructure for Portable and Efficient Software DSM", *WSDSM'99*, Jun 1999.
- [KAUFMAN91] Kaufman, A.E., *Introduction to Volume Visualization*, A.E. Kaufman (Ed.), IEEE Computer Society Press, 1991.
- [KENWRIGHT99] D. Kenwright, "Visualization Algorithms For Gigabyte Datasets", *SIGGRAPH'99 Course Notes*, Los Angeles, Ago 1999.
- [KESSLER89] R.E. Kessler and M. Livny, "An Analysis of Distributed Shared Memory Algorithms", *Proc. Ninth Int'l Conf. Distributed Computing Systems*, CS Press, 1989, pp. 498-505.
- [KOUFATY99] D. Koufaty and J. Torrelas, "Compiler Support for Data Forwarding in Scalable Shared-Memory Multiprocessors", *1999 International*

- Conference on Parallel Processing*, Sep 1999.
- [LA196] A.I.-C. Lai and C.-L. Lei, "Data prefetching for distributed shared memory systems", *Proceedings of the Twenty-Ninth Hawaii International Conference on System Sciences*, 1996, Volume: 1, Page(s): 102-110.
- [LAW96] A. Law and R. Yagel, "The active-ray approach to rendering on distributed memory multiprocessors", *Eighth IEEE Symposium on Parallel and Distributed Processing*, 1996, Page(s): 414-421.
- [LAW97] A. Law and R. Yagel, "A memory-optimized visualization system for limited-bandwidth multiprocessing environments", *Fourth International Conference on High-Performance Computing Proceedings*, 1997, Page(s): 60-65.
- [LEFER93] W. Lefer, "An efficient parallel ray tracing scheme for distributed memory parallel computers", *Parallel Rendering Symposium*, 1993, Page(s): 77-80.
- [LI89] K. Li, and P. Hudak, "Memory Coherence in Shared Virtual Memory Systems". *ACM Trans. Computer Systems*, Vol. 7, No. 4, Nov 1989, pp. 321-359.
- [LOPES94] Roseli de Deus Lopes, "O Multicomputador TRGR A Paralelização da Síntese de Imagens", Dissertação de Mestrado apresentada a Escola Politécnica da USP para a obtenção do título de mestre em Engenharia Elétrica, São Paulo, SP, 1993.
- [LOPES96] Lopes, R. D.; Zuffo, M. K.; Rangayyan, R. M. "Three-dimensional Region-Based Image Processing Techniques for Volume Visualization Applications", SPIE's International Symposium on Medical Imaging 1996, Newport Beach, California, EUA, 10-15 Fev. 1996.
- [LOPES98] Roseli de Deus Lopes, "Técnicas de Processamento de Imagens Tridimensionais Baseadas em Regiões Adaptativas", Tese de Doutorado apresentada a Escola Politécnica da USP para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica, São Paulo, SP, 1998.
- [MA00] K.-L. Ma and D.M. Camp, "High Performance Visualization of Time-Varying Volume Data over a Wide-Area Network", *SC2000 Proceedings, Dallas, Oct 2000*.
- [MA93] K.-L. Ma, J.S. Painter, C.D. Hansen and M.F. Krogh, "A Data Distributed, Parallel Algorithm for Ray-Traced Volume Rendering". *IEEE Parallel Rendering Symposium*, San Jose, Oct 1993, pp. 15-22,105.
- [MA93] K.-L. Ma, J.S. Painter, C.D. Hansen and M.F. Krogh, "A data distributed, parallel algorithm for ray-traced volume rendering", *Parallel Rendering Symposium*, 1993.
- [MA97] K.-L. Ma and T.W. Crockett, "A scalable parallel cell-projection volume rendering algorithm for three-dimensional unstructured data". *IEEE Symposium on Parallel Rendering Proceedings*, PRS 97, 1997, Page(s): 95-104, 119-20.
- [MA98] K.-L. Ma, "Parallel Graphics and Visualization Technology", *SIGGRAPH'98 Course Notes*, Orlando, Jul 1998.
- [MA99] K.-L. Ma and T.W. Crockett, "Parallel visualization of large-scale aerodynamics calculations: a case study on the Cray T3E", *IEEE*

- Parallel Visualization and Graphics Symposium Proceedings*, 1999, Page(s): 15-115.
- [MOLNAR94] S. Molnar, M. Cox, D. Ellsworth, and H. Fuchs, "A sorting classification of parallel rendering", *IEEE Computer Graphics and Applications*, July 1994, Volume: 14, Page(s): 23-32.
- [MONTANI92] C. Montani, R. Perego and R. Scopigno, "Parallel Volume Visualization on a Hypercube Architecture", *Workshop on Volume Visualization*, ACM, Boston, Oct 1992, pp. 9-16.
- [MORIW94] MORIE, J.F. - Inspiring the Future: Merging Mass Communication, Art, Entertainment and Virtual environments, *Computer Graphics*, 28(2):135-138, May 1994.
- [NEUMANN93] U. Neumann, "Parallel volume-rendering algorithm performance on mesh-connected multicomputers", *Parallel Rendering Symposium*, 1993, Page(s): 97-104.
- [NIEH92] J. Nieh and M. Levoy, "Volume Rendering on Scalable Shared-Memory MIMD Architectures", *Workshop on Volume Visualization*, ACM, Boston, Oct 1992, pp. 17-24.
- [NIELSON90] G. Nielson, B. Shriver and L.J. Rosenblum, "Visualization in Scientific Computing", *IEEE Computing Society Press Tutorial*, 1990.
- [PALMER97] M.E. Palmer, S. Taylor and B. Totty, "Exploiting deep parallel memory hierarchies for ray casting volume rendering", *IEEE Symposium on Parallel Rendering Proceedings*, PRS 97, 1997, Page(s): 15-22, 115-16.
- [PARK00] K.S. Park, Y.J. Cho, N.K. Krishnaprasad, C. Scharver, M.J. Lewis, J. Leigh and A.E. Johnson, "CAVERNsoft G2: A Toolkit for High Performance Tele-Immersive Collaboration", *ACM 7th Annual Symposium on Virtual Reality Software & Technology*, Seoul, Korea00.
- [PELIZZARI97] C.A. Pelizzari, R.P. Grzeszczuk, L.S. Johnson and M.J. Ryan, "Distributed parallel volume rendering applied to virtual endoscopy", *IEEE 17th Annual Conference Engineering in Medicine and Biology Society*, 1997, Page(s): 373-374, Vol.1.
- [PROTIC96] J. Protic, M. Tomasevic and V. Milutinovic, "Distributed Shared Memory: Concepts and Systems", *IEEE Parallel & Distributed Technology*, 1996, pp. 63-79.
- [REINHARD99] E. Reinhard, A. Chalmers, and F.W. Jansen, "Hybrid scheduling for parallel rendering using coherent ray tasks", *IEEE Parallel Visualization and Graphics Symposium Proceedings*, 1999, Page(s): 21-28.
- [REISMAN97] A. Reisman, C. Gotsman and A. Schuster, "Parallel progressive rendering of animation sequences at interactive rates on distributed-memory machines", *IEEE Symposium on Parallel Rendering Proceedings*, PRS 97, 1997, Page(s): 39-47.
- [ROSENBLUM94] L.J. Rosenblum et al., "Scientific Visualization – Advances and Challenges", *Academic Press in Association with IEEE Computing Society Press*, 1994.
- [ROWLAN94] J.S. Rowlan, G.E. Lent, N. Gokhale, and S. Bradshaw, "A distributed, parallel, interactive volume rendering package", *IEEE Conference on*

*Visualization Proceedings*, 1994, Page(s): 21-30, CP2.

- [SANO97] K. Sano, H. Kitajima, H. Kobayashi and T. Nakamura, "Parallel processing of the shear-warp factorization with the binary-swap method on a distributed-memory multiprocessor system", *IEEE Symposium on Parallel Rendering Proceedings*, PRS 97, 1997, Page(s): 87-94, 118.
- [SCHROEDER96] W. Schroeder, K. Martin and B. Lorensen, *The Visualization Toolkit – And Object Oriented Approach to 3D Graphics*, Prentice Hall, 1996.
- [SINGH94] J.P. Singh, A. Gupta and M. Levoy, "Parallel visualization algorithms: performance and architectural implications", *Computer*, July 1994, Volume: 27 Issue: 7, Page(s): 45-55.
- [SNIR98] Snir et al., *MPI – The Complete Reference*, Volumes 1 and 2. 2<sup>a</sup> Edição, MIT Press, 1998.
- [SOLIHIN99] Y. Solihin, V. Lam and J. Torrelas, "Scal-Tool: Pinpointing and Quantifying Scalability Bottlenecks in DSM Multiprocessors", *High Performance Networking and Computing Conference*, Nov 1999.
- [VANDERWIEL96] S. Vanderwiel and D.J. Lilja, "A Survey of Data Prefetching Techniques", *Technical Report HPPC-96-05*, University of Minnesota, Mai 1996.
- [WHITMAN97] P.P. Li, S. Whitman, R. Mendoza and J. Tsiao, "ParVox - a parallel splatting volume rendering system for distributed visualization", *IEEE Symposium on Parallel Rendering Proceedings*, PRS 97, 1997, Page(s): 7-14, 113-14.
- [WIEL97] S.P.V. Wiel and D.J. Lilja, "When caches aren't enough: data prefetching techniques", *Computer*, July 1997, Volume: 30, Page(s): 23-30.
- [WITTENBRINK93] C.M. Wittenbrink and A.K. Somani, "Permutation warping for data parallel volume rendering", *Parallel Rendering Symposium*, 1993, Page(s): 57-60, 110.
- [YOUNG95] H.C. Young, E.J. Shekita, S. Ong, L. Hu, and W.W. Hsu, "On instruction and data prefetch mechanisms", *International Symposium on VLSI Technology, Systems, and Applications Proceedings of Technical Papers*, 1995, Page(s): 239-246.
- [ZUFFO93] Marcelo Knörich Zuffo, "Um Multicomputador Para Aplicações Gráficas ", Dissertação de Mestrado apresentada a Escola Politécnica da USP para a obtenção do título de mestre em Engenharia Elétrica, São Paulo, SP, 1998.
- [ZUFFO96] M.K. Zuffo et al., "A Programming Environment for High-Performance Volume Visualization Applications", *Computer & Graphics*, Oxford, v. 20, n. 3, Mai 1996, pp. 385-394.
- [ZUFFO97] M.K. Zuffo, "Um Ambiente de Programação de Alto Desempenho para Visualização Volumétrica". *Tese de Doutorado em Engenharia Eletrônica*, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1997. (<http://www.lsi.usp.br/~smart>)
- [ZUFFO98] M.K. Zuffo, R.D. Lopes and V.B. Bernal, "A Distributed Shared Memory System Oriented to Volume Visualization", *Eurographics Workshop on Parallel Graphics and Visualization*, Rennes, 1998, pp.155-169.

## CAPÍTULO 5 Proposta de um Set-Top-Box Digital Reconfigurável

---

"Protinus AEoliis Aquinolem claudit in antris  
Et quaecumque fugant inductas flamina nubes  
Emittitque Notum. Madidis Notus evolat alis  
Terribilem picea tectus caligine vultum:  
Barba gravis nimbis, canis fluit unda capillis  
Fronte sedent nebulae, rorant pennaesque sinusque  
Utque manu late pendentia nubila pressit  
Frit fragor; hinc densi funduntur ab aethere nimbi."

**Publius Ovidius<sup>7</sup>**

---

<sup>7</sup> Metamorphose (1,86-163)

Neste capítulo, propomos o desenvolvimento da família de Set-Top-Boxes Digitais reconfiguráveis, conformante com os padrões internacionais e nacionais emergentes, capaz de suportar uma nova geração de aplicações multimídia distribuídas e interativas.

## **5.1 Introdução**

Recentemente no Brasil, mais precisamente na década de 90, vários investimentos foram realizados no sentido de dotar o país de uma infra-estrutura para TV a cabo, objetivando principalmente o mercado de entretenimento. Devido aos recentes avanços na tecnologia de comunicação analógica e digital, a infra-estrutura disponível no Brasil é capaz de suportar taxas de comunicação de dados superiores àquelas observadas em países como Estados Unidos e Japão. Com os desenvolvimentos da tecnologia de *cable modem*, recursos de comunicações bi-direcionais são também suportados nesta infraestrutura de telecomunicações.

Objetivamos, com o desenvolvimento desta família de Set-top-boxes, o oferecimento de uma plataforma de baixo custo para aplicações inovativas de TV Digital no Brasil, tais como a telemedicina, o comércio eletrônico e a educação à distância.

A maior contribuição deste trabalho é a de oferecer uma plataforma de estudo e desenvolvimento de uma nova geração de serviços sobre redes de serviços digitais, de baixo custo e em conformidade com a realidade da infra-estrutura disponível no Brasil.

Em setembro de 2001, a ANATEL fará o pronunciamento oficial da definição de qual padrão de transmissão de TV Digital operará no Brasil. As alternativas atualmente disponíveis são o padrão ATSC (norte-americano), o DVB (europeu) e o ISDB (japonês). Todos eles representam uma evolução drástica nos paradigmas de transmissão de TV no Brasil, tanto por rádio-difusão como por cabo.

## **5.2 Evolução do Set-Top-Box**

O conceito de Set-Top-Box Digital nasceu como uma plataforma para aplicações multimídia para redes de serviços digitais bidirecionais.

Os primeiros projetos utilizavam um microcomputador PC conectado a uma rede, executando programas de descompressão de vídeo e áudio digital em tempo real, recebendo dados de outras plataformas normalmente em padrões de mídia como o MPEG-1 e MPEG-2.

Posteriormente foram utilizadas placas que realizavam tais tarefas por circuitaria, e em seguida foram introduzidos os *cable-modems*. Com os *cable-modems* e os processadores de áudio e vídeo em circuitaria, podem ser implementados os Set-Top-Boxes digitais em PC's.

O Set-Top-Box desenvolvido sobre um PC, apesar de não ter uma grande representatividade em termos de pesquisa e desenvolvimento, é uma opção para o estudo da viabilidade do projeto, análise de placas ou kits de desenvolvimento. Porém, tem uma série de desvantagens, tais como:

- alto custo, em torno de US\$ 3000.00;
- não corresponde à realidade de mercado;
- é muito limitado em termos de desempenho e aplicações.

Para que o Set-Top-Box Digital se torne viável para os usuários de uma rede de serviços digitais no Brasil, são necessárias pesquisas de sistemas adequados de transmissão e codificação de áudio e vídeo digitais sobre as redes de TV a cabo HFC já implantadas, e de métodos de projeto de circuitaria que permitam grande expansibilidade e flexibilidade, facilitando as atualizações sem a substituição frequente de partes da circuitaria, que é o objetivo deste trabalho. Posteriormente, pode-se projetar o sistema desenvolvido num único chip, visando o seu barateamento e produção em larga escala.

### **5.3 Relevância**

A necessidade de desenvolvimento de um Set-Top-Box Digital no Brasil é um processo semelhante à introdução da Televisão a Cores no Brasil. Apesar de naquela época já existirem os padrões NTSC nos Estados Unidos, SECAM na França e PAL-G na maior parte da Europa, foi necessária a criação de um sistema nacional, o PAL-M, incompatível com os demais. Isto ocorreu porque o sistema de transmissão de TV monocromática era o NTSC (525 linhas de vídeo, 60 campos por segundo e 4,2MHz de banda do sinal de vídeo), mas desejava-se a utilização do sistema PAL, pois este resolvia algumas das deficiências do sistema NTSC.

Porém o sistema PAL adotado na Europa (PAL-G) operava com 625 linhas de vídeo, 50 campos por segundo e 6MHz de banda do sinal de vídeo). Para obter um melhor desempenho que o sistema NTSC de TV a cores, e manter compatibilidade com a transmissão monocromática (que era NTSC), foi criado o sistema PAL-M, operando com 525 linhas de

vídeo, 60 campos por segundo, 4,2MHz de banda do sinal de vídeo e alternância na fase da componente que carrega a informação de cor no sinal de vídeo, que é uma característica inexistente no sistema NTSC. Tal sistema foi adotado somente no Brasil, e mostrou ter um desempenho realmente superior aos demais sistemas de televisão analógica, o que justificou a necessidade de desenvolvimento de um padrão nacional diferente dos existentes.

Com a introdução dos sistemas de comunicações digitais, foi possível uma grande economia de banda do sinal de vídeo, abrindo espaço para utilização da banda remanescente por uma série de serviços, tais como: telemedicina, vídeo em demanda, sistemas interativos de educação e comércio eletrônico, ou seja, aplicações multimídia distribuídas em geral. Para que tais serviços possam ser oferecidos aos usuários de aparelhos de televisão analógicos, é necessário um sistema que não apenas decodifique os sinais digitais e os converta para o sistema PAL-M de televisão convencional, mas que também permita às informações fornecidas pelo usuário serem transmitidas pela infra-estrutura de TV a cabo, recebidas e processadas por uma rede de computadores.

O sistema de decodificação bidirecional e acesso a serviços interativos de TV é o **Set-Top-Box**. A pesquisa e desenvolvimento de Set-Top-Boxes Digitais no Brasil tem como objetivo desenvolver um sistema de televisão digital compatível com o sistema atual de televisão (PAL-M), que permita a continuidade da utilização de aparelhos de televisão convencionais por um longo tempo, fornecendo todos os recursos citados anteriormente e que seja superior aos padrões atuais de televisão digital em desenvolvimento nos Estados Unidos, Japão e Europa, além de atender as necessidades do Brasil, assim como ocorreu com o sistema PAL-M frente aos demais.

Além do mais, existe uma série de benefícios ao se desenvolver um Set-Top-Box Digital no Brasil, tais como:

- Atender a uma demanda reprimida do mercado de televisão;
- Gerar uma grande inovação tecnológica;
- Construir uma plataforma para aplicações multimídia distribuídas e interativas;
- Necessidade de compreensão da evolução dos padrões de TV Digital;
- Adaptação à realidade da infra-estrutura brasileira de telecomunicações;

- Qualidade de serviço;
- Iniciar o desenvolvimento de recursos humanos nesta área.

#### **5.4 O Set-Top-Box Digital Reconfigurável**

Definimos o **Set-Top-Box Digital Reconfigurável** [DALPOZ00A, B, C] como uma plataforma de acesso a todos os serviços bidirecionais disponíveis na rede de TV a cabo, que será frequentemente atualizado pela própria rede de TV a cabo através do armazenamento local de todo o software em execução baseado, por exemplo, em memórias de estado-sólido do tipo FLASH-EPROM.

Dentro desta definição, caso um novo serviço seja lançado pela operadora de TV a cabo, com a possibilidade de alocação de canais (tanto separados pelo espectro de frequências como por multiplexação no domínio do tempo ou ainda por multiplexação via espalhamento espectral) específicos para tal serviço, o Set-Top-Box Digital, que não previa a operação de tal serviço, poderá ser facilmente adaptado pela própria operadora para decodificar e permitir o acesso dos usuários da rede aos novos serviços que poderão ser criados. Tal característica, praticamente inexistente em todos os outros projetos de sistemas de TV Digital disponíveis na literatura e Internet, permitirá que a vida útil do Set-Top-Box Digital seja significativamente ampliada, tornando-se desnecessária a substituição dos Set-Top-Boxes Digitais a cada novo serviço ou modificação nos serviços inicialmente disponíveis.

Levando-se em conta esta característica de adaptação ou mais especificamente de reconfiguração da circuitaria em relação à um determinado serviço, chamaremos a nossa proposta de Set-Top-Box Digital também de **Set-Top-Box Digital Reconfigurável**, ou simplesmente de **Set-Top-Box Reconfigurável**.

Pela evolução das técnicas de compressão de imagens nos últimos 10 anos, estima-se que os métodos de compressão e distribuição de áudio e vídeo digitais venham a sofrer fortes mudanças anualmente, em função principalmente dos novos padrões que estão sendo introduzidos como é o caso do MPEG-4.

Para que todo o sistema de rede de serviços digitais possa se manter atualizado nos próximos anos, dentro da rápida evolução tecnológica atual, seria necessária a substituição eventual de todo parque de Set-Top-Boxes instalados nas residências dos assinantes a cada vez que novos

serviços forem introduzidos ou modificações nos serviços atualmente disponíveis fossem feitas pela operadora de TV a cabo.

Considerando-se que o custo de um Set-Top-Box Digital convencional é algo em torno de centenas de reais, tal substituição se tornaria proibitiva, pelo custo, tanto para os usuários como para a operadora do sistema, restando para a operadora a única alternativa de não introduzir inovações no sistema durante a vida útil do Set-Top-Box, com o conseqüente não aproveitamento de novas tecnologias e de novos serviços nesse período, o que claramente representa um desafio aos operadores de TV a cabo: “Como garantir a introdução de novos serviços sem a modificação da infra-estrutura instalada?”

Com a possibilidade de substituição de todo o software comandada pela própria rede, todo o parque de Set-Top-Boxes Digitais instalados pode ser atualizado rapidamente e praticamente sem custo algum, restando apenas o custo de projeto e execução dos novos aplicativos, já que o custo de distribuição e instalação de tal sistema é mínimo. Estimamos que, para este projeto, a vida útil do Set-Top-Box Digital se estenda até cinco anos apenas com este recurso de atualização dos programas armazenados localmente, previsto no projeto, o que permitirá que todos os novos desenvolvimentos a serem feitos na área de compressão de vídeo e áudio possam ser facilmente incorporados a todo o sistema de TV a cabo, reduzindo a alocação de banda para transmissão de sinais de TV com o conseqüente aumento da banda disponível para novos serviços.

Dentre as várias características desejáveis num STB-D, espera-se a operação tanto sobre um aparelho de televisão convencional (que operará como monitor de vídeo) como também sobre um aparelho de televisão de alta definição (HDTV), incluindo os seguintes recursos:

- **Reconfiguração para adaptação aos padrões multimídia emergentes:** ao longo dos últimos anos podemos observar ciclos cada vez menores de introdução de novos padrões multimídia, exemplo desta tendência é a família de padrões MPEG, que vem, a cada nova versão, introduzindo inovações que permitem uma drástica redução de banda de comunicação com ganhos na qualidade de áudio e vídeo. A reconfiguração de um Set-Top-Box é uma enorme vantagem considerando a adaptação para os novos padrões, evitando desta forma que seja necessária uma completa substituição do parque de Set-Top-Boxes em operação conectados à rede de serviços digitais;

- **Reconfiguração para adaptação aos padrões multimídia emergentes:** ao longo dos últimos anos podemos observar ciclos cada vez menores de introdução de padrões multimídia, exemplo desta tendência é a família de padrões MPEG que tem apresentado propostas sucessivas de padrões em ciclos cada vez menores;
- **Suporte a televisão de alta definição (HDTV):** há praticamente duas décadas engenheiros e cientistas vem procurando adequar a atual infraestrutura de distribuição de sinais de TV aos requisitos estabelecidos pela HDTV. Com o advento de modernas técnicas de exibição de imagens digitais de alta resolução como os sistemas PLD, LCD e DLP, a demanda por sistemas de geração e distribuição de TV de alta resolução tem sido crescente;
- **Bi-direcionalidade de Comunicação de Dados Digitais:** propiciando a incorporação de protocolos básicos e avançados de Internet como o TCP/IP e HTTP;
- **Suporte a Aplicações Multimídia Distribuídas:** permitindo a oferta de recursos de entretenimento avançados como serviços de distribuição de vídeo-sob-demanda e a oferta de jogos eletrônicos interativos;
- **Expansibilidade:** permitindo a incorporação gradativa de novos serviços e padrões de acordo com a evolução tecnológica;
- **Custo mínimo:** garantindo a melhor relação entre “hardware/software”, e aumentando a vida útil do Set-Top-Box evitando trocas desnecessárias;
- **Independência da interface de comunicação:** permitindo a operação com diferentes tipos de redes e adaptação conforme os meios de acesso disponíveis na residência do assinante da rede de comunicação;
- **Suporte a serviços: (telemedicina, tele-educação, comércio eletrônico, etc.):** permitindo a interoperabilidade com outros dispositivos, por exemplo, medidores de pressão arterial e batimento cardíaco, para transmissão de informações médicas precisas, propiciando o desenvolvimento de sistemas de diagnóstico médico à distância;
- **transações eletrônicas seguras:** operando com sistemas avançados de criptografia que requerem elevado poder de processamento local, a fim de que as informações

sendo transmitidas só sejam decodificáveis apenas pelo usuário e pela empresa com a qual deseja-se comercializar um produto;

- **Descompressão de áudio:** processando localmente os fluxos de bits de áudio comprimido fornecidos pela operadora da rede digital de serviços integrados e geração dos sinais de áudio analógicos tanto para operação como sistemas receptores de rádio como de TV digitais;
- **Descompressão de vídeo:** processando localmente os fluxos de bits de vídeo comprimido fornecidos pela operadora da rede digital de serviços integrados e geração dos sinais de vídeo para o receptor de TV convencional ou de alta definição para operação como receptor de TV Digital;
- **Suporte à Linguagem de programação JAVA:** por se tratar de uma linguagem multiplataforma, Java tornou-se um padrão industrial para o desenvolvimento de aplicativos para sistemas distribuídos, frequentemente acessados via Internet.

#### 5.4.1 Lógica Reconfigurável

Lógica Reconfigurável, também conhecida como Lógica Programável, é uma família de componentes eletrônicos que contém conjuntos de elementos lógicos (portas E, portas OU, portas inversoras, *latches*, *flip-flops*) que podem ser configurados para qualquer função lógica que o usuário deseja e que o componente suporta.

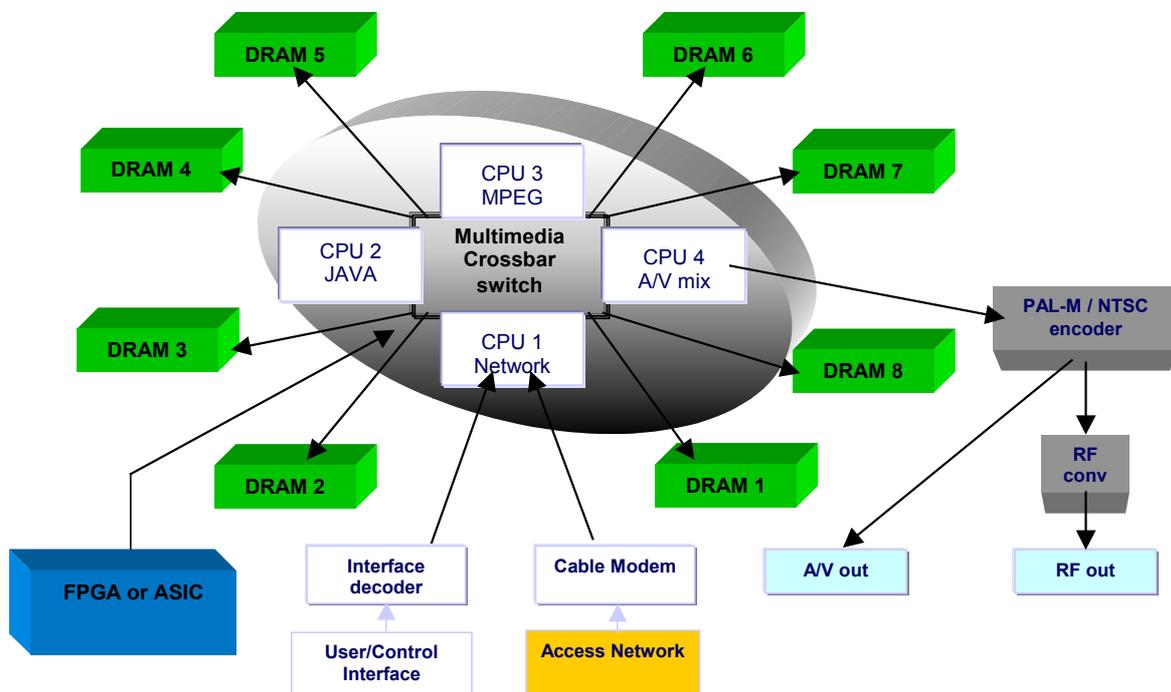
Um dispositivo reconfigurável pelo usuário é aquele que contém uma arquitetura geral pré-definida em que o usuário pode configurar a função final do dispositivo empregando um conjunto de ferramentas de projeto. As arquiteturas gerais podem variar mas normalmente consistem em uma ou mais matrizes de portas E e OU para implementar funções lógicas. Muitos dispositivos também contêm combinações de *flip-flops* e *latches* que podem ser usados como elementos de armazenamento para entrada e saída de um dispositivo. Os dispositivos mais complexos contêm macrocélulas. As macrocélulas permitem ao usuário configurar o tipo de entradas e saídas necessárias para o projeto.

#### 5.5 Arquitetura Proposta

A Figura 5-1 apresenta a arquitetura do Set-Top-Box proposto. Esta arquitetura é composta e composto pelos seguintes subsistemas:

- Cable-modem;
- Interface para controle remoto;
- Microcomputador de alto desempenho para aplicações específicas;
- Conversores de vídeo e áudio digitais para analógico.

O cable-modem recebe e demodula os sinais enviados pela operadora através da rede HFC, transmitindo os sinais digitais para o microcomputador. Tal sinal contém todos os serviços providos pela operadora, não apenas sinais de áudio e vídeo digital, mas também arquivos e dados a serem carregados no Set-Top-Box além dos protocolos utilizados na Internet. O microcomputador contém os softwares responsáveis por cada aplicação gravados em memórias FLASH-EPROM, que permitem a substituição do conteúdo da memória de forma totalmente transparente e não volátil, não necessitando que o equipamento se mantenha ligado à rede elétrica permanentemente. A especificação destes programas determina quais os requisitos mínimos de desempenho necessários para este microcomputador, que é a parte central e crítica de todo o Set-Top-Box.



**Figura 5-1- Arquitetura do Set-Top-Box Digital Reconfigurável**

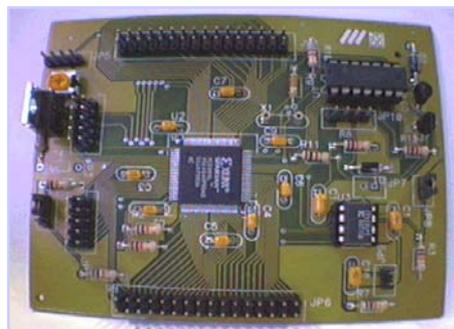
Este microcomputador executará a decompressão dos sinais de áudio e vídeo digitais comprimidos recebidos pela rede e outros softwares específicos para os futuros serviços a

serem criados (incluindo a possibilidade de execução de um navegador Internet que será desenvolvido especificamente para ser executado nesta plataforma. Fará também a geração e composição dos sinais de áudio e vídeo digitais não comprimidos a partir das seleções do usuário, recebendo tais dados através de um decodificador de sinais infravermelho de um controle remoto. Tais sinais de áudio e vídeo precisam ser convertidos para o formato analógico, pois é este o padrão de entrada de sinais dos aparelhos de televisão convencionais (SDTV). Além disso, estima-se que os futuros aparelhos de televisão de alta definição possuam uma entrada de vídeo digital no formato D1 (CCIR-601), razão pela qual pretende-se que o Set-Top-Box tenha uma saída neste formato. No formato analógico, haverá saídas de RGB, de vídeo composto (CVBS) e também de RF modulado no canal 3 ou 4, que é o padrão utilizado pelas indústrias de vídeo-cassete.

O cable-modem deve ser bidirecional, isto é, permitir tanto a recepção de sinais da rede como enviar sinais para a rede. Isto será feito reservando-se bandas para os canais de recepção (50MHz a 800MHz) e para os canais de transmissão (5 a 50MHz). O microcomputador para aplicações específicas do Set-Top-Box inclui os seguintes componentes:

- Conjunto de memórias distribuídas;
- Conjunto de processadores de aplicação específica;
- Controlador de barramento de alto desempenho;

Atualmente o primeiro protótipo do Set-Top-Box Digital Reconfigurável encontra-se em operação, a Figura 5-2 apresenta este protótipo.



**Figura 5-2 - Foto do Protótipo do 1º Set-Top-Box Digital**

## 5.6 Aplicações Multimídia Bi-direcionais sobre o Set-Top-Box

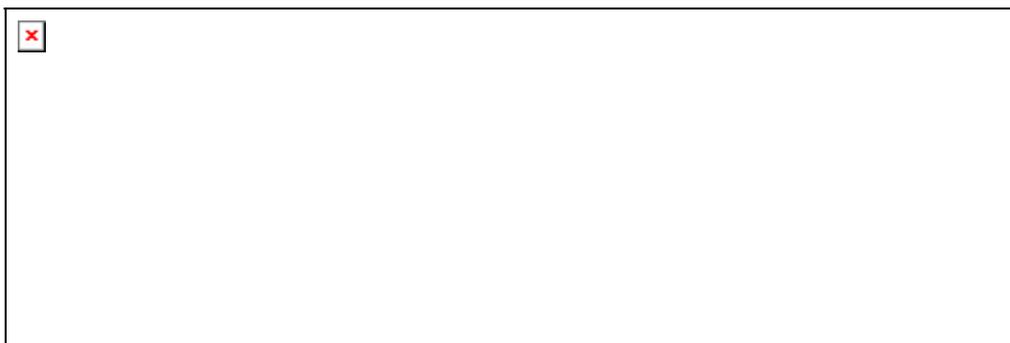
Nesta seção apresentamos algumas protótipos de ferramentas desenvolvidas para o Set-Top-Box Digital reconfigurável no LSI-USP. Serão descritas três aplicações: O FlyBrower 1.0, o Polimídia e o MusiFace.

O navegador WWW Fly-Brower 1.0 (Figura 5-3), é foi desenvolvido em assembler para microprocessadores de 8 bits garantindo compatibilidade com a linguagem HTML 1.0. O código executável do Fly-Brower 1.0 ocupa 18Kbytes. O principal objetivo do Fly-Brower foi o desenvolvimento de um navegador WWW de alto desempenho, voltado para aplicações em comércio eletrônico, e que ocupasse o mínimo de recursos computacionais do Set-Top-Box. Maiores informações podem ser encontradas em [www.lsi.usp.br/~ricardo/flybrower](http://www.lsi.usp.br/~ricardo/flybrower).



**Figura 5-3 - Navegador Fly-Brower 1.0**

O MusiFace o o Polimídia (Figura 5-4) são duas aplicações voltadas para mídia-sob-demanda. O MusiFace é voltado especificamente para o acesso de trilhas sonoras digitalizadas. O Polimídia é voltado especificamente para seqüências de vídeo digitalizadas no padrão MPEG-1 e MPEG2. Ambos aplicativo foram desenvolvidos em Java na forma de aplicativos autônomos (*applets*). Atualmente estes aplicativos rodam em PCs e no futuro esperamos o porte destas duas aplicações para o Set-Top-Box Digital Reconfigurável.



**Figura 5-4 - Duas Aplicações Java para Mídia-sob-Demanda em Set-Top-Boxes**

## **5.7 Conclusões**

Neste capítulo apresentamos o Set-Top-Box Digital Reconfigurável. Este sistema pretende a médio prazo integrar os vários recursos multimídia voltados especificamente para TV Digital.

A capacidade do Set-Top-Box de suportar o padrão MPEG-4 abre a possibilidade a médio prazo de uso de recursos avançados propostos no padrão como a recepção e sincronização de múltiplos fluxos de mídia, a manipulação de estruturas de dados complexas como os BIFs descritos no capítulo 4, e o suporte à multiexibição de imagens estereoscópicas.

O crescente uso da lógica reconfigurável no desenvolvimento de meios eletrônicos interativos vai permitir a rápida superação das atuais limitações desta tecnologia, principalmente custo e desempenho. Esta tendência sugere que eventualmente em alguns anos, através da lógica reconfigurável, sistemas complexos como o multicomputador gráfico PLÊIADES poderão ser integrados nos futuros Set-Top-Boxes, suportando sistemas de TV Digital imersivos e interativos.

## 5.8 Bibliografia do Capítulo

- [ACM94] ACM Multimedia 94 Proceedings, October 15-20, 1994, San Francisco, California, USA
- [ACM95] ACM Multimedia 95 Proceedings, November 5-9, 1995, San Francisco, California, USA
- [ACM97] ACM Multimedia 97 Proceedings, November 9-13, 1997, Seattle, Washington, USA
- [ARAI88] Y. Arai, T. Agui & M. Nakajima, "A Fast DCQ-SQ Scheme for Images", Transactions on IEICE, vol E-71, no. 11, pages 1095-1097, nov. 1988
- [ATHANAS93] Peter M. Athanas & Harvey F. Silverman, "Processor Reconfiguration through Instruction Set Metamorphosis", IEEE Computer, vol. 26, no. 3, pages 11-18, Mar. 1993
- [ATSC97] A Compilation of Advanced Television Systems Committee Standards, March 1997
- [CGW95] Computer Graphics World, "Tips on modeling a virtual environment", February 1995
- [CICIORA95] Walter S. Ciciora, "Cable Television in the United States – An Overview", Cable Television Laboratories, 1995.
- [DALPOZ00A] M. A. S. Dal Poz, J. E. A. Cobo, W. A. M. V. Noijs, M. K. Zuffo, "A Simple Risc Microprocessor Core Designed for Digital Set-Top-Box Applications", Proceedings IEEE Application-Specific Systems Architectures and Processors, Boston, MA, USA, pages 35-44, jul. 2000
- [DALPOZ00B] M. A. S. Dal Poz, J. E. A. Cobo, W. A. M. V. Noijs, M. K. Zuffo, "Hardware/Software Co-Design of a Simple Risc Microprocessor for Digital Set-Top-Box Applications", Proceedings Core2000 Computação Reconfigurável, Marília, SP, pages 68-77, aug. 2000
- [DALPOZ00C] M. A. S. Dal Poz, J. E. A. Cobo, W. A. M. V. Noijs, M. K. Zuffo, "Hardware/Software Co-Design of a Simple Risc Microprocessor Core for Digital Set-Top-Box Applications", Proceedings SBrT2000 Sociedade Brasileira de Telecomunicações, Gramado, RS, CD 1, sep. 2000
- [FAUTH95] A. Fauth, J. Van Praet \* M. Freericks, "Describing Instruction Set Processor using nMLx", Proceedings European Design and Test Conference, Paris, mar. 1995
- [FEIG92] E. Feig & S. Winograd, "Fast Algorithms for the Discrete Cosine Transform", IEEE Transactions on Signal Processing vol.40 no. 9, pages 2174-2193, Sep. 1992
- [FREGNI95] Edson Fregni, "Engenharia de Projeto Lógico Digital", Edgard Blucher, 1995
- [HOLMER93] B. Holmer, "Automatic Design of Computer Instruction Sets", University of California at Berkeley, Ph.D. dissertation, 1993
- [HUANG95] I. Huang & A. M. Despain, "Synthesis of Application Instruction Sets", IEEE Transactions on CAD of Integrated Circuits and Systems, vol. 14, no. 6, pages 663-675, June 1995

- [JACK96] Keith Jack, "Video Demystified: A Handbook for Video Engineers",
- [LANNER95] D. Lanner, J. Van Praet, A. Kifft et al, "CHESS – Retargetable Code Generator for Embedded DSP Processor", Kluwer Academic Publisher, pages 85-103, 1995
- [LEE96] R. Lee, "Subword Parallelism with MAX-2", IEEE Micro, vol. 16, no. 5, pages 135-142, Nov. 1996
- [LOEFFER89] C. Loeffler, A. Ligtenberg & G. S. Moschytz, "Practical fast 1D DCT algorithms with 11 multiplications", Proceedings ICASSP 1989, pages 988-991
- [MICRO92] IEEE Micro (chips, systems, software and applications), "A 160-Mpixel/s IDCT processor for HDTV", October 1992
- [MPEG92] ISO / IEC JTC1 / SC29 / WG11, MPEG International Standard ISO 11172, coding of moving pictures and associated audio for digital storage media up to 1.5 Mbits/s, 1992
- [PATTERSON96] D. A. Patterson & J. N. Hennessy, "Computer Architecture: a Quantitative Approach", Morgan Kaufmann Publishers, 2nd edition, 1996
- [SATO91] J. Sato et al, "An Integrated Design Environment for Application Specific Instruction Processor", Proceedings ICCD, pages 414-417, 1991
- [SCHACKLE96] B. Schackelford, M. Yusuda, E. Okushi and H. Koizumi, "The Integrated Processor Synthesis and Compiler Generations Systems", SASIMI pages 135-142, Nov. 1996
- [SENATORI87] Nelson Orlando Berton Senatori & Francisco Sukys, "Introdução à Televisão e ao Sistema PAL-M", Editora Guanabara, 1987
- [SIGGRAPH98] Siggraph 98 course 43 (Digital Video: Algorithms and Interfaces) and 44 (Digital Video: MJPEG, MPEG2, DVC and DVD), July 19-24, 1998, Orlando, Florida, USA
- [SMITH96] Douglas J. Smith, "HDL Chip Design", Done Publications, 1996
- [THALMANN94] Nadia M. Thalmann & Daniel Thalmann, "Mundos Virtuais e Multimídia", LTC-Livros Técnicos e Científicos, 1994
- [WATKINSON99] J. Watkinson, MPEG-2, Focal Press 1999
- [XILINX99] The Programmable Logic Data Book, Xilinx Inc., 4th quarter 1999

## 5.9 Referências na Internet

- |   |  |
|---|--|
| <a href="http://www.bia.com/media_news.htm">http://www.bia.com/media_news.htm</a>   | Descrição do Mercado de TV Digital nos EUA |
| <a href="http://www.televisaobrasil.com.br/">http://www.televisaobrasil.com.br/</a>   | História da TV                             |
| <a href="http://www.microfone.jor.br/historiadaTV.htm">http://www.microfone.jor.br/historiadaTV.htm</a>                       | História da TV                             |
| <a href="http://www.tudosobretv.com.br/histortv/historbr.htm">http://www.tudosobretv.com.br/histortv/historbr.htm</a>         | História da TV                             |
| <a href="http://clientes.brasilnet.psi.br/fbc/historia_tv_br.htm">http://clientes.brasilnet.psi.br/fbc/historia_tv_br.htm</a> | História da TV                             |
| <a href="http://www.tv.k8.com.br/artigos/historia.htm">http://www.tv.k8.com.br/artigos/historia.htm</a>                       | História da TV                             |

## CAPÍTULO 6 Conclusões e Trabalhos Futuros

---

O Freunde, nicht diese Töne!  
Sondern laßt uns angenehmere  
  anstimmen  
  und freundenvollere!

Freude, schöner Götterfunken,  
  Tochter aus Elysium,  
  Wir betreten feuertrunken,  
  Himmlische, den Heiligtum!  
Deine Zauber binden wieder,  
  Was die Mode streng geteilt;  
Alle Menschen werden Brüder,  
  Wo dein sanfter Flügel weilt.

Wem der große Wurf gelungen,  
eines Freundes Freund zu sein,  
Wer ein holdes Weib errungen,  
  Mische seinen Jubel ein!  
  Ja, wer auch nur eine Seele  
Sein nennt auf dem Erdenrund!  
Und wer's nie gekonnt, der stehle  
  Weinend sich aus diesem Bund.

Freude trinken alle Wesen  
An den Brüsten der Natur;  
  Alle Guten, alle Bösen  
  Folgen ihrer Rosenspur.  
Küsse gab sie uns und Reben,  
Einen Freund, geprüft im Tod;  
Wollust ward dem Wurm gegeben,  
Und der Cherub steht vor Gott!

Froh, wie seine Sonnen fliegen  
Durch des Himmels prächt'gen Plan,  
  Laufet, Brüder, eure Bahn,  
Freudig, wie ein Held zum Siegen.

Seid umschlungen, Millionen.  
Diesen Kuß der ganzen Welt!  
  Brüder! Über'm Sternenzelt  
  Muß ein lieber Vater wohnen.  
Ihr stürzt nieder, Millionen?  
Ahnest du den Schöpfer, Welt?  
  Such'ihn über'm Sternenzelt  
Über Sternen muß er wohnen.

**Friedrich Von Schiller**  
**ODE "AN DIE FREUDE"**

A disseminação em larga escala da tecnologia eletrônica na sociedade a partir do início da década de 70 afetou profundamente as relações humanas nestas últimas três décadas, principalmente a partir da possibilidade de intercâmbio de informações multimídia na forma digital.

Apesar de todos os avanços tecnológicos observados ainda há um enorme potencial de pesquisa e desenvolvimento de novos meios eletrônicos interativos capazes de atender a demanda do ser humano por equipamentos e sistemas mais intuitivos, naturais e de baixo custo.

Neste trabalho apresentamos a hipótese da convergência da realidade virtual e da Internet Avançada em novos paradigmas de TV Digital, baseada na pesquisa e desenvolvimento da CAVERNA Digital, do multicomputador gráfico PLÊIADES e da família de Set-Top-Boxes reconfiguráveis.

Ao longo da pesquisa realizada e dos desafios tecnológicos apresentados, observamos o interrelacionamento dos desenvolvimentos, e da possibilidade a médio prazo da integração destes sistemas em uma plataforma imersiva e bidirecional de TV Digital.

Dentre as perspectivas futuras no desenvolvimento da CAVERNA Digital, destacamos as possibilidades de utilização de tecnologias de menos custo e flexibilidade para a implementação de sistemas de multiexibição de imagens estereoscópicas.

Entre as possibilidades ainda não exploradas, destacam-se o desenvolvimento de sistemas autoestereoscópicos e o uso de técnicas de síntese de imagens baseadas em imagens naturais. O desenvolvimento de sistemas ópticos/eletrônicos para o mapeamento tridimensional da luz e a auto-calibração dos projetores ainda se faz necessário. Finalmente o uso de tecnologias baseadas em semicondutores como a tecnologia DLP podem em muito reduzir os custos e propiciar a miniaturização dos atuais projetores.

O ineditismo do desenvolvimento e construção da CAVERNA Digital na América Latina em muito colaboraram também com o posicionamento do Brasil em um outro patamar de desenvolvimento científico e tecnológico na área.

A pesquisa e desenvolvimento do multicomputador gráfico PLÊIADES aliados à proposição de ambientes inovativos de programação distribuída voltados a visualização em tempo real é

também de grande relevância tecnológica, sendo que inúmeras possibilidades de investigação e resultados científicos inéditos encontram-se ainda inexplorados.

A família de Set-top-Boxes digitais baseada em lógica reconfigurável é uma direção bastante promissora de investigação, cujos resultados ainda preliminares são muito motivantes. A principal vantagem da lógica reconfigurável em meios eletrônicos interativos é a possibilidade da circuitaria acompanhar a constante evolução dos padrões multimídia como é o caso do MPEG-4, que a cada dia sofrem incorporações de novas funcionalidades e recursos. Esta capacidade de adaptação da circuitaria ao ambiente de programação e aplicativos é de fundamental importância para a constante evolução dos meios eletrônicos interativos.

Acreditamos que as atuais limitações da lógica reconfigurável como custo, limite de portas lógicas e desempenho serão rapidamente superadas, permitindo a médio prazo a integração de meios eletrônicos interativos complexos capazes de suportar os requisitos de computação e comunicação multimídia estabelecidos pelas futuras aplicações da TV Digital imersiva e interativa.