



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Hugo Pereira Kuribayashi

**IMPLEMENTAÇÃO DE SUPORTE A CANAL DE RETORNO NA PLATAFORMA
OPENGINGA: UM ESTUDO DE CASO NA REGIÃO AMAZÔNICA**

Belém
Outubro - 2011

Hugo Pereira Kuribayashi

**IMPLEMENTAÇÃO DE SUPORTE A CANAL DE RETORNO NA PLATAFORMA
OPENGINGA: UM ESTUDO DE CASO NA REGIÃO AMAZÔNICA**

Dissertação de Mestrado apresentada para
obtenção do grau de Mestre em Ciência
da Computação pelo programa de Pós-
Graduação em Ciência da Computação.
Instituto de Ciências Exatas e Naturais.
Universidade Federal do Pará.
Área de concentração: Redes de
Computadores.
Orientador: Prof. Dr. Carlos Renato
Lisboa Francês.

Belém
Outubro - 2011

Kuribayashi, Hugo Pereira

Implantação de suporte a canal de retorno na plataforma Openginga: Um estudo de caso na região amazônica. / (Hugo Pereira Kuribayashi); orientador, Carlos Renato Lisboa Francês. - 2011.

75 f. il. 28 cm

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Ciências Exatas e Naturais. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. Belém, 2010.

1. Redes de computadores. 2. TV Digital. 3. Inclusão Digital. I. Francês, Carlos Renato Lisboa, orient. II. Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. III. Título.

IMPLEMENTAÇÃO DE SUPORTE A CANAL DE RETORNO NA PLATAFORMA OPENGINGA: UM ESTUDO DE CASO NA REGIÃO AMAZÔNICA

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. Instituto de Ciências Exatas e Naturais. Universidade Federal do Pará.

Data da aprovação: 11 de Outubro de 2011

Banca Examinadora

Prof. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês
PPGCC – UFPA – Orientador

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes
PPGEE – UFPA – Avaliador externo

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa
PPGCC – UFPA – Avaliador interno

As minhas amadas Gabriela e Julia,
E aos meus queridos pais Saburo e Fátima, e irmão Jonatas.

AGRADECIMENTOS

A Deus antes de tudo por me iluminar e orientar nos momentos necessários.

Aos meus queridos pais Saburo e Fátima, que sempre lutaram a vida toda para que meu irmão Jonatas e eu tivéssemos a melhor educação possível.

As minhas amadas Gabriela e Julia que nos momentos decisivos sempre estiveram ao meu lado me apoiando, incentivando e ajudando no que fosse necessário.

Para Antônio e Deuza Andrade, por sempre terem me apoiado e incentivado, sendo de fundamental ajuda.

Ao meu irmão Jonatas pelo companheirismo e carinho de sempre.

Ao meu orientador, Prof. Renato Francês, por aceitar a árdua tarefa de me orientar e por ter sempre acreditado na minha capacidade.

A todos os colegas de LPRAD que sempre estiveram ao meu lado no desenvolvimento deste trabalho, compartilhando valiosos conhecimentos e ajudando em meus momentos de dúvidas, em especial a Marcos Seruffo e Carlos Natalino.

Um especial agradecimento para o LAVID da UFPB em nome de Alan Lívio, que foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os companheiros de CTIC, em especial Paulo Cleiton, e Prof. Elói, que me auxiliaram muito na reta final sempre incentivando meu trabalho.

Ao meu grande amigo Rafael Freitas, por ter aberto as portas dessa jornada.

Por fim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente com o desenvolvimento deste trabalho.

“Não sobrecarregues os teus dias com preocupações desnecessárias, a fim de que não percas a oportunidade de viver com alegria.”

André Luiz

RESUMO

O Sistema Brasileiro de Televisão Digital SBTVD foi concebido levando-se em consideração não apenas requisitos técnicos e econômicos, mas também como agente potencializador de mecanismos de inclusão social/digital. Neste contexto se faz necessário a presença do canal de retorno, que viabiliza a comunicação em plataformas de TVD, tornando-se assim indispensável a mecanismo de inclusão digital que tenham como objetivo prover acesso à informação. Assim, este trabalho de Dissertação descreve o processo de implementação do suporte a tecnologias de acesso para canal de retorno em TVD, na plataforma OpenGinga (uma implementação de referência do middleware do Sistema Brasileiro de TV Digital). De modo complementar é implementado o suporte a tecnologia PLC, que não é prevista originalmente na norma Ginga como alternativa de canal de retorno e, a partir de um *testbed* montado na Universidade Federal do Pará, a API desenvolvida é testada, utilizando as tecnologias de acesso PLC e Wi-Max, como alternativas de canal de retorno, em regiões de típico clima amazônico. Adicionalmente uma heurística baseada na utilização de pacotes ICMP (*Internet Control Message Protocol*) é implementada na camada OpenGinga Common Core, de modo a ilustrar uma possível seleção de qual canal de retorno seria mais apropriado em um dado instante.

PALAVRAS-CHAVE: OpenGinga, TV Digital, Canal de Retorno, Inclusão digital, Amazônia.

ABSTRACT

The Brazilian System of Digital Television (SBTVD) was designed considering not only technical and economic requirements, but also as agent-enhancing mechanisms of social inclusion/digital. In this context is necessary the presence of the return channel, which provides communications platforms DTV, making it essential to digital inclusion mechanism that aim to provide access to information. Thus, this master's thesis describes the process of implementing support for multiple access technologies in DTV return channel, in Openginga platform (a reference implementation of the middleware of the Brazilian Digital TV). This work is also carried out the implementation of PLC technology, which is not originally planned as an alternative in the standard Ginga return channel, and using a *testbed* set up at the Federal University of Para, the API developed is tested using the PLC and Wi-Max access technologies, as an alternative return channel, in regions of typical Amazonian climate. In addition, a heuristic based on the use of ICMP (Internet Control Message Protocol) packages is implemented in the Common Core Openginga layer, in order to illustrate a possible selection of return channel, which would be more appropriate in a given time.

KEYWORDS: Openginga, Digital TV, Return Channel, Digital Inclusion, Amazon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Índices de exclusão social no Brasil (Pochmann et al, 2003).	18
Figura 2.1: Representação do sistema de TV digital (Barbosa, 2008).	28
Figura 2.2: Arquitetura de um sistema de TV digital (Montez e Becker, 2004).	29
Figura 2.3: MPEG-2 TS encapsulando áudio, vídeo e dados (Schwalb, 2003).	32
Figura 2.4: Esquema de frequências do formato ADSL.	40
Figura 2.5: Representação do espectro de frequências do formato ADSL2/2+ (Aware, 2005).	41
Figura 2.6: Espectro de frequências do PLC	43
Figura 2.7: Estrutura de comunicações Wi-Max.	45
Figura 2.8: Representação de linha de visada e zonas de Fresnel. (Figueiredo, 2011).	45
Figura 3.1: Macro arquitetura da plataforma Opeinginga (LAVID 2011).	49
Figura 3.2: Diagrama de componentes da camada Opeinginga-CC (LAVID, 2011).	53
Figura 3.3: Diagrama de classes de componentes do FlexCM (LAVID, 2011).	54
Figura 3.4: Pilha de camadas do componente Tuner (LAVID, 2011).	55
Figura 4.1: Fluxograma que demonstra processo de desenvolvimento de componente FlexCM.	57
Figura 4.2: Trecho de registry.xml onde o componente FlexCM é registrado.	58
Figura 4.3: Trecho do código nativo que altera configurações do dispositivo de rede	59
Figura 4.4: Trecho da implementação do componente FlexCM.	59
Figura 4.5: Trecho da implementação criada na camada Ginga-J JNI.	60
Figura 4.6: Classe da camada Ginga-J <i>Wrapped</i> desenvolvida.	61
Figura 4.7: Diagrama de classes do pacote <i>com.sun.dtv.net</i> (ABNT 15604-4, 2009).	63
Figura 4.8: Trecho da classe <i>NetworkDevice</i> desenvolvida.	64
Figura 5.1: Representação do cenário de testes da API.	66
Figura 5.2: Antena Wi-Max SS utilizada no testbed.	67
Figura 5.3: Visão aérea do campus da UFPA.	68
Figura 5.4: Fluxograma de conexão utilizando-se a API JavaDTV	70
Figura 5.5: Trecho da aplicação Ginga-J desenvolvida neste trabalho.	71
Figura 5.6: Trecho de aplicativo Ginga-J que realiza teste entre tecnologias de acesso.	72
Figura 5.7: Resumo de resultados obtidos com a medição do atraso.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Alguns formatos de compressão de mídias digitais.....	30
Tabela 2.2: Resumo de padrões de referência para sistemas de TV digital	38
Tabela 2.3: Comparação entre padrões de referência da família 802.16.....	46
Tabela 2.4: Comparação entre tecnologias de acesso (Seruffo, 2008).....	46
Tabela 3.1: Resumo dos componentes da plataforma Opeingina.....	50
Tabela 4.1: Classe do pacote com.sun.dtv.net (ABNT 15604-4, 2009).....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

8-VSB	<i>8-Level – Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
64-QAM	<i>64-Quadrature Amplitude Modulation</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADSL	<i>Asynchronous Digital Subscriber Line</i>
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
API	<i>Application Program Interface</i>
ARIB	<i>Association of Radio Industries and Businesses</i>
ATSC	<i>Advanced Television Systems Committee</i>
AVC	<i>Advanced Video Coding</i>
BML	<i>Broadcast Markup Language</i>
BS	<i>Base Station</i>
BST-OFDM	<i>Band-Segmented Transmission Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
CATV	Cable TV
COFDM	<i>Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
CPQD	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações
DASE	<i>DTV Application Software Environment</i>
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
DNS	<i>Domain Name System</i>
DTV	<i>Digital Television</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
DSM-CC	<i>Digital Storage Media Command and Control</i>
EDTV	<i>Enhanced Definition Television</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
GSM	<i>Global System for Mobile</i>
HDTV	<i>High Definition Television</i>
HE-AAC	<i>High-Efficiency-AAC</i>
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
IBCT	Instituto Brasileiro de Ciência e Tecnologia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMP	<i>Internet Control Message Protocol</i>

IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPC	<i>Inter-Process Communication</i>
ISDB	<i>Integrated Service Digital Broadcasting</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JMF	<i>Java Media Framework</i>
JNI	<i>Java Native Interface</i>
JVM	Máquina Virtual Java
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MHP	<i>Multimedia Homed Plataform</i>
MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i>
NCL	<i>Nested Context Language</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
PDSL	<i>PowerLine Digital Subscriber Line</i>
PLC	<i>PowerLine Communication</i>
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílio
PNBL	Plano Nacional de Banda Larga
PoP	Ponto de Presença
PUC-RIO	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
RFC	<i>Request for Comments</i>
RNP	Rede Nacional de Ensino e Pesquisa
SBR	<i>Spectral Band Replication</i>
SBTVD	Sistema Brasileiro de Televisão Digital
SDTV	<i>Standard Definition Television</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
SS	<i>Subscriber Station</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TS	<i>Transport Stream</i>
TV	Televisão
TVD	Televisão Digital
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>

UFPA	Universidade Federal do Pará
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UNIVALI	Universidade do Vale do Itajaí
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>
VoIP	Voz sobre IP
XML	<i>Extensible Markup Language</i>
WSIS	<i>World Summit on the Information Society</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	21
1.2	ORGANIZAÇÃO	23
2	TELEVISÃO DIGITAL E TECNOLOGIAS DE ACESSO	24
2.1	TV DIGITAL INTERATIVA.....	24
2.2	A TV DIGITAL E O CONCEITO DE INTERATIVIDADE	26
2.3	COMPONENTES DA TV DIGITAL INTERATIVA	27
2.3.1	CODIFICAÇÃO DE ÁUDIO E DE VÍDEO	29
2.3.2	SISTEMA DE TRANSPORTE.....	31
2.3.3	MODULAÇÃO	32
2.3.4	CANAL DE RETORNO	33
2.3.5	MIDDLEWARE	34
2.4	CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS SISTEMAS DE TV DIGITAL.....	34
2.4.1	DVB – DIGITAL VIDEO BROADCASTING	35
2.4.2	ATSC – ADVANCED TELEVISION SYSTEMS COMMITTEE	36
2.4.3	ISDB – INTEGRATED SERVICE DIGITAL BROADCASTING	36
2.4.4	SBTVD – SISTEMA BRASILEIRO DE TELEVISÃO DIGITAL	37
2.5	TECNOLOGIAS DE ACESSO	38
2.5.1	DSL – DIGITAL SUBSCRIBER LINE	39
2.5.1.1	ADSL2/2+ – ASYMMETRIC DIGITAL SUBSCRIBER LINE 2+	41
2.5.2	PLC – POWERLINE COMMUNICATIONS	42
2.5.3	Wi-Max – 802.16	43
2.5.4	COMPARAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS DE ACESSO.....	46
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	47
3	A PLATAFORMA OPENGINA.....	48
3.1	A PLATAFORMA OPENGINA	48
3.1.1	<i>Openginga Common Core (Openginga-CC)</i>	<i>51</i>
3.1.2	<i>Integração entre Openginga-CC e máquinas de apresentação</i>	<i>55</i>
3.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	56
4	IMPLEMENTAÇÃO DO COMPONENTE DE CANAL DE RETORNO	57
4.1	IMPLEMENTAÇÃO DO COMPONENTE FLEXCM/Common Core	57
4.2	IMPLEMENTAÇÃO DA CAMADA GINGA-J JNI/WAPPED.....	60
4.3	IMPLEMENTAÇÃO DA API JAVA DTV.....	61
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	65
5	CENÁRIO DE TESTES DA API DESENVOLVIDA.....	66
5.1	CENÁRIO DE TESTES.....	66
5.2	APLICAÇÃO GINGA-J	69
5.3	EXTENSÃO NA CAMADA OPENGINA-CC.....	71
5.4	ANÁLISE DE RESULTADOS OBTIDOS	73
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	74
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
6.1	CONTRIBUIÇÕES DESTE TRABALHO.....	76
6.2	DIFICULDADES ENCONTRADAS	77
6.3	TRABALHOS FUTUROS.....	77
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de TV digital (TVD) podem oferecer um importante recurso para seus telespectadores: o serviço de interatividade, o qual pode proporcionar a disponibilização de um conjunto de inúmeros serviços. Tais serviços interativos, contudo, pressupõem a existência do canal de retorno em plataformas de TVD. Entretanto, o nível de interatividade pode ser limitado de acordo com os serviços de telecomunicações oferecidos e, principalmente, pelas características inerentes da tecnologia de acesso utilizada como canal de retorno. Métricas como vazão, atraso e perda de pacotes, podem influenciar nas aplicações utilizadas, devido às próprias desvantagens de cada tecnologia, e assim implicando na limitação do grau de interatividade obtido na plataforma de TVD.

Em regiões onde há carência de infraestrutura de telecomunicações, os serviços de interatividade (assim como os de Internet) se tornam deficitários, especialmente quando se consideram custos de implantação e manutenção, além de especificidades da própria região. Aplicações de teleducação, por exemplo, consideradas estratégicas para a região, em muitas situações, são consideradas impraticáveis, em função das dificuldades de prover acesso ao usuário que seria beneficiado com a efetivação do recurso educacional.

A região amazônica, por exemplo, é um caso específico de carência de infraestrutura, tanto no que concerne a *backbone* quanto (e principalmente) no que diz respeito a tecnologias de acesso. Apesar da quantidade de tecnologias existentes, o provimento de acesso à região amazônica, se torna um grande desafio, ao considerar-se, por exemplo, peculiaridades da região (como extensa formação vegetal e distâncias continentais envolvidas), custos de implantação ou pela falta de condições reais à implantação de determinada tecnologia.

Corroborando o exposto, dados obtidos da Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílio 2009 – PNAD (IBGE, 2009) comprovam que a região amazônica apresenta a menor proporção de domicílios com microcomputador e Internet do Brasil, aproximadamente 13,2%. Enquanto que a média nacional é de aproximadamente 30%. Ainda de acordo com a PNAD, 97,2% das residências brasileiras possuem aparelhos de TV em cores, enquanto que na região este índice é de 95,2%. O PNAD também apresenta indicadores de posse de TV, rádio, DVD, microcomputador e microcomputador com acesso à Internet medem o acesso dos domicílios às tecnologias da informação e das comunicações, que fazem parte dos indicadores-chave sobre a sociedade da informação. Esses indicadores foram aprovados pelos

participantes da Cúpula Mundial da Sociedade da Informação (*World Summit on the Information Society - WSIS*), por ocasião do Encontro Temático sobre Medição da Sociedade da Informação (*WSIS Thematic Meeting on Measuring the Information Society*), realizado em Genebra, em fevereiro de 2008.

Ainda em relação à região Norte do Brasil, verifica-se que esta apresenta uma preocupante situação no que se refere à desigualdade social. Pochmann et. al (2003), traçam um mapa da exclusão social no Brasil, onde se observam os indicadores para cada uma das macrorregiões do território brasileiro. Os estados que compõem as regiões Norte e Nordeste apresentam os piores indicadores, conforme a Figura 1.1.

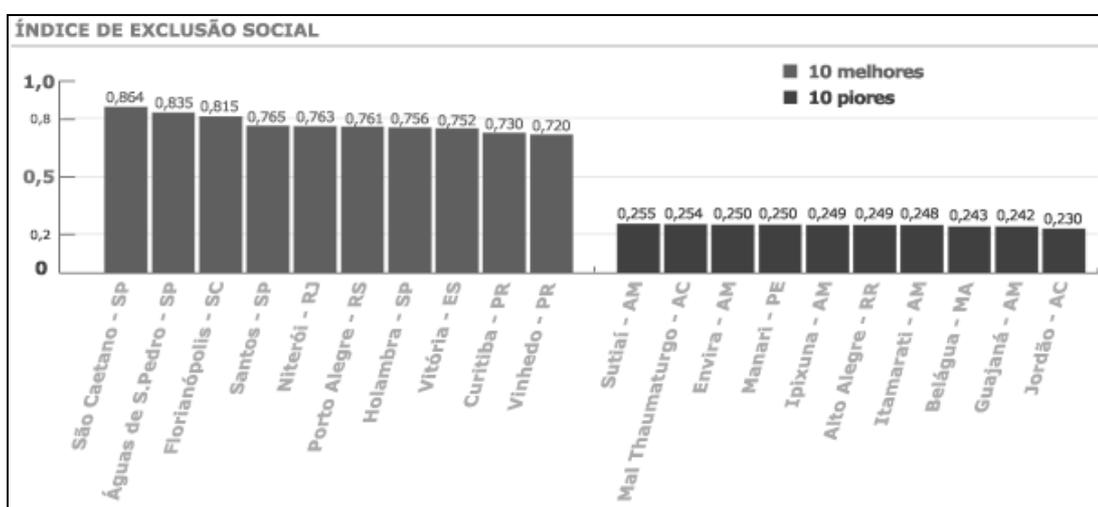


Figura 1.1: Índices de exclusão social no Brasil (Pochmann et al, 2003).

Diversos programas governamentais têm sido desenvolvidos, objetivando montar infraestrutura de telecomunicações necessária. No âmbito federal, destacam-se: (i) O Plano Nacional de Banda Larga (PNBL), objetivando massificar a oferta de acessos de Internet banda larga para a população através da construção de infraestrutura nacional de telecomunicações; (ii) A rede Ipê, uma infraestrutura de rede Internet voltada para a comunidade brasileira de ensino e pesquisa mantida pela Rede Nacional de Pesquisa (RNP); (iii) A Redecomep, que é uma iniciativa do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), coordenada pela RNP, que tem como objetivo implementar redes de alta velocidade nas regiões metropolitanas do país servidas pelos Pontos de Presença (PoP) da RNP.

Há também diversos projetos de inclusão digital desenvolvidos por governos estaduais e municipais, destacando-se: O NavegaPará, uma infraestrutura de fibra óptica de 2000 km que interliga 45 cidades, e nestas o sinal é distribuído através de tecnologia Wimax e Wi-fi; O Cinturão Digital, uma infraestrutura de 2400 km de fibra óptica para transporte de

dados que cobrirá 91% da área urbana do Ceará com Internet banda larga; O Floresta Digital, um serviço público do Governo do Acre que disponibiliza acesso grátis à Internet, em banda larga, utilizando conexões sem fio através de torres de rádio espalhadas pelas cidades e interligadas via satélite; entre outros; o Projeto Rio Estado Digital, que objetiva levar conhecimento, ensino profissionalizante, informação, oportunidades de colocação profissional e criação de negócios, além de serviços de e-Gov, à população carente do Rio de Janeiro.

Assim, considerando o cenário exposto, é possível considerar a TV como uma alternativa promissora em estratégias de inclusão digital, pois além do alto grau de capilaridade do serviço, também é acessível a praticamente todas as classes sociais, em todas as regiões do Brasil, o que já não ocorre com o computador. Adicionalmente, a TV ainda oferece familiaridade de uso (pela facilidade de uso do controle remoto, por exemplo), facilitando processos de aprendizagem e manuseio, podendo ser uma ferramenta de inclusão digital mais eficiente em um primeiro momento, do que o computador ou similares. De acordo com (CPQD, 2006), o uso de conteúdos interativos e não lineares, e a navegação em um ambiente restrito, que são proporcionados pela TV podem ser instrumentos para compreensão e fruição das possibilidades da tecnologia digital.

Deste modo, para promover uma real ampliação nos serviços de cidadania e/ou inclusão social/digital em regiões com pouca infraestrutura disponível ao usuário final, plataformas de TVD podem atuar como importante agente neste processo, desde que aliadas a tecnologias de acesso capazes de oferecer alta capilaridade, baixo custo e fácil acesso na região, visando a incluir digitalmente em especial as populações mais desassistidas. O uso de conteúdos digitais para TV, com fins educativos e de serviços públicos podem acelerar a entrada da população na Sociedade da Informação.

A busca por soluções que atendam aos anseios da maioria dos usuários tem levado diferentes países a adotarem diferentes sistemas de TVD. Nos Estados Unidos, priorizou-se a qualidade da imagem e som com a adoção do padrão ATSC (*Advanced Television Systems Committee*). No Japão, o requisito mais importante foi mobilidade e o padrão adotado foi o ISDB (*Integrated Services Digital Broadcast*). Já na Europa o cerne das atenções foi a interatividade, explorada pela plataforma MHP (*Multimedia Home Platform*) do sistema DVB (*Digital Video Broadcasting*) (Pagani, 2003).

No Brasil, diversos estudos foram realizados para definir-se o padrão mais adequado à realidade do país. Patrocinador desse processo, o Governo Federal incentivou a criação de grupos nas comunidades acadêmicas e técnica, envolvendo um total de 79

instituições de pesquisa, com vistas à definição e testes de um padrão baseado em ampla discussão com a sociedade (Montez e Becker, 2004). A definição foi oficializada em Junho de 2006 e adotou como base o padrão ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial*), incorporando as inovações tecnológicas aprovadas por um Comitê de Desenvolvimento (Presidência da República, 2006).

Assim, após estar difundida em vários países pelo mundo, emerge no Brasil uma padronização para a transmissão de Televisão Digital, chamada de Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD). O SBTVD é um padrão técnico para radiodifusão terrestre digital, criado no Brasil e adotado em diversos países da América do Sul. Possui como *middleware* a plataforma Ginga (ABNT NBR 156006, 2010). O *middleware* Ginga é constituído por um conjunto de tecnologias padronizadas e inovações brasileiras que o tornam a especificação de *middleware* como uma das mais avançada do mundo atualmente. Ginga é o resultado de vários anos de pesquisas realizadas pela Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

O sistema é subdividido em três subsistemas principais interligados (Ginga-CC, Ginga-NCL e Ginga-J), que permitem o desenvolvimento de aplicações seguindo dois paradigmas de programação diferentes. Dependendo das funcionalidades requeridas no projeto de cada aplicação, um paradigma será mais adequado do que o outro. Dentre outros componentes, Ginga-J possui em seu núcleo a API Java DTV que foi especificada pelo Fórum do Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD, 2011), em parceria com a Sun Microsystems (Sun, 2011). O Fórum SBTVD é uma entidade sem fins lucrativos, criada com o objetivo de auxiliar e estimular a criação e melhoria do sistema de transmissão e recepção de sons e imagens digitais no Brasil. Entre seus membros há representantes das emissoras de TV, fabricantes de equipamentos de recepção e transmissão, indústria de software, governo federal e entidades de ensino e pesquisa. A API Java DTV é uma especificação aberta, interoperável e sem cobrança de *royalties* que permite a implementação de serviços interativos com a linguagem Java para Ginga.

Na API Java DTV é previsto suporte a diversos tipos de tecnologias para canal de retorno, tais como: Wi-Max, Wi-Fi, Ethernet, GSM/3G e ADSL. Isso possibilita que a plataforma possa escolher livremente qual tecnologia utilizar (se disponível), baseado no critério mais apropriado (velocidade da conexão, limite de banda para download, custos financeiros com pacote de dados, poderiam ser métricas a considerar-se). Ao verificarem-se características regionais, a possibilidade de poder escolher quando ou quais tecnologias usar

pode oferecer grande diferencial no grau de interatividade, já que como mencionado antes soluções já consolidadas em outras localidades do país em geral, não aderem perfeitamente às especificidades da região amazônica. Toma-se como exemplo as comunidades rurais e ribeirinhas da Amazônia. Muitas delas não têm energia elétrica ou linha telefônica, e o saneamento básico, quando existe, é precário. O perfil dessas comunidades não atrai as operadoras de telefonia fixa ou móvel em função do alto custo da instalação e manutenção dos equipamentos e da falta de perspectivas na obtenção de retorno do investimento com o serviço oferecido.

Como acontece em outras plataformas de TVD, as especificações são documentos abertos à comunidade em geral, podendo ser desenvolvidas implementações de referência dessas especificações. Um destes modelos de referência é o projeto Openginga, que tem o objetivo de oferecer uma plataforma completa (não emulada) de código aberto de um *middleware* de TV Digital compatível com o padrão SBTVD. Entretanto como no projeto Openginga (até o momento do desenvolvimento deste trabalho) não possuía o pacote “*com.sun.dtv.net*” (pacote da API Java DTV responsável pela manipulação de interfaces de rede) totalmente implementada, o suporte a múltiplas tecnologias de acesso não estava disponível até então na plataforma.

Desta forma, com vistas a possibilitar implementação de múltiplos canais de retorno sobre diferentes tecnologias de acesso, definidas no padrão SBTVD e ainda não contempladas nas implementações de referência, esta dissertação propõe a implementação de tal facilidade no Openginga, assim como a realização de testes para a validação de tal proposta em um cenário real.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é propor e implementar funcionalidades de canal de retorno sobre tecnologias de acesso, utilizando-se plataforma Openginga como base de desenvolvimento. Para validar tal proposta, prevê-se a realização de um estudo de caso

utilizando tecnologias de acesso que já estavam previstas na ABNT 15607¹, mas que ainda não estavam desenvolvidas na plataforma Openinga, bem como o desenvolvimento do suporte a tecnologia PLC, que não é previsto na norma ABNT 15607. Também é implementado de maneira adicional, uma extensão na plataforma Openinga, de modo a possibilitar um teste de rede, baseada na utilização de pacotes ICMP.

Desta forma, para alcançar o objetivo principal exposto, os seguintes objetivos específicos precisam ser superados:

- Analisar aspectos de tecnológicos no que se refere à implementação de uma plataforma de interatividade, examinando especificações de referência, protocolos e APIs, e desta forma levantar o atual estado da arte para middlewares de TV digital;
- Examinar características e detalhes das tecnologias de acesso envolvidas nesse trabalho, de modo a relacionar pontos fortes e fracos de cada uma;
- Analisar detalhadamente as normas que compõem a especificação do Sistema Brasileiro de TV Digital;
- Estender o suporte à tecnologia de acesso PLC, que não é previsto originalmente na norma ABNT 15607;
- Investigar a fundo a arquitetura da plataforma Openinga, de maneira a conhecer seu funcionamento e tecnologias envolvidas;
- Desenvolver o suporte a tecnologias de acesso relacionadas no trabalho, de modo a possibilitar que aplicação de TVD possa utilizar o canal de interatividade;
- Desenvolver um *testbed*, montado na Universidade Federal do Pará (UFPA), de modo a testar uso da plataforma com suporte a duas tecnologias de acesso, PLC e Wi-Max;
- Desenvolver aplicações de TVD para serem utilizadas no testbed;
- Realizar avaliação de desempenho do testbed, a partir de métricas de rede, como vazão, atraso, *jitter* e perda de pacotes, de modo a subsidiar uma possível escolha entre uma dada tecnologia em certo momento;

¹ Norma que descreve os protocolos, interfaces físicas e interfaces de software para tecnologias de comunicações específicas a serem empregadas para o canal de interatividade do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre (SBTVD).

- Validar da API desenvolvida neste trabalho a partir do cenário real montado.

A partir do objetivo principal são derivados outros secundários. São eles:

- Contribuir para democratização da informação na região amazônica, através da difusão do serviço de interatividade;
- Fomentar o uso da TV como agente dinamizador de processos de inclusão digital através de aplicações interativas que sejam focadas como ferramenta de estudo ou como assistente no chamado governo televisivo.

1.2 ORGANIZAÇÃO

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma: O Capítulo 2 aborda o referencial teórico necessário ao desenvolvimento deste trabalho. Os principais conceitos referentes a sistemas de TV digital, arquitetura, protocolos e tecnologias são abordados. Questões referentes às tecnologias de acesso também são abordadas, dentre as quais estão selecionadas, DSL, PLC e Wi-Max.

No Capítulo 3 é realizado um *overview* sobre a plataforma OpenGinga, descrevendo componentes e tecnologias utilizadas.

No Capítulo 4 é descrita em detalhes API desenvolvida para dar suporte a canal de retorno na plataforma OpenGinga.

O Capítulo 5 descreve o cenário de *testbed* montado dentro do campus da Universidade Federal do Pará, abordando também aplicações utilizadas e considerações relativas ao estudo e apresenta os resultados e análises feitos sobre o *testbed*.

Finalmente, o Capítulo 6 encerra o trabalho com as contribuições e sugestões de trabalhos futuros que podem ser derivados a partir desta dissertação.

2 TELEVISÃO DIGITAL E TECNONOLOGIAS DE ACESSO

Este capítulo disserta sobre as principais áreas envolvidas no desenvolvimento desse trabalho: o conceito de televisão digital e interatividade, arquiteturas de sistemas de TV digital, características dos principais sistemas de TV digital, além de características de algumas tecnologias de acesso.

2.1 TV DIGITAL INTERATIVA

Assim como qualquer outra mídia, a televisão está envolvida em um progressivo estado de evolução e continua em adaptação às tecnologias e necessidades sociais. A próxima etapa da evolução do sistema de TV está na digitalização da produção, com equipamentos digitais para edição da programação. A etapa seguinte reside na transmissão digital de fluxos de áudio, vídeos e dados, além do uso de set top boxes para receber e decodificar esses fluxos. Por fim, a fase final desta evolução reside na substituição do conjunto TV analógica + set top boxes por receptores completamente digitais.

Ao deparar-se com a mudança de TV analógica para a TV digital, o que se faz sentir à primeira vista é a melhor qualidade de imagem e som (Barbosa, 2008). O canal de transmissão, usualmente um sistema de transmissão não guiado, em geral, introduz diversas interferências e ruídos no sinal original, desta forma limitando a capacidade do sistema.

Ainda de acordo com (Barbosa, 2008), o ruído está presente em todo o espectro de frequências e de alguma forma não pode ser evitado. No caso da transmissão analógica, o ruído provoca queda na qualidade do sinal recebido, causando problemas na exibição da imagem do sistema receptor. Em se tratando dos sistemas de TV digital, estes utilizam códigos corretores de erros. Caso a taxa de erros estiver abaixo de um limiar, o código corretor é capaz de corrigir todos os erros introduzidos pelo canal e não queda da qualidade de sinal.

Por outro lado, a deterioração de um sinal pode acontecer pelos múltiplos percursos seguidos pelo sinal desde a fonte. Na TV analógica este fenômeno provoca o aparecimento de “fantasmas” na imagem. Por outro lado, na TV digital o fenômeno de

múltiplos percursos pode ocasionar uma interferência entre símbolos. Desta forma, se múltiplos percursos causarem a superposição de símbolos diferentes, a taxa de erros pode aumentar podendo assim inviabilizar a transmissão.

Imagem e som excelentes são possíveis apenas com utilização de técnicas de compressão de dados em sinais digitais. O sistema de TV analógico tem qualidade de imagem semelhante ao do sistema de TV digital padrão (*SDTV - Standard Definition Television*). No formato SDTV são gerados 30 quadros por segundo, cada um composto de 480 linhas e 704 pontos por linha, em uma imagem de relação de aspecto igual a 4:3, gerando aproximadamente 162 Mbps. Esta taxa de bits pode ser transmitida em uma faixa espectral de 6 MHz, que com técnicas de modulação suporta uma taxa de bits na ordem de 19,3 Mbps. Com as técnicas atuais de compressão é permitida a transmissão dessas taxas, possibilitando ainda a obtenção de uma qualidade de imagem superior ao formato SDTV.

Assim, com a utilização destas técnicas de compressão, no mesmo canal de 6 MHz é possível transmitir com a qualidade chamada de alta definição (*HDTV - High Definition Television*), com os parâmetros de 30 quadros por segundo, 1920 pontos por linha, 1080 linhas (conhecido também como 1080p ou *Full HD*), com relação de aspecto igual a 16:9. Ainda dentro da mesma faixa de 6 MHz é também possível transmitir áudio no padrão 5.1, possibilitando ao telespectador sensibilidade auditiva.

Existe ainda um formato intermediário entre SDTV e HDTV, o EDTV (*Enhanced Definition Television*), considerado um formato de média definição, e que possibilita a utilização de aparelhos com 720 linhas (usualmente referenciado como 720p) de 1280 pontos. E por fim, dependendo da largura de banda disponível, é possível mesclar vários formatos de definição, visando atender receptores com capacidades limitadas, como em dispositivos móveis ou receptores fixos e regiões de difícil acesso.

Uma alternativa obtida com as técnicas de compressão digital é possibilidade de se ter vários programas de menor qualidade de definição, ao invés de ser um único programa de maior qualidade (HDTV) ocupando toda a faixa espectral de 6 MHz. Define-se esta possibilidade como multiprogramação. Assim, nos padrões atuais, cada emissora pelo sistema analógico, ocupa um canal de televisão.

Por outro lado, um sistema de TV digital oferece muito mais possibilidade do que apenas melhora na qualidade de imagem e de som. Este sistema permite um nível de flexibilidade não atingido pelo sistema analógico. Um componente importante desta flexibilidade são as aplicações computacionais residentes no dispositivo receptor ou advindos

de dados enviados e multiplexados com o áudio e vídeo principal. Assim, uma das características principais do sistema de TV digital é a capacidade computacional presente nos dispositivos receptores que por sua vez permitem o surgimento de uma vasta gama de novos serviços.

Um serviço muito importante e que pode ser oferecido pelo sistema de TV digital, de acordo com Montez e Becker (2004) é o governo eletrônico, ou no caso da TV digital, governo televisivo (t-governo). O T-governo consiste em fornecer serviços governamentais pela TV, facilitando o acesso aos mesmos, e evitando deslocamentos e reduzindo a burocracia. Há ainda t-comércio (comércio televisivo), onde o telespectador tem a oportunidade de adquirir produtos e serviços através de anúncios na programação ou em aplicações residentes no receptor digital e ainda tem-se *T-learning* (aprendizagem televisiva), onde podemos ter aplicativos voltados para a aprendizagem à distância.

2.2 A TV DIGITAL E O CONCEITO DE INTERATIVIDADE

Além da melhoria da qualidade do áudio e do vídeo, a TV digital também oferece a possibilidade de utilização de recursos computacionais. Todas essas vantagens são possíveis graças ao avanço de tecnologias nos últimos anos. A capacidade computacional necessária ao novo sistema pode ser integrada no próprio dispositivo exibidor, como um aparelho de TV digital ou em “sistemas de processamento” capazes de tratar corretamente o sinal de transmissão, e decodificá-lo apropriadamente, além de exibi-los na TV analógica convencional. Estes “sistemas de processamento”, os chamados conversores digitais (ou set-top boxes) são componentes-chave para a interatividade e para o provimento dos serviços mencionados anteriormente.

O termo “interatividade” surgiu, de acordo com (Steuer, 1992), no contexto das críticas aos meios e tecnologias de comunicação unidirecionais, que teve início da década de 70, e hoje está em pleno uso. Na atualidade, uma vasta gama de diversos aparelhos e dispositivos anunciam-se como interativos. Como (Lemos, 1997) comenta, o termo interativo torna o produto a ser comercializado mais moderno aos olhos do consumidor. Assim como podemos realmente definir o conceito de interatividade, ou melhor, de TV interativa?

Alguns o utilizam como sinônimo de interação, outros como um caso específico de interação, a interação digital. No caso da TV digital a característica fundamental é a que a TV deixa de ser unidirecional. Com a TV interativa, o espectador passa a ter um canal de interatividade para se comunicar com a emissora. Em geral, um receptor digital tem acesso a uma rede de comunicação externa, através da qual pode receber ou enviar dados, conforme informado pelo aplicativo recebido.

Esta rede de comunicação pode ser uma rede IP, por exemplo, entretanto o critério a princípio mais decisivo para a utilização do canal de interatividade é a tecnologia de acesso escolhida. Este fator pode ser determinando, especialmente em cenários onde se têm dificuldades de acesso à Internet. Barbosa (2008), afirma que o grau de interatividade vai depender dos serviços oferecidos, e principalmente, da velocidade do canal. Assim em cenários onde se têm carência de infraestrutura no que concerne a backbone quanto (e principalmente) no que diz respeito à tecnologia de acesso, o canal de interatividade pode ser comprometido.

O conceito de interatividade e assuntos correlatos são discutidos em mais detalhes em: (Jensen, 2008), (Sundar; Xu; Bellur, 2010), (Saleemi; Björkqvist; Lilius, 2008) e (Barbosa, 2008).

2.3 COMPONENTES DA TV DIGITAL INTERATIVA

Segundo (Barbosa, 2008), um sistema de TV digital é um sistema típico cliente/servidor, onde o servidor compõe o ambiente de uma radio difusora (ou de um servidor de conteúdo), e o cliente o ambiente do usuário telespectador. Um terceiro elemento nessa arquitetura distribuída é o canal de comunicação entre cliente e servidor. Um meio de difusão, composto por canal de difusão (como cabo, radiodifusão ou satélite) e canal de retorno (ou canal de interatividade), usualmente uma rede comunicação de dados, como a Internet. A Figura 2.1 apresenta uma representação simplificada de um sistema de TV digital.

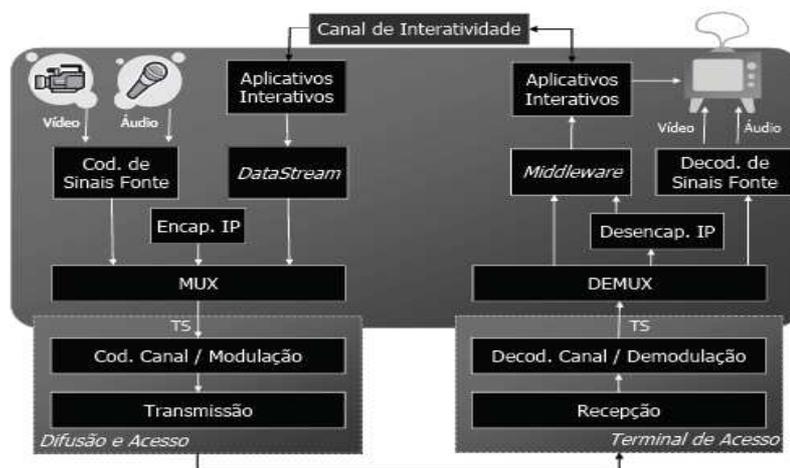


Figura 2.1: Representação do sistema de TV digital (Barbosa, 2008).

Em um sistema de TV digital um programa de televisão é composto por sinais de áudio e vídeo, que podem ser capturados ao vivo ou podem estar previamente armazenados em um repositório de mídias na emissora de televisão. Estes sinais de áudio e vídeo são entregues aos codificadores digitais, responsáveis pela geração dos respectivos fluxos de áudio e vídeo principal comprimido. Estes fluxos são encapsulados, juntamente com o fluxo de dado e multiplexados em um único canal, usualmente conhecido como fluxo de transporte (*Transport Stream - TS*). Posteriormente este sinal é modulado para um canal de frequência e transmitido no caso do SBTVD, através de um sistema terrestre de radiodifusão. Em outros sistemas de TV este fluxo de transporte é também transmitido via satélite ou de maneira cabeada.

Ao que se diz respeito ao lado receptor do sistema, o sinal é recebido, sintonizado e demodulado e posteriormente repassado ao demultiplexador, que extrai os fluxos de áudio, vídeo e dados do fluxo de transporte. Os fluxos de áudio e vídeo são repassados aos decodificadores apropriados, enquanto que o fluxo de dados é repassado à unidade de processamento do dispositivo. Por outro lado, dados podem ser transmitidos e recebidos no receptor através do canal de retorno.

De maneira geral um sistema de TV digital é composto por um conjunto de padrões de referência, e desta forma representando os principais componentes de um sistema de TV digital. Estes componentes são: modulação, codificação, transporte, middleware e aplicações. A Figura 2.2 apresenta um conjunto de padrões que regulam os componentes anteriormente mencionados.

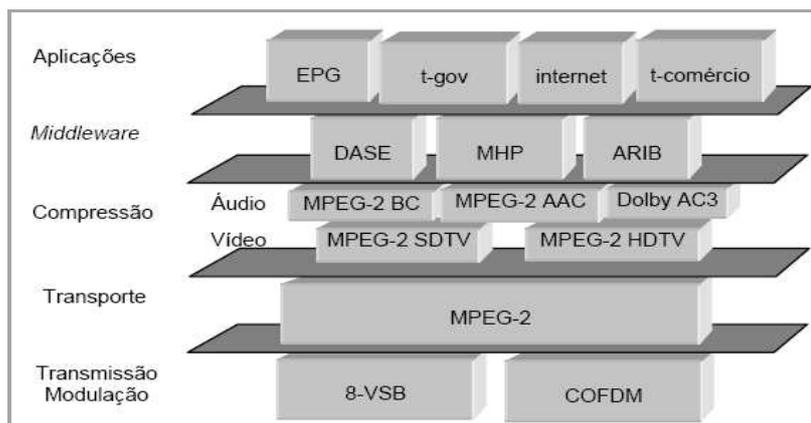


Figura 2.2: Arquitetura de um sistema de TV digital (Montez e Becker, 2004).

A seguir são apresentadas algumas das características de cada um dos principais componentes da arquitetura de um sistema TV digital, onde se enfoca nos padrões de referencia que regulamentam os componentes acima mencionados.

Para maiores informações sobre arquiteturas de sistemas de TV digital e seus componentes pode-se consultar maiores informações em (Barbosa, 2008), (Megrich, 2009), (Brennand e Lemos, 2007), (ABNT 15606-1, 2010), (ABNT 15606-4, 2010) e (ABNT 15606-5, 2008).

2.3.1 Codificação de áudio e de vídeo

Em geral, a representação de um sinal digital carrega muitas informações redundantes, assim a etapa de codificação tem como objetivo fundamental a necessidade de compressão dos dados, especialmente se forem considerados requisitos de armazenamento e transmissão das mídias digitais.

A compressão das mídias digitais pode ser realizada através de duas abordagens distintas, porém complementares: a eliminação de redundâncias e exploração das propriedades de percepção humana. Para o primeiro tipo de abordagem, procura-se eliminar aspectos redundantes na representação digital de um sinal. No caso de uma amostra de áudio, em especial a voz humana, este tipo de redundância surge nos momentos de silêncio. Assim com a supressão do silêncio, a representação digital de um sinal pode ser significativamente reduzida.

Para o segundo tipo de técnicas é utilizado o conceito de percepção humana. O sistema nervoso possui propriedades peculiares na forma de reagir a estímulos físicos, o que pode ser explorado em técnicas para compressão de dados multimídias. Frequências de áudio se tornam inaudíveis na presença simultânea de outras. De acordo com (Bufford, 1994), esta propriedade é denominada mascaramento. Estas propriedades de mascaramento são utilizadas em técnicas de compressão, separando frequências dos dados a serem comprimidos, fazem análise de quais serão mascarados, eliminando-os da representação digital final.

Técnicas de compressão sem perdas são aquelas empregadas usualmente em textos e documentos. O resultado da descompressão, após uma compressão sem perdas, é exatamente igual ao dado original. Por outro lado, técnicas como as que exploram as propriedades da percepção humana são técnicas com perda de dados. Apesar de a informação gerada ser diferente da informação original, esta diferença é imperceptível através dos sentidos humanos.

Existe ainda a necessidade de representar a informação digital utilizando algum código. O processo de representação de mídias de áudio e vídeo é denominado codificação, enquanto que o processo reverso é conhecido como decodificação. Assim, o termo codec, é a junção destas duas palavras (codificação e decodificação).

Atualmente muitos codec são adotados para compressão de mídias digitais. A Tabela a seguir apresenta alguns dos principais formatos de codec utilizados para compressão de mídias digitais.

Tabela 2.1: Alguns formatos de compressão de mídias digitais.

Tipo de mídia		Codec
Vídeo	ISO/IEC	MJPEG · Motion JPEG 2000 · MPEG-1 · MPEG-2 (Part 2) · MPEG-4 (Part 2/ASP · Part 10/AVC) · HEVC
	ITU-T	H.120 · H.261 · H.262 · H.263 · H.264 · HEVC
	Outros	AVS · Bink · CineForm · Cinepak · Dirac · DV · Indeo · Microsoft Video 1 · OMS Video · Pixlet · RealVideo · RTVideo · SheerVideo · Smacker · Sorenson Video, Spark · Theora · VC-1 · VC-2 · VC-3 · VP3 · VP6 · VP7 · VP8 · WMV
Áudio	ISO/IEC	MPEG-1 Layer III (MP3) · MPEG-1 Layer II (Multichannel) · MPEG-1 Layer I · AAC · HE-AAC · MPEG Surround · MPEG-4 ALS · MPEG-4 SLS · MPEG-4 DST · MPEG-4 HVXC · MPEG-4 CELP · USAC
	ITU-T	G.711 · G.718 · G.719 · G.722 · G.722.1 · G.722.2 · G.723 · G.723.1 · G.726 · G.728 · G.729 · G.729.1
	Outros	AC-3 · AMR · AMR-WB · AMR-WB+ · Apple

		Lossless · Asao · ATRAC · CELT · DRA · DTS · EVRC · EVRC-B · FLAC · GSM-HR · GSM-FR · GSM-EFR · Monkey's Audio · TTA (True Audio) · MT9 · A-law · μ -law · Musepack · OptimFROG · Opus · OSQ · QCELP · RealAudio · RTAudio · SD2 · SHN · SILK · Siren · SMV · Speex · SVOPC · TwinVQ · VMR-WB · Vorbis · WavPack · WMA
Imagem	ISO/IEC/ITU-T	JPEG · JPEG 2000 · JPEG XR · lossless JPEG · JBIG · JBIG2 · PNG · TIFF/EP · TIFF/IT
	Outros	APNG · BMP · DjVu · EXR · GIF · ICER · ILBM · MNG · PCX · PGF · TGA · QTVR · TIFF · WBMP · WebP
Container Multimídia	ISO/IEC	MPEG-PS · MPEG-TS · ISO base media file format · MPEG-4 Part 14 · Motion JPEG 2000 · MPEG-21 Part 9
	ITU-T	H.222.0 · T.802
	Outros	3GP · AMV · ASF · AIFF · AVI · AU · Bink · DivX Media Format · DPX · EVO · Flash Video · GXF · M2TS · Matroska · MXF · Ogg · QuickTime File Format · RealMedia · REDCODE RAW · RIFF · Smacker · MOD and TOD · VOB · WAV · WebM

Este assunto pode ser apresentado em detalhes em (Steinmetz e Nahrstedt, 2004), (ABNT 15606-1, 2010) e (Soares, 2007).

2.3.2 Sistema de Transporte

Para efetuar a multiplexação das informações de áudio, vídeo e dados em um único fluxo, os principais sistemas de TV digital padronizam a utilização do MPEG-2 System (ISO/IEC 13818, 2000). A função do MPEG-2 é adicionar aos fluxos elementares de áudio e vídeo, informações de sincronização entre estes fluxos.

O DSM-CC (*Digital Storage Media Command and Control*) (ISO/IEC 13818-6, 1998) apresenta especificações de protocolos que permitem gerenciar fluxos MPEG-2. O DSM-CC tem grande importância em sistemas de TV digital, pois especifica formas de difundir dados digitais dentro de fluxos de transporte MPEG-2. Este processo é também conhecido como *datacasting*. O transporte de dados do DSM-CC é baseado em fluxos de transporte MPEG-2 TS (*Transport Stream*), que pode conter vários programas, ao qual por sua vez é composto por fluxos elementares de áudio, vídeo e dados.

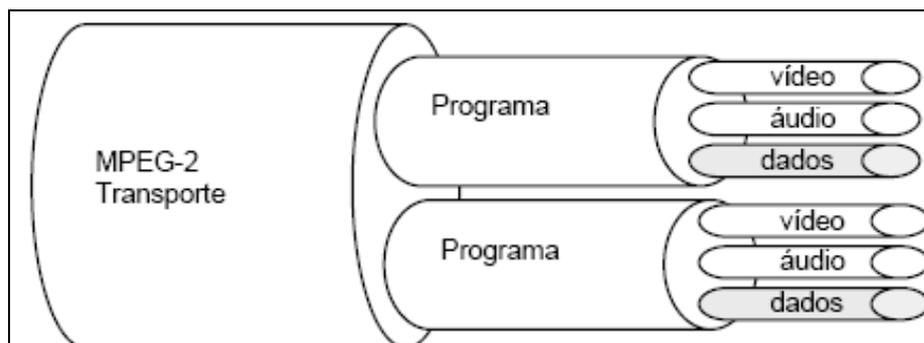


Figura 2.3: MPEG-2 TS encapsulando áudio, vídeo e dados (Schwalb, 2003).

O DSM-CC é fundamental para a implementação do conceito de *datacasting* através do mecanismo de carrossel. Carrossel é uma abstração de um mecanismo onde áudio, vídeo e dados são enviados ciclicamente, de forma entrelaçada no tempo. O DSM-CC ainda especifica dois tipos de carrossel: carrossel de dados e carrossel de objetos.

O carrossel de dados é mais simples e limitado que o carrossel de objetos. Não possui itens individuais de dados, nem mesmo estrutura de diretórios. Em contrapartida, o carrossel de objetos padroniza uma forma para sistema difusor realizar a transmissão de dados para o receptor, que podem ser imagens, programas, entre outros.

O DSM-CC é incompleto na forma de determinar como as aplicações nos receptores digitais devem lidar com o carrossel de dados ou objetos (Montez e Becker, 2004). Assim, os sistemas de TV digital (entre eles o SBTVD – Sistema Brasileiro de Televisão Digital) especificam APIs com esse objetivo.

2.3.3 Modulação

Modulação é o processo no qual a informação a se transmitir em um sistema de comunicação é adicionada a ondas eletromagnéticas. O transmissor adiciona a informação em uma onda portadora de tal forma que esta poderá ser recuperada no receptor do sinal através de um processo reverso conhecido como demodulação. No contexto de TV digital, segundo (Barbosa, 2008), o processo de modulação é responsável por receber um fluxo de transporte e posicioná-lo em um canal de frequência. O processo de modulação oferece três benefícios (Sellathurai, 1999):

1. Desloca a faixa de frequência do sinal de áudio, vídeo e dados, para uma faixa operacional de um enlace de comunicação;
2. Permite colocar o conteúdo do sinal de uma forma menos vulnerável a ruídos e interferências;
3. Possibilita multiplexar o enlace de comunicação, compartilhando-o, transmitindo dados oriundos de fontes independentes;

No caso de sistemas de TV digital, os padrões de modulação COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) (ATSC A-53, 2007) e 8-VSB (*8 Level – Vestigial SideBand Modulation*) (ETSI EM 300 744, 1997) são utilizados atualmente (Montez e Becker, 2004). Outros padrões de modulação conhecidos de modulação são 64-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) (ADTB, 2001) e o OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), onde este último é a padronização utilizada pelo Sistema Brasileiro de TV digital (ABNT NBR 15601, 2007).

2.3.4 Canal de Retorno

Segundo (Bates, 2007) e (Zacj, 2008), a interatividade em sistemas de TV digital pode ser dividida de acordo com a parte do sistema em uso. Interatividade local ocorre entre o usuário final e as aplicações presentes no receptor digital. Por outro lado, pode existir interatividade entre o usuário final e o sistema difusor ou provedor de serviço. Este tipo de interatividade, também conhecida como interatividade global, ocorre através de um canal de retorno.

Serviços interativos podem requerer vários níveis de interação entre usuário final e provedor de serviço através do canal de retorno. O canal de retorno pode ser unidirecional, permitindo ao usuário telespectador apenas o envio de dados. Um nível de interatividade posterior é definido, de forma a possibilitar ao usuário final uma comunicação bidirecional assimétrica, sendo possível realizar downloads de dados, utilizados pelos aplicativos residentes nos receptores digitais. Um terceiro nível de interatividade é fornecido, permitindo ao usuário o acesso a dados não provenientes de emissoras, por exemplo, permitindo a leitura

de e-mails ou navegação pela Web. Este nível de interatividade pode ainda permitir o envio de dados em banda larga, como upload de vídeos e streaming.

2.3.5 Middleware

No contexto de TV Digital, o Middleware é a camada de software que controla suas principais facilidades (grade de programação, menus de opção, sintonização, acesso ao canal de retorno), inclusive a possibilidade de execução de aplicações, dando suporte à interatividade (RNP, 2005).

As diversas propostas de Sistema de Televisão Digital trazem consigo a especificação de middlewares que possibilitam a execução de aplicativos nos receptores digitais, escondendo dos mesmos a complexidade do sistema operacional e do hardware do equipamento. Assim, estes aplicativos tornam-se independentes de plataforma de hardware e software de um fabricante de um receptor específico.

Como mencionado anteriormente, uma das funções da camada de middleware é fornecer suporte às aplicações. Este suporte é realizado através de APIS, cuja funcionalidade oferecida deve ser regida pelas necessidades das aplicações a serem executadas nos receptores digitais.

Todas as propostas de sistemas de Televisão Digital especificam middlewares sobre os quais as aplicações de TV digital interativa podem ser executadas. Nas seções seguintes são apresentadas características dos middlewares que compõem alguns dos principais padrões de sistemas para TV digital interativa.

2.4 CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS SISTEMAS DE TV DIGITAL

As principais especificações existentes de sistemas TV digital, a norte-americana, a europeia, a japonesa e a brasileira, adotam diferentes padrões para middleware em seus

receptores digitais. Desta forma, nas seções subsequentes, esses padrões de TV digital e seus middlewares são introduzidos e por fim comparados.

2.4.1 DVB – Digital Video Broadcasting

O DVB é conhecido como o padrão europeu para sistemas de televisão digital. Ele é formado por um conjunto de especificações, sendo estes os mais conhecidos: DVB-T (radiodifusão), DVB-C (difusão por cabos), DVB-S (difusão por satélite) e DVB-MHP (*Multimedia Home Platform* – padrão de middleware para TV digital).

O sistema DVB é adotado em países da Europa, além de Austrália, Malásia, Hong Kong, Índia, África do Sul e diversos outros países fora da Europa, totalizando 121 países (DBD, 2011). O DVB-T é um esquema de radiodifusão terrestre que utiliza a modulação COFDM, cuja taxa de transmissão varia entre 5 a 31,7 Mbps. Ele também pode operar em canais de 6, 7 e 8 MHz. A codificação e multiplexação de áudio e vídeo são feitas pelo padrão MPEG-2, e o middleware utilizado é o MHP (*Multimedia Home Platform*)

O MHP busca oferecer um ambiente de TV interativa, independente de hardware e software específicos para receptores de TV digital. Seu ambiente é baseado na execução da linguagem Java em juntamente com um conjunto de APIs. Essas APIs possibilitam que programas escritos em Java possam ter acesso a recursos e facilidades do receptor digital de forma padronizada.

De maneira geral o MHP possui a capacidade de:

- Acessar leitores de *smart cards*;
- Descarregar arquivos, através de um canal de interatividade;
- Armazenar aplicações em memória persistente;
- Controlar aplicações de Internet, tais como navegador web e leitores de e-mail;

2.4.2 ATSC – Advanced Television Systems Committee

Conhecido como o padrão americano para sistemas de TV digital, o ATSC (*Advanced Television Systems Committee*), também adotado pelo Canadá, Coréia do Sul, Taiwan e México. Este padrão utiliza a técnica de modulação 8-VSB, possuindo taxa de transmissão de 19,8 Mbps, e ocupando um espectro de frequência de 6, 7 ou 8 MHz (ATSC A-53, 2003).

A multiplexação e codificação de vídeo são realizadas pelo padrão MPEG-2, enquanto a codificação de áudio é realizada através do padrão proprietário Dolby AC-3. O middleware utilizado é o DASE (*DTV Application Software Environment*).

O DASE procura oferecer interatividade de forma semelhante ao MHP, utilizando uma máquina virtual Java para facilitar a execução de aplicações de interatividade. O também DASE permite o uso de linguagens declarativas, como HTML e *Javascript*. Outro aspecto a se considerar é que os middlewares MHP e DASE embora utilizem a tecnologia Java para facilitar a execução de aplicações interativas, não foram projetados para serem compatíveis.

2.4.3 ISDB – Integrated Service Digital Broadcasting

O ISDB (*Integrated Service Digital Broadcasting*), também conhecido como ISDB-T é o padrão de terrestre transmissão japonês para sistemas de TV digital. Adotado no Japão e em países como Brasil, Filipinas, Tailândia e a maioria dos países da América do Sul (Dibeg, 20011), este padrão utiliza na modulação o COFDM, com algumas variações. Ele também possui taxas de transferência de 3,65 a 23,23 Mbps, assim como ocupa uma largura de bando de 6, 7 ou 8 MHz. Uma de suas grandes vantagens é a flexibilidade de operação e potencial para transmissões portáteis e móveis.

Assim como nos padrões anteriores, o ISDB utiliza o a especificação MPEG-2 para codificação e multiplexação de vídeo, porém utiliza o MPEG2 ACC para a codificação de áudio. O ISDB utiliza o middleware ARIB (*Association of Radio Industries and Bussinesses*), que utilize uma linguagem declarativa denominada BML (*Broadcast Markup Language*).

Essa linguagem, baseada em XML (*Extensible Markup Language*) é utilizada para a especificação de serviços multimídia para TV digital.

2.4.4 SBTVD – Sistema Brasileiro de Televisão Digital

O Sistema Brasileiro de Televisão Digital, o SBTVD é padronização brasileira para sistemas de TV digital. Desenvolvido através de uma associação entre o governo brasileiro, instituições de ensino superior e companhias de telecomunicação, o SBTVD foi oficialmente inaugurado em dezembro de 2007 com transmissões de áudio e vídeo de alta definição.

Como o SBTVD é uma padronização para sistemas de TV digital mais recente que outros padrões como DVB, ATSC e ISDB, ele pôde utilizar técnicas de codificação e multiplexação de áudio e vídeo mais recentes, do que os utilizados por outros padrões. Assim o SBTVD consegue aperfeiçoar, ainda mais o espectro de frequências utilizado. O sistema brasileiro emprega uma técnica de codificação de vídeo mais recente, o H.264 (ISO/IEC 14496-10, 2005), também conhecido como MPEG-4 Parte 10 ou MPEG-4 AVC (*Advanced Video Coding*). O objetivo do projeto H.264 foi criar um padrão significativamente melhor, prover um vídeo de boa qualidade a uma taxa substancialmente mais baixa do que os padrões anteriores, sem aumentar sua complexidade, para facilitar uma implementação eficiente e robusta.

No que se refere às técnicas de codificação de áudio, segundo (Barbosa, 2008) o MPEG-2 Advanced Audio Coding (AAC), também conhecido como MPEG-2 Parte 7, ou MPEG-4 Parte 3, é considerado o estado da arte para áudio de alta qualidade em uma taxa típica de 128 Kbps. Esta técnica de codificação de áudio é utilizada pela padronização do SBTVD em combinação com a técnica SBR (*Spectral Band Replication*), que é uma técnica de extensão que permite que a mesma qualidade de som à aproximadamente metade da taxa de bits original. Esta combinação, AAC juntamente com SBR é conhecida como HE-AAC (*High efficiency-AAC*) versão 1.0 (ISO/IEC 14496-3, 2004).

Com relação às técnicas de transporte, tanto os sistemas americano, europeu, japonês, assim como o sistema brasileiro de TV digital padronizam a forma de multiplexação

de fluxos audiovisuais com dados. Este padrão, o MPEG-2 System (ISO/IEC 13818-1, 2000) adiciona fluxos de áudio, vídeo e dados para exibições sincronizadas.

A técnica de modulação BST-OFDM proposta no sistema japonês (ISDB-T, ISDB-TSB e ISDB-C), e utilizada no sistema brasileiro, melhora a técnica COFDM em dois sentidos: introduzindo a segmentação de banda e a intercalação no tempo. Assim, o canal de 6 MHz pode ser segmentado e modulado com a técnica mais apropriada para cada serviço.

O middleware brasileiro, conhecido como Ginga (Ginga, 2008), fornece suporte às aplicações interativas através de uma interface de programação de aplicativos – API, cuja funcionalidade oferecida deve ser regida pelas necessidades das aplicações a serem executadas sob o middleware de TV digital. O middleware Ginga ainda é dividido em dois subcomponentes: Ginga-NCL – Ambiente declarativo do middleware que oferece suporte aos aplicativos desenvolvidos com a linguagem NCL; Ginga-J que representa o ambiente procedural, através da execução de uma máquina virtual Java.

Por fim, a Tabela 2.2 a seguir, apresenta um resumo com as principais características dos mais conhecidos sistemas de TV digital mencionados anteriormente.

Tabela 2.2: Resumo de padrões de referência para sistemas de TV digital

	<i>Modulação</i>	<i>Transporte</i>	<i>Codificação de Áudio</i>	<i>Codificação de Vídeo</i>	<i>Middleware</i>
DVB	COFDM (5 a 31,7 Mbps) – 6, 7 ou 8 MHz.	MPEG-2 System	MPEG-2	MPEG-2	MHP (DVB-J e DVB-HTML)
ATSC	8-VSB (19,8 Mbps) – 6, 7 ou 8 MHz.	MPEG-2 System	<i>Dolby AC-3</i>	MPEG-2	DASE
ISDB	COFDM (3,65 a 23,23 Mbps) – 6, 7, ou 8 MHz.	MPEG-2 System	MPEG-2 AAC	MPEG-2	ARIB
SBTVD	BST-OFDM – 6 MHz.	MPEG-2 System	MPEG-2 HE AAC	MPEG-4 Parte 10	Ginga (Ginga-NCL e Ginga-J)

2.5 TECNOLOGIAS DE ACESSO

Ao se considerar os sistemas para provimento de conectividade, a partir das tecnologias de última milha, podem inicialmente classificá-las em duas categorias.

A primeira delas baseia-se na utilização de meios guiados para a propagação do sinal. Todas as tecnologias desta categoria possuem certo nível de proteção, o qual limita a interferências de ruídos de fontes externas. Em geral, este tipo de transmissão possui perdas proporcionais ao tamanho do meio guiado. Assim, sem a adição de uma amplificação periódica do sinal, há um tamanho máximo de comprimento do enlace, através do qual o sinal poderá fluir de maneira adequada.

A segunda categoria de tecnologias de acesso, em contraste com a primeira, utiliza meios não guiados para a propagação do sinal. E todos os tipos de tecnologias desta categoria, tendem a ser mais expostos e apresentam maior grau de dificuldade de sinais não desejados e fontes de ruídos. Na prática, a transmissão por meios não guiados é dificultada por obstruções causadas por terreno, edifícios e folhagens, que aumentam a perda de sinal, em relação à propagação em um cenário sem obstruções. Reflexões, refrações destas ondas também podem alterar as características da transmissão.

Assim, pode-se dividir as mesmas da seguinte forma: (a) tecnologias cabeadas: fibra ótica (para acesso e não para backbone); PLC (*Powerline Communication*); CATV; xDSL e linha discada; (b) tecnologias de acesso sem fio (Wireless): satélites, sistemas celulares e redes locais sem fio (Wlans), Wi-Max, Mobile-Fi.

Tecnologias de acesso baseadas em meios não guiados possuem como vantagem em relação ao guiados, o fato de não necessitarem de instalação prévia de cabos, embora sejam mais suscetíveis a sinais não desejados e a fontes de ruídos. Desta forma, a seguir apresentam-se características de algumas das principais tecnologias de acesso, sem, entretanto esgotar o assunto. Maiores detalhes acerca do assunto podem ser obtidos em (Fowler, 2000), (Hrasnica; Haidine; Abdelfatteh, 2004), (Anderson et al, 2010), (Dischinger, 2007), (Getschko, 2000) e (ABNT 15607-1, 2008).

2.5.1 DSL – Digital Subscriber Line

Digital Subscriber Line é um conjunto de tecnologias de acesso que fornecem transmissão de dados através do aproveitamento da rede telefônica, não necessitando assim de infraestrutura própria (Mcdysan *et al*, 1997). Grande parte dos formatos DSL existentes trabalham tipicamente dividindo as frequências utilizadas em uma única linha telefônica em

duas bandas primárias: A primeira transporta dos dados do provedor de acesso sobre uma frequência alta (25 kHz) enquanto que a voz da ligação telefônica é transportada por uma banda de baixa frequência (4 kHz), na segunda banda. Por esta razão é possível a utilização do sinal DSL simultaneamente a uma ligação telefônica. Dentre os principais formatos de DSL existentes, pode-se destacar o ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), que possui como característica principal a transferência de dados mais rápida em um sentido do que em outro, isto é, assimétrico, diferenciando-se, portanto de outros formatos DSL. Desta forma, normalmente a taxa de download é superior em relação à taxa de upload. Sistemas com bandas de frequência separadas para *upstream* e *downstream* são ditos operando em modo FDM (*Frequency Division Multiplex*), que é o mecanismo utilizado pelo ADSL. A Figura 2.4, a seguir, demonstra as faixas de frequências utilizadas pelo formato ADSL.

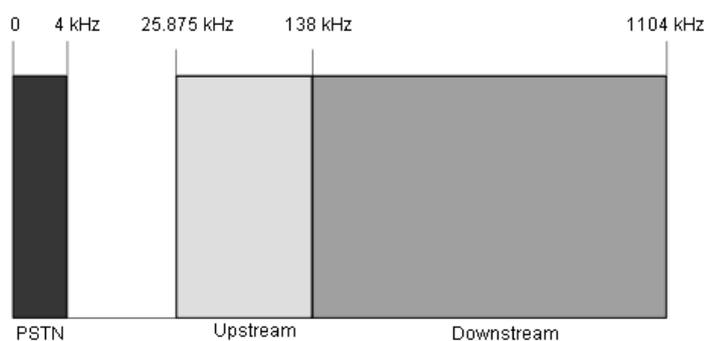


Figura 2.4: Esquema de frequências do formato ADSL.

Nesta tecnologia, recursos financeiros e tempo são economizados tanto para a companhia quanto para o assinante, já que não é necessária a disposição de uma nova infraestrutura de acesso. As tecnologias da família xDSL possuem uma grande abrangência em escala mundial, sendo considerada como a tecnologia de acesso banda larga dominante não só na Europa, como também na América Latina e em países em desenvolvimento como a Índia (Olsen et al, 2006), (Arenas et al, 2006) e (Faudon et al, 2006). Na América Latina a tecnologia DSL é responsável por aproximadamente cerca de 80% de todo o acesso banda larga realizado, sendo que no Brasil este valor chega a 85%. Em termos quantitativos, no final de 2005 havia quase 5.300.000 assinantes na América Latina de tecnologia ADSL (Arenas et al, 2006). Apesar de tais números, a penetração dos serviços banda larga nas residências da América Latina esta estimada em apenas 9 % para o final de 2006, sendo projetada em 17 % para o final de 2015 (Arenas et al, 2006). Dessa forma, pode-se compreender que há um longo caminho a percorrer para a massificação dos serviços banda larga na América Latina.

2.5.1.1 ADSL2/2+ – Asymmetric Digital Subscriber Line 2+

Ao se considerar o padrão ADSL2/2+, observa-se que ele traz consigo novos recursos e funcionalidades aos serviços de banda larga: melhoria nas taxas de transmissão, maior alcance, recursos de diagnóstico, modo de espera, entre outros.

Com relação a ser melhor em taxas de transmissão e alcance, o ADSL2/2+ foi desenvolvido para melhorar a banda e o alcance dos acessos banda larga. Ele é mais imune em relação aos efeitos de *crosstalk* (interferência entre os pares dentro de um cabo, ou seja, tendência do sinal de um par de fios serem induzido por outro par adjacente) em relação ao ADSL (ITU-T, 2005).

Assim um dos ganhos é a eficiência. O ADSL tradicional usa 32 Kbps de banda enquanto o ADSL2/2+ usa apenas 4 Kbps para sinalização, deixando mais banda para a transferência efetiva de dados (Aware, 2005). Através de novos métodos de codificação, o ADSL2/2+ chega a até 24 Mbps de banda (contra 8 Mbps do ADSL) de download e 1 Mbps de upload (o mesmo do ADSL). O grupo de desenvolvedores do ADSL2/2+ considerou que, para o perfil de tráfego típico dos usuários ADSL, a banda de 1 Mbps de upload era suficiente, assim todo o ganho de banda foi passado para a velocidade de download.

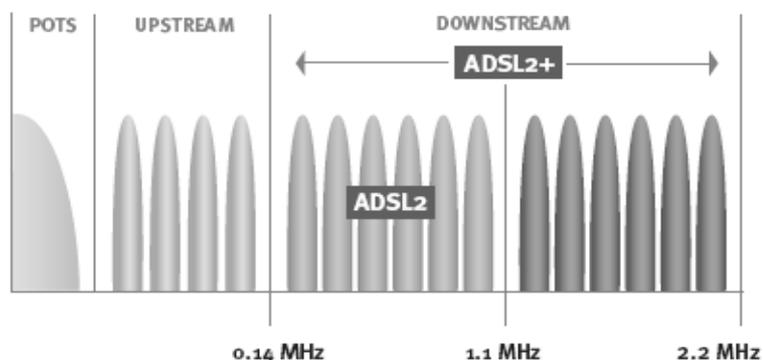


Figura 2.5: Representação do espectro de frequências do formato ADSL2/2+ (Aware, 2005).

Como o ADSL2/2+ possui mais banda, o efeito positivo é que, mantendo a mesma velocidade, o ADSL2/2+ possui um alcance maior. Assim, um operador de banda larga que forneça conexões de 04 Mbps, pode chegar a até 3,5 km de distância até seus usuários usando ADSL e 4 km em ADSL2/2+.

2.5.2 PLC – Powerline Communications

Nos últimos anos um grande esforço tem sido realizado para a produção de tecnologia que permita a utilização da rede elétrica para a transmissão de dados em banda larga. Este esforço inclui o desenvolvimento de equipamentos de acesso à rede, tanto em baixa quanto em média tensão, além de equipamentos a serem utilizados dentro das instalações do usuário (Zimmermann e *Dostert*, 2000).

Powerline Communication (PLC) é uma tecnologia de acesso que utiliza a infraestrutura da rede elétrica para transmissão de dados. Neste tópico será apresentado a estrutura do PLC, mostrando os elementos básicos, a topologia das redes de distribuição de energia elétrica, as características das linhas de transmissão de energia elétrica e os ruídos e interferências presentes nesses sistemas.

Para o funcionamento do PLC, os cabos elétricos são utilizados como meio de transmissão e a instalação elétrica indoor se comporta como uma rede de dados onde cada tomada elétrica é um ponto de conexão da rede. O PLC utiliza redes de distribuição secundária, onde estão conectados os consumidores, com abrangência de alguns quarteirões por circuito. Esta tecnologia requer baixo investimento, pois as tomadas de energia elétrica já serão os pontos de entrada e saída de dados.

No PLC a largura de banda disponível é compartilhada entre dezenas de usuários simultaneamente (usuários que estiverem ligados ao mesmo transformador), logo o desempenho de uma conexão varia de acordo com o número de pessoas que estiverem utilizando, assim como em outras tecnologias de acesso.

Em função desse compartilhamento, é necessário proteger a privacidade do tráfego individual, para tal uma alternativa é utilizar técnicas de VLAN (*Virtual Local Area Network*), baseada no padrão IEEE 802.1Q, que assegura divisão de domínios de broadcast. No modelo atual, cada *head end* (HE) é constituído de 254 canais individuais, ou seja, são 254 usuários que compartilham a mesma rede física, porém em redes lógicas diferentes.

Devem-se também utilizar mecanismos de segurança como algoritmos de criptografia, uma vez que a rede é fisicamente aberta. Visando monitorar o tráfego e corrigir erros, dentre outros aspectos, a tecnologia deve possuir um sistema de gerenciamento automático e de supervisão, como por exemplo, DHCP para atribuição automática de endereços e SNMP para gerência e monitoramento desta rede.

A banda de frequência utilizado pelo PLC dentro do sistema de energia elétrica é de 1,6 MHz a 35 MHz. O sistema elétrico é constituído de um faixa espectral de 60 HZ como frequência fundamental e geração de harmônicas de 120 Hz a 1200 Hz, não devendo ocorrer interferência de um sinal no outro, devido à faixa de frequência que separa os dois sistemas. A Figura 2.6 apresenta uma representação do espectro de frequência do PLC.



Figura 2.6: Espectro de frequências do PLC

Além dos inconvenientes do meio físico, existem outras barreiras para o uso de PLC no que tange ao acesso à internet. O assinante deste serviço tem uma interface com a rede de baixa tensão, que possui inúmeros transformadores ao longo de sua extensão. O sinal PLC deve fazer um *bypass* nestes equipamentos, visando manter a integridade das informações transportadas.

Podem ser utilizados, por exemplo, repetidores PLC para evitar os transformadores ao longo do caminho, tipicamente em redes de baixa tensão, mas dependendo da extensão da rede, o investimento na implantação do serviço pode aumentar substancialmente por conta desse inconveniente.

Apesar de seus contratempos, o PLC ainda sim é viável, principalmente para soluções em regiões onde temos uma carência de infraestrutura de acesso, como a região amazônica, já que esta tecnologia aproveita uma infraestrutura existente, podendo ser utilizada para provimento de serviços de inclusão digital. Maiores informações podem ser consultadas em: (Zimmermann e *Dostert*, 2000) e (Hrasnica; Haidine; Abdelfatteh, 2004).

2.5.3 Wi-Max – 802.16

Wi-Max, também chamado de Wimax é um acrônimo para *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (Interoperabilidade Mundial para Acesso por

Microondas). Trata-se de uma tecnologia de banda larga sem fio, capaz de atuar como alternativa a tecnologias que utilizam meios cabeados para provimento de acesso de última milha. Em teoria, espera-se que os equipamentos Wi-Max tenham alcance de até 50 km e capacidade de banda passante que ultrapasse até 70 Mbps. Na prática, alcance e banda dependerão do equipamento e da frequência usados, bem como da topologia e das condições geográficas da região a ser utilizada.

As arquiteturas básicas de rede 802.16 são do tipo: ponto a ponto, ponto-multiponto e Mesh (malha), entretanto é possível também que sejam utilizadas arquiteturas híbridas, consistindo de uma ou mais topologias. A topologia ponto-multiponto o ponto central é uma estação base que faz a comunicação através de conexão entre vários SSS espalhados, contendo um ou vários computadores (Figura 2.8).

A arquitetura ponto-multiponto permitirá que o operador de rede alcance um número maior de assinantes a um custo menor e limitará acentuadamente o número de roteadores e de switches requeridos para a rede. Nesta arquitetura é possível atender a vários usuários simultaneamente a partir de um único ponto que é estrategicamente posicionado para cobrir uma área de interesse de atendimento. A arquitetura ponto-multiponto oferece a vantagem de menor custo e facilidade de adição de nós, mas com menor banda passante que a solução ponto a ponto (Câmara e Silva, 2005).

A topologia ponto a ponto é um tipo de serviço dedicado de uma estação base para uma estação cliente, ou de uma estação cliente para outra. Neste tipo de arquitetura temos alguns inconvenientes, tais como a escalabilidade, visto que esta topologia suporta a comunicação de poucas estações clientes, existindo pouca facilidade de adicionarem novos nós.

A Figura 2.8 também apresenta a representação de uma arquitetura do tipo ponto a ponto, onde se tem a comunicação entre as estações SS através das BS da rede. Indicadas para as redes que utilizam frequências de microonda baixas uma arquitetura ponto-multiponto geralmente é a regra. Em relação às redes Mesh, temos todos os SS e todos BS se comunicam entre si, sem a necessidade de encaminhar o tráfego pelo ponto central, ou seja, cada nó irá funcionar como um repetidor/roteador na rede (Figura 2.8).

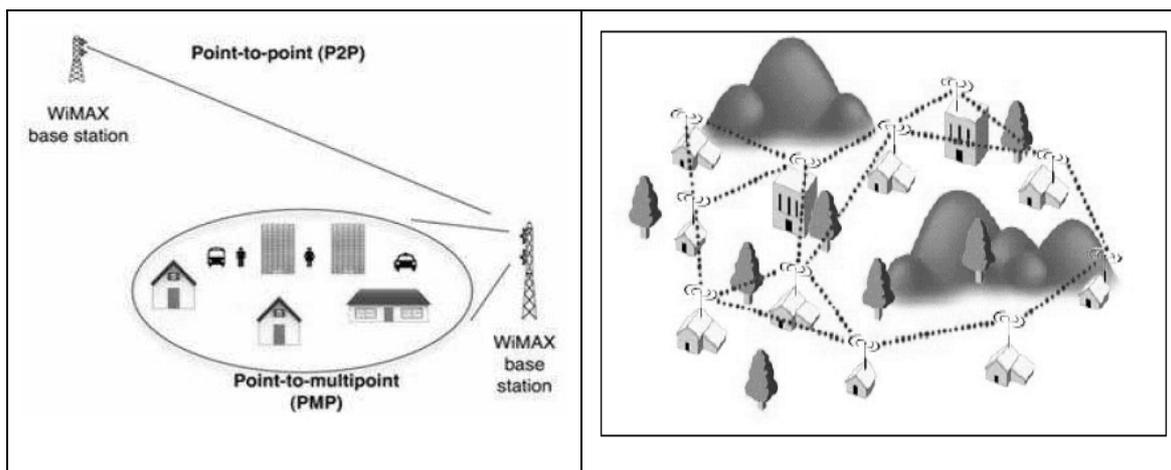


Figura 2.7: Estrutura de comunicações Wi-Max.

A comunicação entre as torres pode possuir uma linha de visada sem obstruções ou não, a partir daí classifica-se como com ou sem linha de visada ou ainda como com linha de visada obstruída. Dependendo desse tipo de característica distâncias e velocidades de alcance podem ser afetadas. Entretanto, a definição formal de operação em linha de visada é estabelecida com base no conceito de zonas de Fresnel, ilustrado pela Figura 2.9. Os obstáculos à propagação do sinal de rádio podem provocar, entre outros efeitos, a difração, cuja abrangência é modelada através de zonas volumétricas elipsoidais em torno do eixo de visada direta entre transmissor e receptor, denominadas zonas de Fresnel.

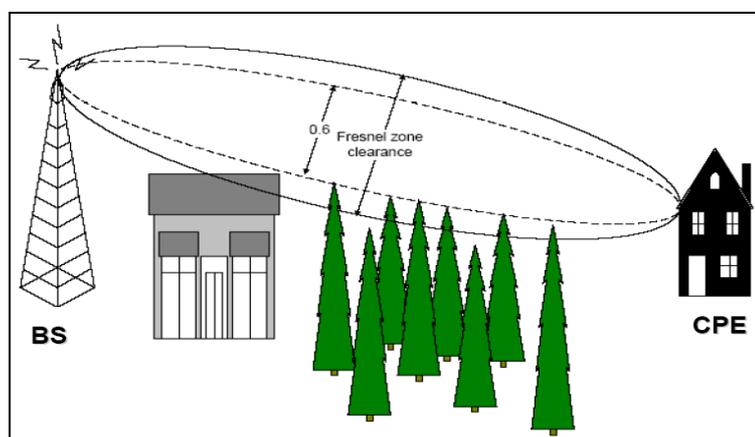


Figura 2.8: Representação de linha de visada e zonas de Fresnel. (Figueiredo, 2011).

O padrão 802.16 possui versões que vieram a corrigir erros anteriores, dentre essas versões as que mais se destacam são: IEEE 802.16a, 802.16b, 802.16c, 802.16d, e 802.16e. A Tabela 2.3, a seguir, apresenta um resumo comparativo entre as versões do Wi-Max.

Tabela 2.3: Comparação entre padrões de referência da família 802.16.

	802.16	802.16 a/d	802.16e
Alcance (Km)	2 -5	5 -50	2 – 5
Velocidade (Mbps)	32 – 134	75 (canal 20 MHz)	15 (canal 20 MHz)
Tamanho do canal (MHz)	20, 25, 28	1,55 – 20	1,55 – 2
Frequência (GHz)	10 – 66	2 – 11	2 – 6
Tipos de sistema	Fixo	Fixo	Móvel
Ambientes	Visada direta	Visada direta e sem visada direta	Visada direta e sem visada direta

Sem objetivo de esgotar as considerações sobre as características da tecnologia em questão, informações adicionais podem ser encontradas em: (Bhatt; Basall; Khunteta, 2011), (Sousa; Pentikousis; Curado, 2008) e (Liang, 2004).

2.5.4 Comparação entre tecnologias de acesso

Nas seções anteriores foram abordadas algumas das principais tecnologias de acesso predominantes no mercado mundial. Cada forma de acesso possui sua especificidade, sendo que dependendo da região que queira ser atendida, podemos ter uma determinada solução, em muitos casos, podendo haver uma combinação dessas tecnologias. Assim, a seguir é apresentado um resumo comparativo entre algumas tecnologias de acesso.

Tabela 2.4: Comparação entre tecnologias de acesso (Seruffo, 2008).

	Pontos Fortes	Pontos Fracos
DSL	<ul style="list-style-type: none"> - Trata-se de uma tecnologia que utiliza uma rede de transmissão já existente, reduzindo custos. - Apresenta uma boa velocidade de transmissão. 	<ul style="list-style-type: none"> - Interferências causadas no meio de transmissão, tais como o <i>crosstalk</i> e a <i>Radio frequency interference</i>. - Nem toda região vai possuir o recurso da telefonia para utilizar essa solução.
PLC	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza um meio para propagação do sinal que possui alta capilaridade. - Em regiões de difícil acesso, esta tecnologia aparenta ser a mais transitável. 	<ul style="list-style-type: none"> - Está bastante susceptível a erros, já que meio utilizado não foi criado com a finalidade de transmissão de dados. - Há casos em que o assinante deste serviço tem uma interface com a rede de baixa

		tensão, que possui inúmeros transformadores ao longo de sua extensão, tendo que o sinal PLC fazer bypass nestes equipamentos.
Wi-MAX	<ul style="list-style-type: none"> - Tem-se a vantagem da não utilização de meio cabeado para transmissão de informações. - Facilidade de chegar a lugares inóspitos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Possui grande apelo no que se refere à segurança da informação. - Pelo fato de ser propagado pelo ar, está sujeito a interferências.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados conceitos sobre o referencial teórico utilizado para o desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente foi realizado levantamento sobre conceitos de TV digital interativa, sua estrutura geral, componentes, e principais sistemas de TVD existentes na atualidade. Na seção seguinte, características de algumas tecnologias de acesso, com o objetivo de fundamentar a implementação e testes realizados por este trabalho, descritos nos capítulos seguintes deste trabalho.

Na próxima seção deste trabalho é apresentado um overview sobre a plataforma OpenGinga, descrevendo suas tecnologias, principais componentes, e as camadas que a compõe bem como suas respectivas atribuições.

3 A PLATAFORMA OPENGINGA

As aplicações que executam sobre o Ginga, o middleware do Sistema Brasileiro de TV digital, podem ser classificadas em duas categorias dependendo do conteúdo inicial da aplicação se é declarativo ou procedural (Barbosa, 2008). O ambiente declarativo processa aplicações NCL, sendo denominados Ginga-NCL, que foi definida pela PUC-RIO (Soares, Rodrigues & Moreno, 2007); e o ambiente que controla a execução de aplicações procedurais, baseadas nas APIs Java TV e Java DTV, que é chamado de Ginga-J (Souza Filho, Leite & Batista, 2007). Adicionalmente, para dar suporte aos ambientes de execução declarativo e procedurais, existem outros dois módulos adicionais: o Ginga Núcleo Comum (Ginga-CC), que é responsável pelas funcionalidades de receptores de TV digital, implementado os exibidores de mídia dos ambientes Ginga-NCL e Ginga-J. Esta camada também tem contato direto com o sistema operacional e a camada de hardware, sendo que a mesma tem o controle do plano gráfico, tratamento de dados obtidos do carrossel de objetos DSM-CC, canal de retorno, acesso ao sistema de arquivo e ao terminal gráfico. Também há uma máquina virtual Java, necessária para execução das aplicações Java. É importante ressaltar que o modelo arquitetural definido para o middleware do sistema Brasileiro de TV Digital, é uma especificação disponibilizada no formato ABNT (ABNT 15606, 2010). Assim, qualquer entidade (fabricantes, empresas ou grupos de pesquisa) que tenha interesse, pode criar uma implementação a partir da especificação mencionada, que é o caso do projeto Openginga.

3.1 A PLATAFORMA OPENGINGA

O Openginga é uma iniciativa de código-fonte aberto que tem o objetivo de desenvolver uma plataforma de código aberto para o middleware Ginga do padrão brasileiro de televisão digital. As diretrizes de desenvolvimento do Openginga estão relacionados com a reutilização e modificação dos componentes utilizados no middleware FlexTV (Leite et al, 2005), visando a adaptação às especificações atuais do middleware brasileiro. O objetivo geral é fornecer uma implementação de código aberto do middleware Ginga que funcione em PCs, permitindo um ambiente de suporte ao desenvolvimento de aplicações para TVD.

Disponibilizado através do Ginga CDN (Ginga CDN, 2011), o Openginga utiliza um conjunto de tecnologias de software livre, desde um sistema operacional GNU Linux, bibliotecas de processamento gráfico e uma máquina virtual Java opensource, conhecida como *PhoneME* (Phoneme, 2011), compatível com a especificação Ginga-J. A Figura 3.1 apresenta a macro arquitetura da plataforma Openginga.

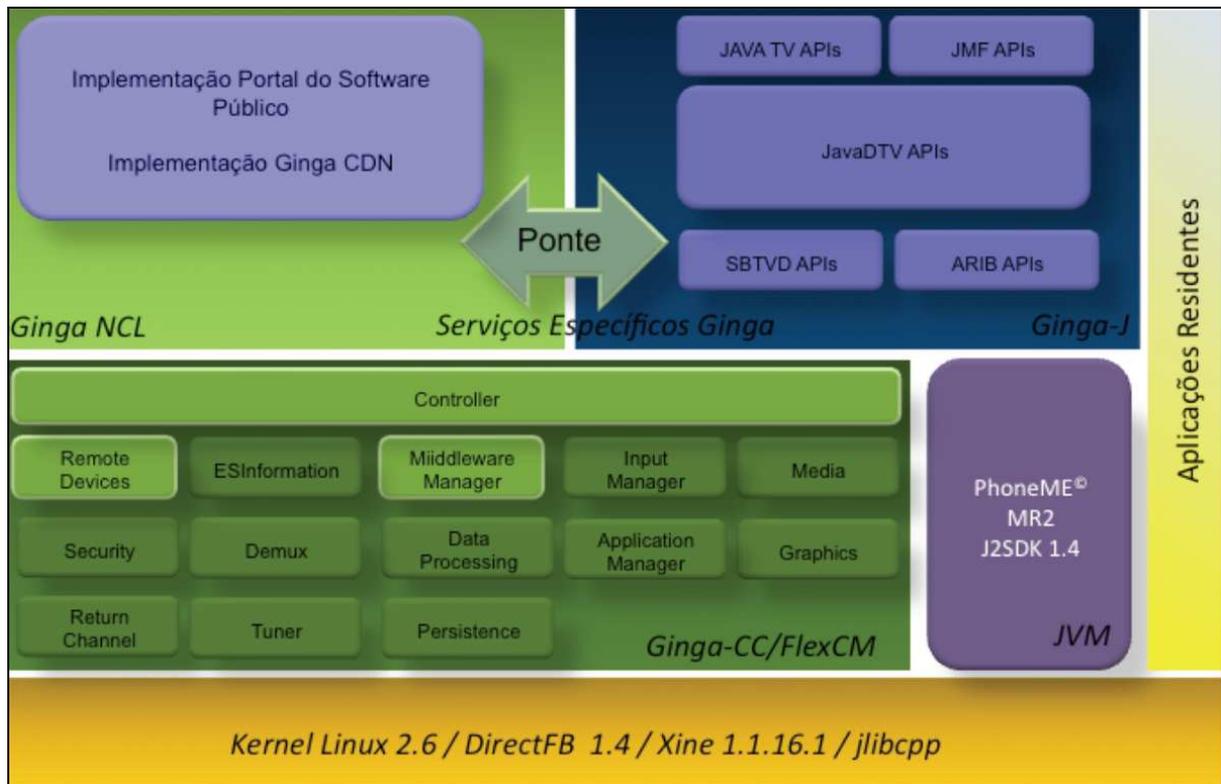


Figura 3.1: Macro arquitetura da plataforma Openginga (LAVID 2011).

O Openginga possui modelo de componentes e arquitetura que já haviam sido validados e consolidados, a partir das propostas FlexTV (Leite et al, 2005) e do middleware Maestro (Soares, 2006). O FlexTV, proposta de middleware procedural do projeto SBTVD, incluía um conjunto de APIs já estabelecidas em outros padrões e funcionalidades inovadoras, como a possibilidade de comunicação com múltiplos dispositivos, permitindo que os mesmos enviassem e recebessem dados do middleware. Enquanto que o Maestro foi proposta de middleware declarativo do projeto SBTVD. Com foco em oferecer facilidade do sincronismo espaço-temporal entre objetos multimídia, utiliza a linguagem declarativa NCL (*Nested Context Language*) e a linguagem de script Lua.

A Tabela 3.1 apresenta um resumo dos principais componentes da plataforma Openginga, e suas respectivas funções.

Tabela 3.1: Resumo dos componentes da plataforma OpenGinga.

Componente		Função
Ginga NCL		Implementação da máquina de apresentação Ginga NCL disponibilizada no Portal do Software Público Brasileiro;
Ginga-J	Java TV APIs	API da plataforma Java ME, mais especificamente para a configuração CDC (<i>Connected Device Configuration</i>), que fornece acesso a fluxo de áudio e vídeo, Acesso aos dados nos canais de transmissão e gerenciamento do ciclo de vida das aplicações;
	JMF APIs	JMF (Java Media Framework) é uma API que permite a manipulação de áudio, vídeo e outras mídias em aplicações Java;
	Java DTV APIs	Implementação da especificação Java DTV, que oferece funcionalidades de um receptor de televisão digital para o desenvolvimento de aplicações baseadas em Java;
	SBTVD APIs	APIs exclusivas do SBTVD para extensão de funcionalidades já existentes ou inovações exclusivas do padrão brasileiro;
	ARIB APIs	API que fornece acesso a informação de serviço que é disponibilizado pelo carrossel de dados na programação de TV;
Ginga-CC		Núcleo comum onde é feita a abstração da camada do sistema Operacional. Além disso, é responsável pelo processamento das funções básicas do receptor, como sintonização, controle e execução de mídia, e acesso ao canal de retorno;
Ponte Ginga-J/Ginga-NCL		Componente que disponibiliza mecanismos

		para intercomunicação entre Ginga-NCL e Ginga-J;
Máquina Virtual Java (JVM)		Máquina virtual Java do projeto <i>PhoneMe</i> que é compatível com a especificação da plataforma Ginga;
Sistema Operacional	<i>GNU Linux</i>	Sistema operacional GNU Linux 32 bits baseado em Kernel 2.6;
	<i>DirectFB</i>	Biblioteca de software para sistemas baseados em GNU Linux, que provê aceleração gráfica, manuseia de dispositivos de entrada, além de suportar integração com sistemas janelados;
	<i>Xine</i>	Reprodutor de mídia de código-fonte aberto compatível com sistemas baseados em GNU Linux e Solaris;
	<i>Jlibcpp</i>	Biblioteca C++ portátil para Java que inclui suporte a sockets, threads, gerenciamento de processos, entre outras funcionalidades;
Aplicações Residentes		Aplicações que podem vir agregadas a plataforma, como navegadores de Internet, jogos, entre outros.

Dada a importância da camada Ginga-CC da plataforma OpeNGinga para este trabalho, ela será abordada em detalhes na seção a seguir.

3.1.1 OpeNGinga Common Core (OpeNGinga-CC)

A camada Common Core da plataforma OpeNGinga fornece uma camada de abstração, ao realizar interação direta com o sistema operacional e recursos de hardware e software. Ao abstrair recursos como *DirectFB*, *Xine* e *Jlibcpp*, fornece recursos destes

componentes para as camadas superiores do middleware. Sua estrutura interna é baseada em um conjunto de componentes, que tratam as funcionalidades do middleware. Adicionalmente, possui uma API de comunicação, que estabelece uma camada de serviços para as máquinas de apresentação. Dentre os principais componentes do OpenSlinga Common Core, podemos destacar:

- *Tuner*: Componente que realiza a função de sintonização, e assim controla o acesso aos múltiplos *transport streams* (TS) existentes no sistema de distribuição;
- *SI*: Servidor de informações sobre os fluxos, que informa quais fluxos de áudio, vídeo e dados estão sendo transmitidos e qual a semântica associada a cada um deles;
- *Demux*: Disponibiliza a filtragem dos fluxos elementares presentes no fluxo de transporte;
- *Media*: Tem a função de se comunicar com os decodificadores implementados em hardware, a fim de controlar a apresentação dos fluxos elementares de áudio e vídeo;
- *DataProcessor*: Tem a função de processar dados transmitidos de forma multiplexada com fluxos de áudio e vídeo no MPEG-2 TS.
- *Graphics*: Componente responsável por permitir o desenho de componentes gráficos na tela da TV;
- *Input*: Responsável por receber e tratar os eventos disparados pelo usuário através do controle remoto, pelo painel do próprio terminal de acesso, por um teclado, ou por algum outro dispositivo de entrada;
- *ApplicationManager*: Responsável por carregar, instanciar, configurar e executar as aplicações;
- *Persistence*: Componente responsável pelo gerenciamento de recursos de armazenamento não voláteis;
- *Security*: Este componente é responsável por verificar a autenticação de aplicações interativas que requeiram determinadas funcionalidades restritas do Common Core;
- *Controller*: Gerenciador de Middleware será responsável pelo gerenciamento funcional do middleware;

- *ReturnChannel*: Responsável por prover interfaces que poderão ser utilizadas para acessar o canal de interação: Modem 56K, ADSL, Wi-Max ou 3G.

Em relação a este último componente, o *ReturnChannel*, é importante ressaltar que até o desenvolvimento deste trabalho, este módulo não se encontrava implementado, considerando-se a versão 0.4.3 da plataforma Openginga. Assim uma das atividades previstas para este trabalho é a investigação completa da arquitetura do Openginga-CC, analisando a fundo seu funcionamento, de modo a possibilitar o desenvolvimento do módulo *ReturnChannel*, e assim implementar o suporte ao canal de retorno na plataforma.

O Openginga-CC possui uma abordagem baseada no uso de componentes e ambiente de execução herdados do *FlexCM*. Isso possibilita interfaces de interação bem definidas entre os componentes, possibilitando instanciar diferentes versões de middleware, criadas a partir de diversas combinações entre componentes disponíveis, inclusive através da comunidade Ginga CDN. A Figura 3.2 apresenta um diagrama de componentes do Openginga-CC.

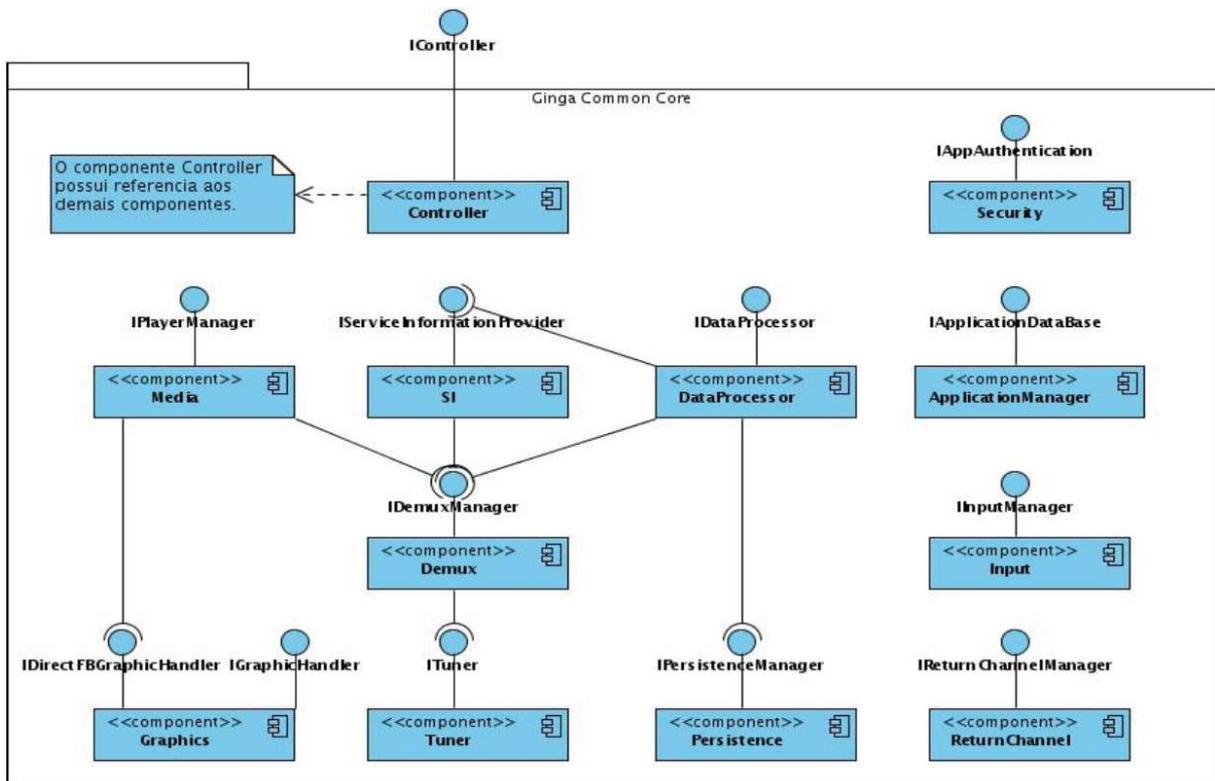


Figura 3.2: Diagrama de componentes da camada Openginga-CC (LAVID, 2011).

Na arquitetura do *FlexCM*, há também padronização na instanciação, composição e no ciclo de vida dos componentes do sistema, possibilitando facilidade no desenvolvimento de componente adicionais a serem desenvolvidos, permitindo assim que o ambiente como um todo seja, uma ferramenta eficaz para realizar provas de conceitos, já que permite que um novo componente seja facilmente agregado a plataforma. A Figura 3.3 apresenta trechos do diagrama de classes no que diz respeito aos componentes do FlexCM.

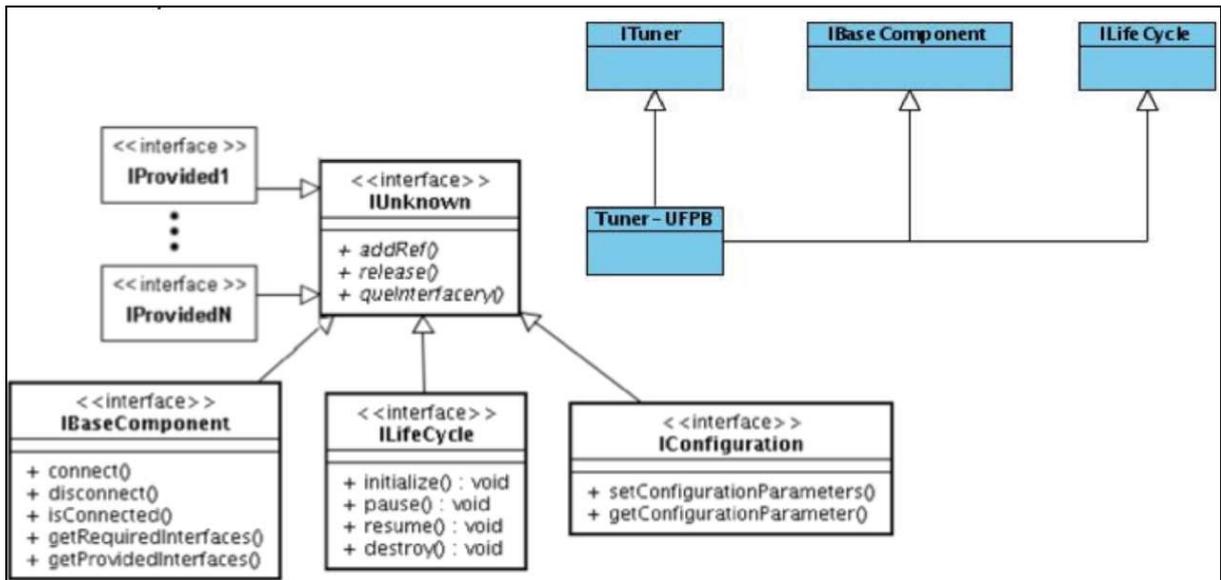


Figura 3.3: Diagrama de classes de componentes do FlexCM (LAVID, 2011).

De maneira geral a abordagem em componentes do *FlexCM* traz os seguintes benefícios à arquitetura do Openinga-CC:

- Conhecimento da arquitetura em nível de modelo;
- Facilidade na configuração de componentes individuais;
- Execução de testes de unidade e integração de diferentes porções da arquitetura;
- Facilidade na configuração do sistema como um todo.

Durante o andamento deste trabalho, um componente compatível com os padrões do *FlexCM* foi desenvolvido, para permitir que o suporte ao canal de retorno fosse implantado. Os detalhes desse módulo são apresentados no Capítulo 4. É necessário verificar a integração entre o componente *FlexCM* e as máquinas de apresentação, processo este descrito na seção a seguir.

3.1.2 Integração entre Openginga-CC e máquinas de apresentação

Dada a divergência no modelo de componentes e na especificação de certos componentes, o formatador NCL e o Openginga-CC rodam em processos separados dentro do sistema operacional. Assim, ao tratar o formatador NCL como um componente de caixa preta, a comunicação com esta é feita através de estratégias de comunicação entre processos (*Inter-Process Communication*). Por outro lado, a máquina virtual Java e o Openginga-CC rodam sob um mesmo processo, dada a compatibilidade entre seus componentes.

Assim, enquanto a comunicação com o formatador NCL é feito através de técnicas de IPC, a comunicação com Ginga-J obedece a uma arquitetura bem definida dentro do Openginga-CC. Na Figura 3.4, a seguir é demonstrada a pilha de camadas do componente Tuner desde o Openginga-CC até chegar a API Ginga-J.



Figura 3.4: Pilha de camadas do componente Tuner (LAVID, 2011).

Na Figura 3.4 são demonstradas as 06 (seis) camadas para o componente um componente, que no caso da Figura 3.4 é o componentes Turner, que realizar a sintonização do canal. Cada apresentada na Figura 3.4 possui as seguintes funções:

- **Ginga-J API:** Camada que representa a API Java DTV, onde a classe Tuner possui comportamento já previamente definido pela especificação da API, mas ela invoca as funcionalidades necessárias da camada inferior;

- *Ginga-J Wrapped*: Classe Java que faz chamada a uma biblioteca de sistema por meio de *Java Native Interface* (JNI), e assim disponibiliza métodos da biblioteca para a camada superior;
- *Ginga-J JNI*: Classe C++ que faz a interface com a camada Java exportando métodos implementados na mesma para a camada *Ginga-J Wrapped*;
- *FlexCM*: Este item não é necessariamente uma camada, pois está na prática inclusa na camada superior, mas demonstra a invocação de um componente FlexCM do Openginga-CC;
- *Common Core*: Componentes *FlexCM* propriamente dito, escrito em C++, que implementa as chamadas ao sistema operacional.

3.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada uma análise feita sobre a arquitetura da plataforma Openginga, e as tecnologias que a constituem. Foi dada especial atenção para a camada Openginga-CC, onde foram descritos seus componentes, e funcionamento interno, além de ter sido descrito a integração desta camada com as máquinas de apresentação do *middleware*.

No próximo capítulo são descritas as implementações desenvolvidas para dar suporte ao canal de interatividade na plataforma Openginga, considerando as camadas de software acima mencionadas.

4 IMPLEMENTAÇÃO DO COMPONENTE DE CANAL DE RETORNO

Este capítulo apresenta o componente que foi desenvolvida para implantar o suporte ao canal de retorno na plataforma Openginga, versão 0.4.3. São descritas as implementações realizadas no Openginga-CC e da API Java DTV.

4.1 IMPLEMENTAÇÃO DO COMPONENTE FLEXCM/COMMON CORE

Para implementar um novo componente à plataforma Openginga é necessário desenvolver um componente *FlexCM*. Para tal, o processo realizado neste trabalho consistiu em utilizar um *template* disponível no site do Ginga CDN, e alterá-lo para ser agregado à plataforma. Após a obtenção deste componente na forma de *template*, é preciso adequá-lo, renomeando o mesmo e inserindo o código nativo necessário que irá manipular os dispositivos de rede do sistema operacional. A Figura 4.1 demonstra o processo de desenvolvimento de um novo componente FlexCM.

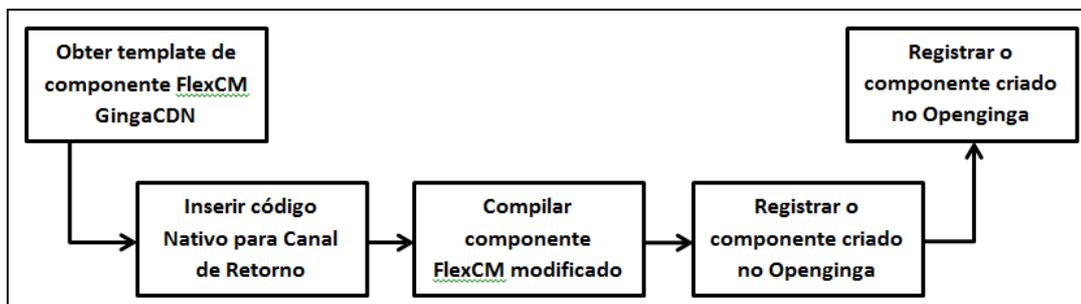


Figura 4.1: Fluxograma que demonstra processo de desenvolvimento de componente FlexCM.

Com o código do componente completo, o mesmo é compilado de modo a gerar uma biblioteca de sistema, que posteriormente é importada pelas camadas posteriores da plataforma. Após a compilação é necessário registrar o componente junto ao *FlexCM*. Este processo se dá, primeiramente através da geração de *serial uid* para o componente criado. Este *serial uid* é único por componente, e assim é possível estabelecer dependências entre os mesmos. Na Figura 4.2 é possível visualizar o arquivo *registry.xml*, onde o componente criado é registrado.

```

61     <component alias="controller-ufpb-lavid" guid="906ca0a0-5555-11db-b1de-0800200c9a66">
62         <path>controller/bin/libcontroller.so</path>
63         <name>libcontroller.so</name>
64         <provides>b0e6c46a-84e8-4d57-bcca-0de819fffc96</provides>
65         <requires>fb273d9e-5d2c-49e5-a345-50a7298b878b</requires>
66         <requires>758f082d-8637-4542-abb-8df5bba94061</requires>
67         <requires>418afb1a-6199-480c-b598-d4cc0069d13b</requires>
68         <requires>883f0184-e9c5-4d7a-abb6-6a4f5954d024</requires>
69         <requires>fe610dec-fa18-4f79-b3a7-3ff7558b42c0</requires>
70         <requires>8b217115-af65-4970-b378-9eaf1ddd53fb</requires>
71         <requires>73887b33-810c-4a15-8a6e-e42e8d7525a6</requires>
72     </component>
73
74     <component alias="returnchannel-ufpa" guid="2e85544d-0cf3-4e44-b6f3-e9fc90d5e1aa">
75         <path>returnchannel/bin/libreturnchannel.so</path>
76         <name>libreturnchannel.so</name>
77     </component>
78
79 </registry>

```

Figura 4.2: Trecho de registry.xml onde o componente FlexCM é registrado.

A estratégia usada neste trabalho consiste em fazer com que o módulo FlexCM desenvolvido altere arquivos de sistema, responsáveis pela configuração das interfaces de rede do sistema, como por exemplo, os arquivos `/etc/network/interfaces` e `/etc/resolv.conf` responsáveis pela edição dos dispositivos de rede e configurações de DNS respectivamente.

Após a alteração destes arquivos, o componente desenvolvido realiza uma chamada de sistema, invocando utilitários do próprio sistema operacional que irão processar os arquivos que foram alterados de modo a aplicar as alterações realizadas. Informações necessárias à conexão, como nome de usuário, senhas, ou mesma informações de rede, como endereço IP, máscara de rede, são repassadas de camada em camada, advindos da camada Gingga-J Java DTV, e são repassados ao módulo em questão.

Como alguns desses utilitários de sistema rodam como *daemons* do sistema Linux, é preciso verificar se eles executaram apropriadamente, se houve algum erro ao inserir os parâmetros nos arquivos de configuração, ou mesmo se o *daemon* está rodando. Desta forma o componente *FlexCM* desenvolvido também verifica se o *daemon* está rodando ou se aconteceu algo ao executá-lo captura o erro, e propaga esse erro para a camada superior, pois na camada superior esse erro é tratado como uma exceção Java.

Vale ressaltar que arquivos adicionais podem ser necessários, dependendo do tipo de conexão a ser realizada, pois cada daemon pode possuir arquivos que contenham parâmetros de inicialização. Por exemplo, para a configuração de uma rede sem fio Wi-Fi é necessário também editar o arquivo `/etc/wpa_supplicant.conf` para fixar informações adicionais da conexão, como criptografia, canal de comunicação, entre outros. A Figura 4.3 demonstra um trecho da implementação realizada, onde é feita configuração via DHCP.

```

81 FILE *fp;
82 char path[1035];
83 char cmd[1035];
84
85 /* Limpando configuracoes */
86 strcpy (cmd,"dhclient -r ");
87 strcat (cmd, cstr);
88
89 /* Executing Dhclient Command */
90 system(cmd);
91
92 /* Open the log file for reading. */
93 fp = popen("tail -n 10 /var/log/syslog | grep dhclient | grep DHCPRELEASE", "r");
94 while (fgets(path, sizeof(path)-1, fp) != NULL);
95
96 if (path[0] == '\0'){
97     return true;
98 }else return false;
99
100 /* close */
101 pclose(fp);
102 puts("nativeRCImpl::disconnectEthernetDhcp DONE");
103
104 }

```

Figura 4.3: Trecho do código nativo que altera configurações do dispositivo de rede

A Figura 4.4 também apresenta um trecho da implementação desenvolvida, onde é demonstrada a configuração de uma interface Ethernet por endereço IP Fixo.

```

139 fstream *file1 = new fstream("/etc/network/interfaces",ios::out);
140 *file1 << "auto lo" << endl
141 << "iface lo inet loopback" << endl
142 << " " << endl
143 << "auto " << netInterface << endl
144 << "iface " << netInterface << " inet static" << endl
145 << "address " << address << endl
146 << "netmask " << netmask << endl
147 << "gateway " << gateway << endl;
148 file1->close();
149
150 fstream *file2 = new fstream("/etc/resolv.conf",ios::out);
151 *file2 << "nameserver " << dns1 << endl;
152 file2->close();
153
154 char cmd[1035];
155 strcpy (cmd,"ifconfig ");
156 strcat (cmd, ni);
157 strcat (cmd, " up");
158
159 res = system(cmd);
160
161 puts("nativeRCImpl::connectEthernetStatic DONE");
162
163 if(res == 1)
164     return true;
165 else return false;

```

Figura 4.4: Trecho da implementação do componente FlexCM.

4.2 IMPLEMENTAÇÃO DA CAMADA GINGA-J JNI/WRAPPED

As camadas Ginga-J JNI e Wrapped possuem como função principal ser a interface de abstração entre a tecnologia Java usada na API Java DTV e as bibliotecas dinâmicas de sistema escritas em C++ do Openginga-CC, por meio de componentes *FlexCM*. A camada Ginga-J JNI deve realizar a chamada ao módulo controlador do *FlexCM* e assim invocar um componente desejado. Um das funções desta camada é usar a API JNI (*Java Native Interface*), que permite que a máquina virtual da linguagem Java acesse bibliotecas construídas com o código nativo de um sistema. Sendo assim, a camada JNI desenvolvida neste trabalho invoca o componente *FlexCM* também implementado e abstrai as chamadas utilizando a API JNI para a camada Ginga-J Wrapped. A Figura 4.5 apresenta um trecho da implementação desenvolvida na camada Ginga-J JNI.

```
12  /*
13  * Class:      br_ufpb_lavid_dtv_rc_RCImpl
14  * Method:     connectEthernetDhcp
15  * Signature: (Ljava/lang/String;)V
16  */
17  JNIEXPORT void JNICALL Java_br_ufpb_lavid_dtv_rc_RCImpl_connectEthernetDhcp
18  (JNIEnv * env, jobject jobj, jstring netif){
19
20     jclass cls=NULL;
21     jmethodID mid=NULL;
22     jstring str=NULL, straux;
23     jthrowable throwobj;
24
25     cls = env->GetObjectClass (netif);
26     mid = env->GetMethodID(cls, "toString", "()Ljava/lang/String;");
27     str = (jstring) env->CallObjectMethod(netif, mid);
28     const char *cstr = env->GetStringUTFChars (str, JNI_FALSE);
29
30     FlexcmLib::getInstance()->loadArchitecture("architecture.xml", "registry.xml");
31     _rcIF = (rc::IRC *) FlexcmLib::getInstance()->getComponentFromIID(IID_IReturnChannelManager);
32     bool flag = false;
33     flag = _rcIF->connectEthernetDhcp(cstr);
34
35     if(!flag){
36         cls = env->FindClass("java/lang/RuntimeException");
37         mid = env->GetMethodID (cls, "<init>", "(Ljava/lang/String;)V");
38         straux = env->NewStringUTF("DHCP Discover Failed");
39         throwobj = (jthrowable) env->NewObject (cls, mid, straux, straux );
40         if(cls!=NULL)
41             env->Throw(throwobj);
42     }
43
44 }
```

Figura 4.5: Trecho da implementação criada na camada Ginga-J JNI

Com relação a camadas Ginga-J Wrapped, é apenas na verdade uma classe Java que de fato conclui a abstração da camada Openginga-CC ao invocar a camada JNI através do

carregado de uma biblioteca dinâmica de sistema que é criada a partir do código da Figura 4.5. A Figura 4.6 demonstra a classe desenvolvida neste trabalho.

```
1 package br.ufpb.lavid.dtv.rc;
2
3 import com.sun.dtv.resources.ScarceResourceListener;
4 import com.sun.dtv.resources.TimeoutException;
5
6 public class RCImpl{
7
8     public RCImpl(){
9         System.out.println("Go RCImpl");
10    }
11
12    static{
13        System.loadLibrary("nativereturnchannel");
14    }
15
16    native public void connectEthernetDhcp(String networkInterface);
17    native public void disconnectEthernetDhcp(String networkInterface);
18
19    native public void connectEthernetStatic(String networkInterface, String address, String netmask, String gateway, String dns);
20    native public void disconnectEthernetStatic(String networkInterface);
21
22    native public void connectWifi(String networkInterface, String ssid, String passphrase);
23    native public void disconnectWifi(String networkInterface);
24
25    native public void connectWimax(String networkInterface, String address, String netmask, String gateway, String dns);
26    native public void disconnectWimax(String networkInterface);
27
28    native public void connectPLC(String networkInterface, String address, String netmask, String gateway, String dns);
29    native public void disconnectPLC(String networkInterface);
30
31 }
```

Figura 4.6: Classe da camada *Ginga-J Wrapped* desenvolvida.

4.3 IMPLEMENTAÇÃO DA API JAVA DTV

A especificação Ginga-J é composta por um conjunto de APIs projetadas para suprir todas as funcionalidades necessárias para a implementação de aplicativos para televisão digital, desde a manipulação de dados multimídia até protocolos de acesso. Dentre as APIs de Ginga-J está Java DTV, que tem o papel de substituir funcionalmente o GEM (API do sistema europeu). Sua especificação foi criada, pela Sun Microsystems, em conjunto o Fórum SBTVD. Assim até o momento do desenvolvimento deste trabalho, a API Java DTV é apenas uma especificação, uma norma de consulta pública, que especifica componentes, classes e métodos e não possui implementação oficial criada, seja da Sun Microsystems ou do Fórum SBTVD. Desta forma dentre as atividades deste trabalho está a implementação da API Java DTV, mas não em sua totalidade, mas apenas uma seção da mesma, o pacote “*com.sun.dtv.net*”, que provê suporte a IP sobre o canal de interatividade, como menciona a especificação: “Para manipulação dos dispositivos de interatividade disponíveis na

plataforma, deve-se utilizar a API '*Extensive communication device control*' (ABNT 15606-4, 2009)”.

De acordo com (ABNT 15606-4, 2009), O pacote “*com.sun.dtv.net*” estende o pacote *java.net* para suporte a controle de extensivo de comunicação com dispositivos, onde cada dispositivo de rede disponível na plataforma, deve estar representado por uma instância da classe *NetworkDevice*. A Tabela 4.1 apresenta as classes do pacote em questão que tiveram de ser devidamente implementadas neste trabalho.

Tabela 4.1: Classe do pacote *com.sun.dtv.net* (ABNT 15604-4, 2009).

Classes	Descrição
Interface <i>NetworkDeviceStatusListener</i>	Ouvinte para eventos relacionados com dispositivos de rede
Classe <i>NetworkDevicePermission</i>	Utilizada para lidar com as diversas permissões relacionadas com recursos escassos de dispositivos de rede
Classe <i>NetworkDevice</i>	Representa cada instância física de qualquer interface de rede em suporte o protocolo IP (TCP, UDP). A comunicação pode ser obtida através da plataforma

Ainda de acordo com a especificação Java DTV, para aplicações são concedidas ferramentas para controlar os meios de comunicação disponíveis na plataforma, e assim, uma aplicação qualquer, desde que tenha a devida permissão de acesso, pode descobrir diferentes dispositivos de rede, e, por exemplo, iniciar uma conexão com a Internet. De forma, este trabalho realizou a implementação da API Java DTV tendo como base a digrama de classes descrito na Figura 4.7.

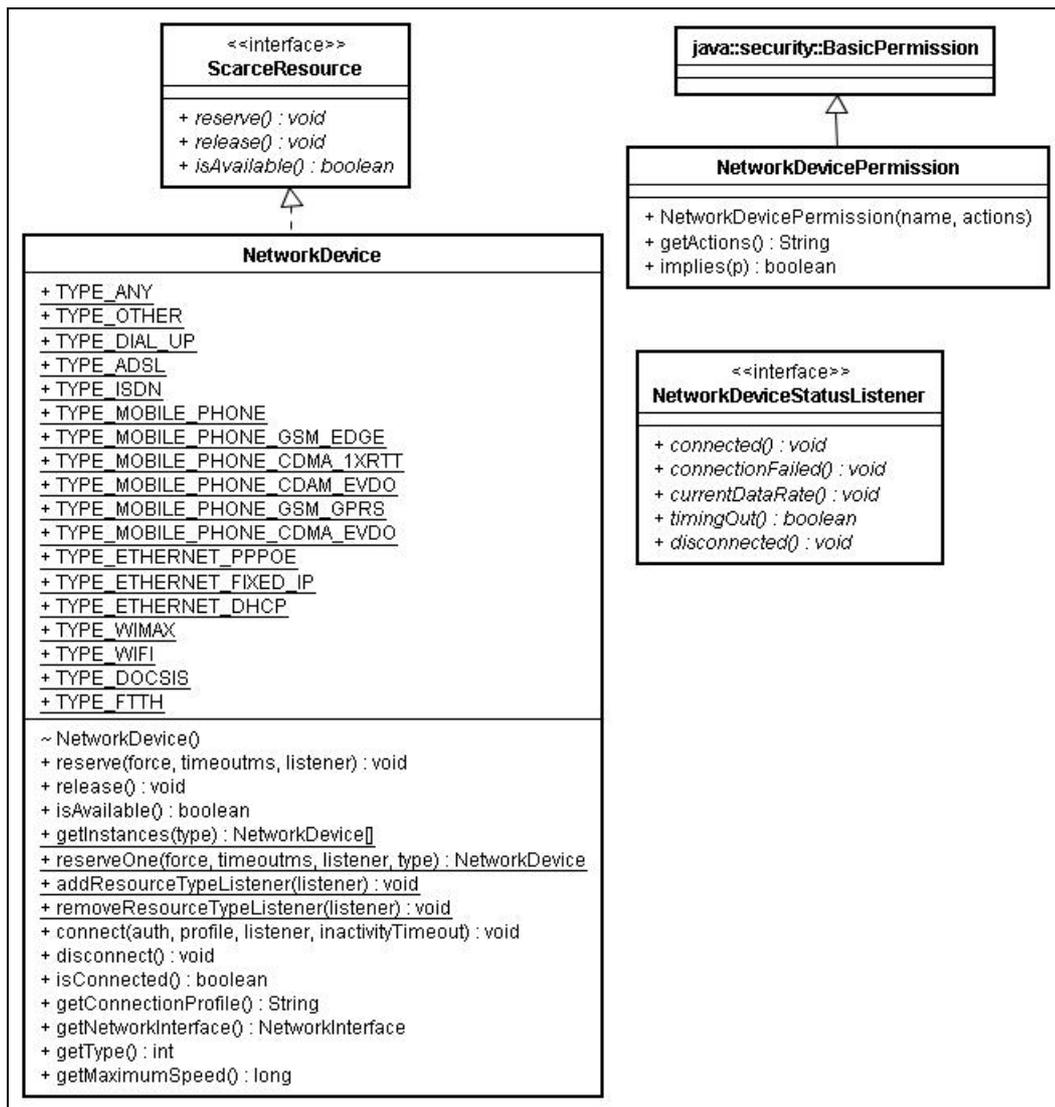


Figura 4.7: Diagrama de classes do pacote *com.sun.dtv.net* (ABNT 15604-4, 2009).

É importante observar que na classe *NetworkDevice* estão listados como métodos, os tipos de dispositivos ou conexões de rede disponíveis, e desta forma podemos observar que a tecnologia de acesso PLC não é prevista pela especificação da plataforma Ginga, e sendo assim este trabalho faz uma extensão à especificação ao adicionar o suporte a PLC na implementação da API.

Outro ponto a ser ressaltado é que o pacote Java “*com.sun.dtv.net*” possui como pré-requisito o pacote “*com.sun.dtv.platform*”. Este último pacote, fornece classes que são específicas para a plataforma de TVD, em especial as classes que são voltadas para o consumidor final, onde são armazenadas preferências do mesmo, ou informações sobre a conexão de Internet a ser realizada, como nome de usuário, senha, número para discagem, entre outras informações. Sendo assim este pacote foi implementado parcialmente, apenas

para dar suporte ao foco principal deste trabalho que foi implantar o suporte a canal de retorno na plataforma. A Figura 4.8 apresenta um trecho da implementação realizada na classe *NetworkDevice*. O trecho em questão foca no código dos métodos *addResourceTypeListener* e *connect*, onde é possível observar neste último a possibilidade de invocar conexões aos tipos de tecnologia: Ethernet (com IP fixo ou dinâmico), Wi-Max e Wi-Fi e PLC.

```
public static void addResourceTypeListener(ResourceTypeListener listener)
    throws NullPointerException{
    if(listener == null)
        throw new NullPointerException();
    resourceListeners.add(listener);
}

public void connect(Authenticator auth,
    String profile,
    NetworkDeviceStatusListener listener,
    long inactivityTimeout)
    throws NullPointerException, IllegalArgumentException, SecurityException,IllegalStateException{

    if (listener == null)
        throw new NullPointerException("listener null");
    if (!profile.startsWith("com.sun.dtv.net.if.profiles."))
        throw new IllegalArgumentException("user properties does not begin with 'com.sun.dtv.net.if.profiles.'");
    if (!reserved.booleanValue())
        throw new IllegalStateException("the resource is not currently reserved by this application");

    profileUsed = profile;

    switch (NetworkDevice.typeReserved) {
        case 402: NetworkDevice.connectEthernetFixedIp(this.niConnected.getDisplayName(), profile); break;
        case 403: NetworkDevice.connectEthernetDhcp(this.niConnected.getDisplayName()); break;
        case 601: NetworkDevice.connectWimax(this.niConnected.getDisplayName()); break;
        case 701: NetworkDevice.connectWifi(this.niConnected.getDisplayName()); break;
        case 100: NetworkDevice.connectPLC(this.niConnected.getDisplayName()); break;
    }
}

private static void connectEthernetFixedIp(String networkInterface, String profile){
    Properties props = User.getProperties("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_ETHERNET_FIXED_IP.*");
    if (props.isEmpty())
        throw new IllegalArgumentException("the property path given in profile is not defined in the user properties");
    else{
        RCImpl rcImpl = new RCImpl();
        rcImpl.connectEthernetStatic(networkInterface,
            User.getProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_ETHERNET_FIXED_IP.address"),
            User.getProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_ETHERNET_FIXED_IP.netmask"),
            User.getProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_ETHERNET_FIXED_IP.gateway"),
            User.getProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_ETHERNET_FIXED_IP.dns1"));

        typeConnected = 402;
        connected = new Boolean(true);
    }
}
```

Figura 4.8: Trecho da classe *NetworkDevice* desenvolvida.

Sobre a implementação realizada na plataforma Openinga deve-se frisar que a mesma executa no formato de máquina virtual do aplicativo *VirtualBox* (*VirtualBox*, 2011). Sendo assim, os dispositivos de rede disponíveis para conexão, como modem PLC, ou placa de rede Wireless Wi-Fi ou Wi-Max não foram obviamente conectados diretamente à máquina virtual. Desta forma para os dispositivos com interface Ethernet, com modem PLC, placa Wi-Max utilizou-se uma bridge na interface de rede para realizar o acesso. Com relação ao suporte a Wi-Fi, utilizou-se um adaptador wireless USB, e com a devida instalação de driver no sistema operacional, a plataforma passou a utilizá-lo normalmente.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou o trabalho de implementação realizado sobre a plataforma Openginga. Inicialmente apresentou-se o desenvolvimento do componente FlexCM na camada Openginga-CC; Em seguida a integração entre esta camada com a camada seguinte, Ginga-J JNI/Wrapper, por meio de JNI é apresentada onde foi ressaltado o módulo desenvolvido neste trabalho. Por fim, na última seção foi apresentado o trabalho de implementação da API Java DTV realizado sobre a plataforma Openginga.

No capítulo a seguir é descrito como as aplicações Ginga-J utilizam para se conectar a um dispositivo de rede ou outro, conforme especificação, além de ser descrito o cenário de testes da API implementada neste trabalho.

5 CENÁRIO DE TESTES DA API DESENVOLVIDA

Este capítulo tem o objetivo de apresentar o cenário de testes implementado para validar a API desenvolvida neste trabalho. São descritas as topologias das redes PLC e Wi-Max utilizadas, bem como uma aplicação Ginga-J, desenvolvida apenas para realizar os testes necessários. Nesta seção também é apresentada uma extensão à especificação da API Java DTV que por meio da camada Openginga-CC realiza testes nas tecnologias de acesso utilizadas neste trabalho.

5.1 CENÁRIO DE TESTES

Para estudo do comportamento da API desenvolvida para a plataforma Openginga, foi montado um *testbed* na Universidade Federal do Pará. No cenário proposto, um receptor digital com Openginga está conectado a dois gateways de redes diferentes. Um dos gateways faz parte de uma rede Wi-Max, e o gateway restante é ligado a uma rede PLC dentro da rede de média tensão da própria UFPA. A conexão no receptor digital é feita por meio de 02 (duas) interfaces Ethernet que se ligam aos respectivos dispositivos Wi-Max e PLC. A Figura 5.1 ilustra a representação do cenário de testes proposto neste trabalho.

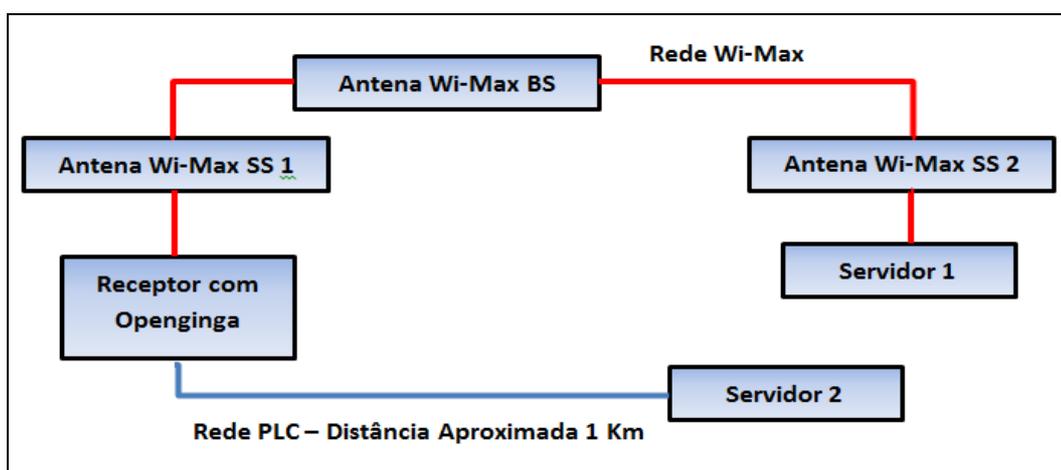


Figura 5.1: Representação do cenário de testes da API.

Neste cenário observou-se o comportamento da tecnologia Wi-MAX para um cenário tipicamente Amazônico, onde há alto índice pluviométrico, além das árvores

espalhadas pela região (que são obstáculos para comunicação, podendo provocar elevados índices de interferências). A maioria das cidades localizadas na região amazônica possui pequenos edifícios e formação arbórea extensa de elevada altitude. Além disso, a região amazônica tem um clima tropical, com temperaturas que em geral variam de 25 ° C a 40 ° C, umidade relativa acima de 90% e índice pluviométrico elevado. Todas estas condições climáticas têm pequenas variações durante o ano.

Todas essas características têm um impacto sobre a transmissão de alta frequência sem fio. A umidade e temperatura aumentam a atenuação do sinal, enquanto as árvores não permitem estabelecer uma linha de visada direta, o que implica em propagação difusa, além da chuva, que atua com efeito adversário na propagação do sinal, que somada aos ventos fortes tornam-se fatores desfavoráveis à transmissão do sinal. Por estes motivos, observa-se que na Amazônia, nem sempre uma tecnologia em especial é totalmente aderente às condições regionais, sendo necessário em alguns casos, um conjunto de tecnologias de acesso para prover conectividade eficiente na região.

No cenário do *testbed*, três pontos geográficos são conectados por Wi-Max, separados por uma distância total aproximada de 1000 metros. A *Base Station* (BS) está localizada no topo de um edifício de 04 pavimentos e duas *Subscriber Stations* (SS), uma ligada à plataforma Openginga (SS1), e outra ligada (SS2) a um computador servidor. Ambas as antenas SS estão localizadas em um prédio com 03 pavimentos, e foram posicionadas em lugares diferentes. Na área que separa estes dois prédios há diversas árvores que caracterizam uma condição NLOS (*Non-Line-Of-Sight*). A Figura 5.2 ilustra o posicionamento de um dos equipamentos utilizados. Na Figura 5.3 pode ser observada uma visão aérea dos locais utilizados para o posicionamento das antenas.



Figura 5.2: Antena Wi-Max SS utilizada no testbed.

Com relação às redes PLC, estas utilizam a rede de distribuição de energia elétrica como meio de transmissão de sinais de comunicação. A tecnologia PLC possui a vantagem de ter uma infraestrutura de alta capilaridade e custo associado relativamente baixo, mas possui algumas dificuldades (Meng, 2005). O meio físico utilizado é bastante hostil para a transmissão de dados, visto que não foi projetado para este fim, pois há uma série de propriedades das redes de energia que influenciam negativamente na comunicação em alta velocidade, tais como: perdas no cabo, propagação em múltiplos caminhos e ruídos (Meng, 2005) (Zimmermann e Dostert, 2000).

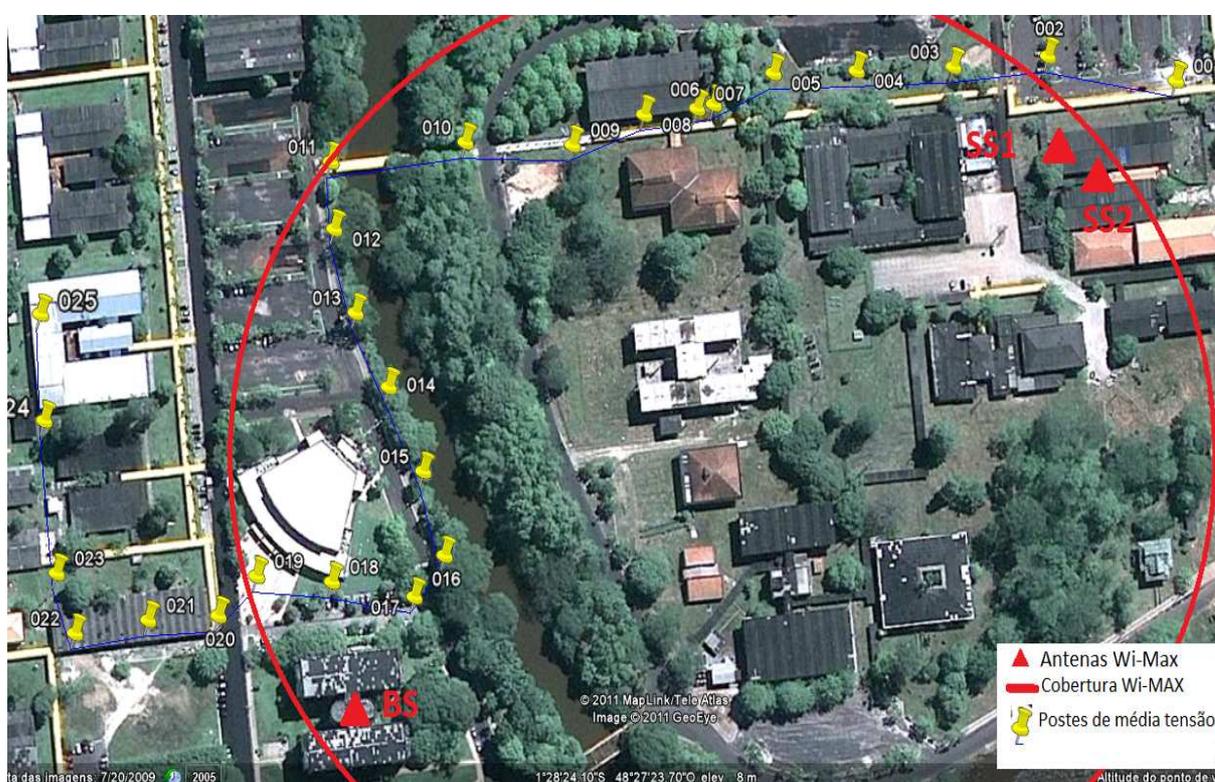


Figura 5.3: Visão aérea do campus da UFPA.

Na rede PLC podem ser utilizados repetidores PLC para evitar os transformadores ao longo do caminho, tipicamente em redes de baixa tensão. Mas dependendo da extensão da rede, o investimento na implantação do serviço pode aumentar substancialmente por conta desse inconveniente.

A Figura 5.3 apresenta uma visão aérea do Campus da UFPA, onde além da rede Wi-Max, é destacada a topologia da rede PLC presente na rede de média tensão. A numeração utilizada de 01 a 25 representa os postes utilizados na rede PLC outdoor, que possui a extensão aproximada de 01 (um) quilômetro. A estação base está localizada no ponto 24 e há

um modem PLC no ponto 02. Adicionalmente há repetidores de sinal presentes nos pontos 11 e 18.

Ainda em relação ao cenário, utilizou-se um computador servidor, situado no ponto 25 (Figura 5.3) da rede PLC, que recebia as solicitações de rede enviadas pelo computador onde a plataforma Openginga estava instalada. E de maneira análoga, como mencionado há um computador servidor conectado à SS2 aguardando requisições que são originárias da plataforma Openginga, através de SS1.

Neste cenário foram montados em quatro postes, quatro acopladores e quatro gateways PLC. As faixas de frequência utilizadas para *upstream* e *downstream*, foram respectivamente: 2,460 a 4,960MHz e 7,925 a 11,725 MHz. As taxas de transmissão nominais desta tecnologia variam de no mínimo 17 Mbps a 40 Mbps.

5.2 APLICAÇÃO GINGA-J

Com o objetivo de validar a implementação realizada sobre a plataforma Openginga, em adição ao cenário do estudo de caso, foi desenvolvida uma aplicação Ginga-J, que utiliza a API Java DTV implementada neste trabalho. Assim, a aplicação em questão pode utilizar as tecnologias PLC e Wi-Max como canal de retorno, dado o cenário proposto.

Do ponto de vista da implementação da referida aplicação Ginga, utilizou-se da classe *NetworkDevice* (da API Java DTV implementada neste trabalho) para manipulação dos dispositivos de rede apropriados ao estudo de caso, como descrito na própria especificação da API Java DTV.

De acordo com a especificação Java DTV, cada dispositivo de rede deve ser considerado como um recurso escasso do sistema, onde é permitido o controle total exclusivo sobre este recurso, desde que se haja permissão prévia para isso. Para isso, um framework de permissões deve ser utilizado para garantir a gerência de configurações de permissões. Este framework também precisou ser implementado parcialmente, apenas para dar suporte à execução dos testes, não sendo fiel a especificação como um todo. Adicionalmente, este controle de permissões é realizado principalmente pela classe Java `'com.sun.dtv.resources.ScarceResourcePermission'` que prevê pelo menos duas ações:

'reserve', ou seja, tentar realizar a tentativa de reserva, e 'force', para forçar a reserva do dispositivo.

Após o processo de reserva do dispositivo de rede, com o recurso disponível, a aplicação deve se for necessário, configurar informações que podem ser necessárias para a conexão. Por exemplo, no caso de uma conexão de rede sem fio WLAN, parâmetros como senha da rede, ESSID da rede, ou se a conexão é em modo ad-hoc ou infraestrutura, poderiam informações em potencial.

Assim, após estas etapas a aplicação tenta realizar o processo de conexão, podendo ou não resultar em uma conexão efetuada com sucesso, pois há esta possibilidade, uma vez que, por exemplo, os parâmetros de configuração podem estar incorretos, ou a rede esteja simplesmente inacessível. A Figura 5.4 apresenta um fluxograma do processo de tentativa de conexão utilizando-se a API Java DTV.

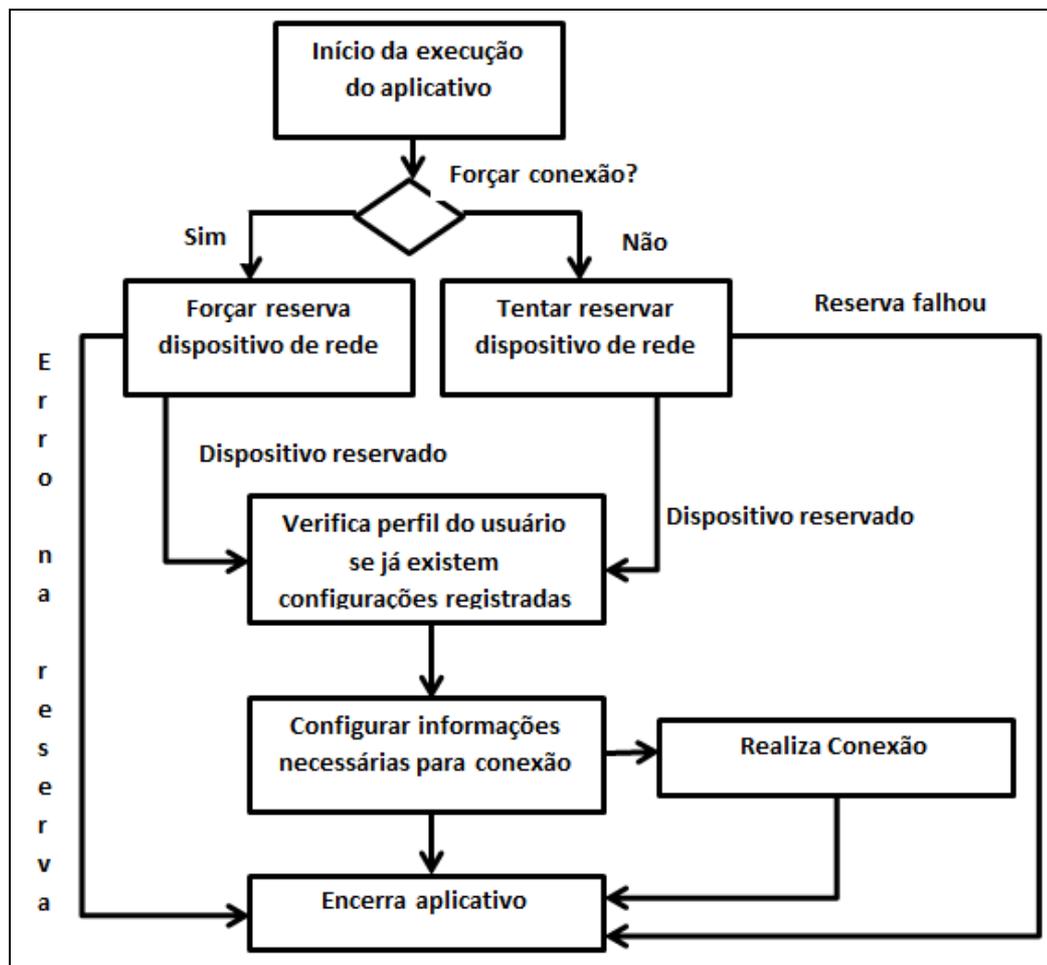


Figura 5.4: Fluxograma de conexão utilizando-se a API JavaDTV

A Figura 5.5 apresenta um trecho de código da aplicação desenvolvida, ressaltando como ocorre a seleção de tecnologia de acesso, e o processo de conexão.

```

26 public void coreEngine() throws SecurityException, IllegalArgumentException, TimeoutException{
27
28
29     NetworkDevice device = NetworkDevice.reserveOne(true,
30                                                     1000,
31                                                     this,
32                                                     NetworkDevice.TYPE_ETHERNET_FIXED_IP);
33     // Ok, got a resource
34     Properties props = User.getProperties("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_ETHERNET_FIXED_IP.*");
35     if (props.isEmpty()) {
36         // assuming application has 'write' access
37         User.setProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_ETHERNET_FIXED_IP.address", "10.0.2.15");
38         User.setProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_ETHERNET_FIXED_IP.netmask", "255.255.255.0");
39         User.setProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_ETHERNET_FIXED_IP.gateway", "10.0.2.2");
40         User.setProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_ETHERNET_FIXED_IP.dns1", "8.8.8.8");
41         User.setProperties(props);
42     }
43
44     device.connect(null, "com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_ETHERNET_FIXED_IP", this, 5000);
45
46 }

```

Figura 5.5: Trecho da aplicação Ginga-J desenvolvida neste trabalho.

5.3 EXTENSÃO NA CAMADA OPENGINGA-CC

Embora não seja uma das metas principais deste trabalho, uma extensão não prevista à camada Openginga-CC foi desenvolvida complementarmente, para demonstrar as uma das possibilidades existentes. Esta extensão provê a possibilidade de que ao estar conectada a uma tecnologia de acesso, uma aplicação Ginga-J possa invocar uma função e poder testar o canal de interatividade de modo a coletar métricas de rede como atraso, variação do atraso, vazão estimada, e perda de pacotes. A vazão é calculada a partir de um aplicativo desenvolvido pelo mesmo grupo de trabalho, publicado em (Silva, 2008), que estima a vazão máxima que o canal suporta.

Estas métricas são coletadas através de comandos ‘ping’, implementados através de bibliotecas nativas dentro de Openginga-CC, de maneira análoga a implementação das funcionalidades convencionais da plataforma, e podem ser acessadas naturalmente através da camada Ginga-J, pelos aplicativos a serem executados no middleware.

O comando *ping* utilizado (*ping -c 2 -s 32 <endereço IP de destino>*) possui derivações para definir a quantidade e tamanho de pacotes que seriam enviados ao servidor. O parâmetro *-c* define a quantidade de pacotes que será enviada (neste caso um teste foi feito com dois pacotes e outro com dez pacotes) e o parâmetro *-s* determina o tamanho do pacote (bytes) sem o cabeçalho. O comando *ping* utiliza o protocolo ICMP (*Internet Control*

Message Protocol), sendo que tamanho do cabeçalho deste protocolo, assim como o UDP é de 8 bytes, como descrito na RFC 792 (Postel, 1981).

Desta forma em um cenário complementar uma aplicação pode conectar em uma tecnologia, fazer os testes necessários, possivelmente conectar em outra tecnologia e talvez escolher a mais apropriada para a ocasião necessária. Por exemplo, aplicações de voz sobre IP (VoIP) em geral, exigem um valor de variação de atraso baixo, em função das características da tecnologia. E neste cenário hipotético, uma tecnologia de acesso poderia não ter os requisitos adequados necessários para executar a aplicação de maneira apropriada.

A Figura 5.5 apresenta um trecho de código de um cenário onde a aplicação em questão conecta em uma rede PLC, realiza os testes, desconecta desta rede, conecta na rede Wi-Max, e faz novos testes. É possível comparar os resultados dos testes utilizando uma heurística bem simplista, que no caso foi o atraso.

```
NetworkDevice device = NetworkDevice.reserveOne(true, 1000, this, NetworkDevice.TYPE_PLC);
Properties props = User.getProperties("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_PLC.*");
if (props.isEmpty()) {
    User.setProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_PLC.address", "10.0.2.15");
    User.setProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_PLC.netmask", "255.255.255.0");
    User.setProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_PLC.gateway", "10.0.2.2");
    User.setProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_PLC.dns1", "8.8.8.8");
    User.setProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_PLC.dns2", "8.8.4.4");
    User.setProperties(props);
}
device.connect(null, "com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_PLC", this, 5000);
double[] result1 = device.runTests();
device.disconnect();

device = NetworkDevice.reserveOne(true, 1000, this, NetworkDevice.TYPE_WIMAX);
props = User.getProperties("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_WIMAX.*");
if (props.isEmpty()) {
    User.setProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_WIMAX.address", "192.168.0.15");
    User.setProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_WIMAX.netmask", "255.255.255.0");
    User.setProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_WIMAX.gateway", "192.168.0.2");
    User.setProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_WIMAX.dns1", "8.8.8.8");
    User.setProperty("com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_WIMAX.dns2", "8.8.4.4");
    User.setProperties(props);
}
device.connect(null, "com.sun.dtv.net.if.profiles.TYPE_WIMAX", this, 5000);
double[] result2 = device.runTests();
device.disconnect();

//Posição '0' do array guarda atraso médio calculado
if (result1[0] < result2[0]){
    // Reconecta em PLC
}else{
    //Reconecta em Wi-Max
}
```

Figura 5.6: Trecho de aplicativo Ginga-J que realiza teste entre tecnologias de acesso.

5.4 ANÁLISE DE RESULTADOS OBTIDOS

Com a chamada do aplicativo pelo usuário, o trecho de código da Figura 5.5 é executado, de maneira a conectar a cada tecnologia, mas em seguida, realizar o processo de aferição da rede que conectada ao receptor digital. E ao considerar-se os objetivos deste trabalho, deve-se ressaltar que a análise da tecnologia de rede do canal de retorno não é um deles. Os testes realizados tiveram como objetivo validar a implementação realizada no Openring, utilizando a infraestrutura do *testbed* montado no campus UFPA.

Para análise das redes, foram utilizadas métricas de qualidade de serviço, bastante difundidas na literatura, sendo estas: (i) atraso, tempo decorrido entre o momento em que um pacote é gerado pela fonte e o momento em que é recebido no destinatário, podendo variar de pacote para pacote; (ii) jitter, variação do atraso, ou seja, valor diferencial entre dois tempos de atraso, medido em milissegundos; (iii) vazão, quantidade de bits transmitidos por unidade de tempo, neste caso, quilo bits por segundo; (iv) perda de pacotes, percentual de pacotes que são perdidos durante a transmissão, devido a congestionamentos na rede ou a erros no recebimento dos pacotes, provocados pelos ruídos do meio utilizado.

Para se ter um amparo estatístico, os testes foram efetuados de forma repetitiva, sob as mesmas condições, 40 vezes, para que se pudesse ter uma média de comparação aceitável. Nota-se que para ambas as rotinas se estipularam quantidades e tamanhos de pacotes de valores iguais, para que, desta forma, se pudesse realizar uma comparação satisfatória. A partir dos cenários montados e da realização dos testes, foram obtidos resultados que contem os valores de cada métrica aferida, para cada tecnologia de acesso avaliada.

A Figura 5.6 apresenta resultados que ilustram uma parte do que foi aferido, neste caso, foram realizados testes para medição do atraso de pacotes na rede, a linha azul mostra os valores de atraso (em milissegundo) para o PLC e a linha vermelha os valores obtidos para Wi-Max.

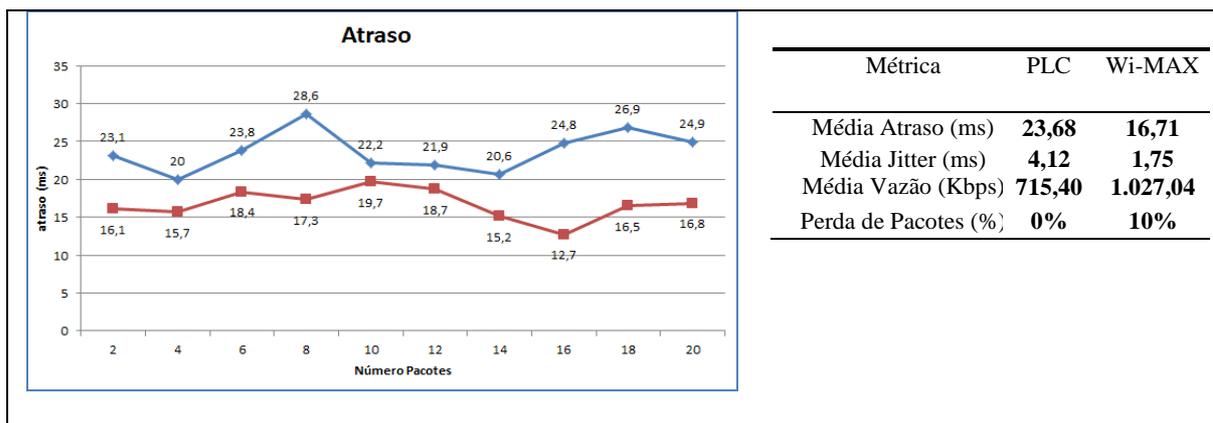


Figura 5.7: Resumo de resultados obtidos com a medição do atraso.

Compararam-se os resultados dos testes realizados com as literaturas do grupo de pesquisa (LPRAD, 2011) e os resultados apresentaram-se satisfatórios. Os valores mostrados na Figura acima são um retrato das aferições realizadas em cenários reais. A partir destes valores aferidos pelo middleware, o sistema pode tomar a decisão sobre qual tecnologia deverá ser utilizada pela aplicação solicitada pelo usuário. Neste caso, como a aplicação Wi-Max apresentou menor media de atraso, esta seria a escolhida para ser utilizada.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou o cenário de testes utilizado para validar a API desenvolvida neste trabalho, sendo apresentada primeiramente a topologia das redes PLC e Wimax utilizadas dentro do campus da UFPA; Em seguida, foi apresentada a aplicação desenvolvida para rodar no middleware Ginga da plataforma Opeinginga. Tal aplicação fez uso da API desenvolvida neste trabalho para acessar as tecnologias de acesso disponíveis no teste; Uma extensão a especificação da plataforma foi adicionada, de maneira a realizar simples teste de rede, baseados na utilização de pacotes ICMP, de modo a possibilitar uma possível seleção de tecnologias; e por fim, na última seção do capítulo é descrito a análise dos resultados obtidos com o teste de rede realizado nas tecnologias.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de componentes para a plataforma Openginga, de modo a oferecer o suporte ao canal de retorno na plataforma. Na validação da API desenvolvida são utilizadas tecnologias de acessos, para ilustrar a tentativa de dar conectividade em regiões tipicamente amazônicas que não possuem uma capacidade infraestrutural privilegiada e também com o objetivo de validar a implementação da API desenvolvida neste trabalho. Pretendeu-se também estabelecer estudos de embasamento técnico, para promover que aplicações TVD garantam, entre outras coisas, a inclusão da população excluída da sociedade da informação.

A escolha de plataformas de TVD se justifica pelo fato de que o serviço de Televisão atinge quase que em sua totalidade o território brasileiro, sendo acessível a todas as classes sociais. Além disso, pelas características da TV, como conteúdo não linear, ou pelas características do dispositivo em questão, que mesmo as populações mais carentes possuem familiaridade de uso, a TV poderia ser uma eficaz ferramenta de apoio à inclusão digital.

Aplicações de TVD interativas podem trazer inúmeros benefícios, como por exemplo: Realização de censos eletrônicos, onde seria possível obter informações instantâneas sobre diversos indicadores da população brasileira; Uso de telefonia IP para baratear custos com ligações; Solicitação de emissão de 2.^a via de documentos, ou certidões negativas emitidas pelo governo eletrônico; Em Educação à distância (EAD), onde os alunos e tutores poderiam interagir de maneira imediata, tornando mais eficaz o processo de aprendizagem; Informativos gerais do Governo, como campanhas de vacinação, e de combate a alguma endemia, como a Dengue.

Mas para que estas alternativas se tornem concretas é necessário uma infraestrutura mínima de acesso, que seja adequada para a execução deste tipo de aplicações. Assim com o desenvolvimento de funcionalidades para a plataforma Openginga, o que se pretende é contribuir com estas estratégias de inclusão digital, fomentando ações nesta diretriz, além de subsidiar trabalhos futuros nesta área.

6.1 CONTRIBUIÇÕES DESTE TRABALHO

As principais contribuições deste trabalho de acordo com os objetivos definidos na introdução estão listadas a seguir:

- Investigação da plataforma Openginga: Um estudo aprofundado da arquitetura, dos componentes e das tecnologias utilizadas na plataforma Openginga teve de ser realizado, uma vez que tal estudo foi fundamental para o desenvolvimento dos componentes FlexCM utilizados neste trabalho;
- Implementação parcial da API Java DTV: A API Java DTV possui diversos módulos e componentes que já estavam parcialmente implementados na plataforma Openginga, como por exemplo, funcionalidades de sintonização de canal, manipulação de dispositivos de exibição de mídia e gerenciamento de aplicativos. Entretanto, o módulo responsável pela manipulação dos dispositivos de rede, onde é feito o processo de setup da conexão, não estava implementada (considerando até o desenvolvimento deste trabalho a versão 0.4.3 da plataforma Openginga). Desta forma, como mencionado anteriormente, a implementação da API Java DTV, especificamente o módulo “com.sun.dtv.net” foi desenvolvida neste trabalho;
- Extensão das funcionalidades de Openginga Common Core: Com o objetivo de complementar as funcionalidades já existentes na plataforma, uma funcionalidade extra foi desenvolvida no sentido de realizar testes de rede utilizando pacotes ICMP para medir maneira simplista o estado da tecnologia de canal de retorno e posteriormente fundamentar uma possível escolha entre um conjunto de tecnologias de acesso disponíveis na plataforma. Foram coletadas métricas de rede para as tecnologias testadas, onde se fez uma comparação entre os resultados obtidos no desenvolvimento do *testbed*;
- Realização de experimentos de validação da API: Com o objetivo de validar o conjunto das APIs desenvolvidas e/ou utilizadas por este trabalho, um testbed foi montado na UFPA, onde um receptor com a plataforma Openginga esteve conectado a

uma rede PLC e a uma rede Wimax dentro do campus da UFPA. No *testbed* foram utilizadas aplicações de TVD interativas, executadas sobre o middleware Ginga (Ginga-J em específico), que utilizam a API implementada por este trabalho;

- Levantamento detalhado de características das tecnologias de acesso diretamente envolvidas nesse trabalho, para conhecimento acerca de suas vantagens, limitações, modos de uso e equipamentos envolvidos. Esta etapa foi fundamental para o desenvolvimento das funcionalidades extras na camada Openginga-CC, já que houve a necessidade da manipulação das interfaces de rede da plataforma;
- Divulgação do Trabalho: Publicação de um artigo realizado na Conferência Ibero-Americana de Internet - CIADIS 2011, como forma de divulgação à comunidade da pesquisa realizada e de seus resultados.

6.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS

As principais dificuldades encontradas na realização do trabalho ocorreram principalmente devido à documentação do projeto Openginga ser limitada, ao não dispor de informações detalhadas sobre o desenvolvimento de novos módulos, baseados no FlexCM. Além disso, a API Java DTV é apenas uma especificação, que precisou ser de fato implementada para de maneira a seguir a norma do SBTVD. Outro fator de dificuldade foi alterar o sistema operacional da plataforma Openginga, de modo que passasse a suportar dispositivos como placas de rede sem fio USB e outros dispositivos utilizados.

6.3 TRABALHOS FUTUROS

A seguir é apresentada uma lista com possíveis trabalhos futuros:

- Implementar de maneira mais abrangente o suporte a tecnologias de acesso na plataforma OpenGinga, desenvolvendo o módulos necessários para as demais tecnologias, que não estavam previstas neste trabalho;
- Testar o uso da API com um número maior de tecnologias de acesso, considerando cenários de testes mais abrangentes;
- Desenvolver um conjunto de aplicativos que possam efetivamente validar a API em caso de uso real, como por exemplo, no uso de Voz sobre IP (VoIP) junto ao SBTVD;
- Utilizar a plataforma OpenGinga, juntamente coma API desenvolvida neste trabalho no projeto de pesquisa (a qual o autor deste trabalho faz parte): “Um framework para desenvolvimento e disponibilização de aplicações interativas para SBTVD: Um estudo de caso em Telesaúde utilizando a infraestrutura de telecomunicações do NavegaPará como canal de retorno”. Este projeto é executado pela UFPA em parceria com a Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) e com a Universidade Federal da Paraíba (UFPB), com o apoio financeiro da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP).
- Aprimorar a funcionalidade de teste do canal de retorno desenvolvida neste trabalho, de maneira a utilizar outras heurísticas para medir ou avaliar o desempenho da rede;
- Desenvolver estudos no sentido de embarcar funcionalidades de seleção de rede diretamente no receptor digital, possivelmente utilizando projetos de set-top-box aberto, isto é, um conjunto de hardware/software com especificações livres, permitindo o desenvolvimento de uma solução de recepção para a TV Digital Brasileira (SBTVD) a um custo acessível.
- Após o termino da implementação, submeter o código desenvolvido ao Ginga CDN para que possa ser reutilizado e testado em outros cenários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR 15601-1 – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Televisão digital terrestre – Sistemas de transmissão”. Sistema Brasileiro de TV Digital terrestre, NBR 15601 Parte 1. 2007. Disponível em: <http://www.dtv.org.br/download/pt-br/ABNTNBR15601_2007Vc_2008.pdf>. Acessado em Janeiro de 2010.
- ABNT NBR 15606-1 – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Codificação de dados e especificações de transmissão para radiodifusão digital Parte 1: Codificação de dados”. Sistema Brasileiro de TV Digital terrestre, NBR 15606 Parte 1. 2010. Disponível em: <http://www.dtv.org.br/download/pt-br/ABNTNBR15606-1_2010Ed2.pdf>. Acessado em Janeiro de 2010.
- ABNT NBR 15606-2 – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Televisão digital terrestre – Codificação de dados e especificações de transmissão para radiodifusão digital Parte 2: Ginga-NCL para receptores fixos e móveis – Linguagem de aplicação XML para codificação de aplicações”. Sistema Brasileiro de TV Digital terrestre, NBR 15606 Parte 2. 2008. Disponível em: <http://www.dtv.org.br/download/pt-br/ABNTNBR15606-2_2011Ed2.pdf>. Acessado em Janeiro de 2010.
- ABNT NBR 15606-3 – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Televisão digital terrestre – Codificação de dados e especificações de transmissão para radiodifusão digital Parte 3: Especificação de transmissão de dados”. Sistema Brasileiro de TV Digital terrestre, NBR 15606 Parte 3. 2007. Disponível em: <http://www.dtv.org.br/download/pt-br/ABNTNBR15606-3_2010Ed2.pdf>. Acessado em Janeiro de 2010.
- ABNT NBR 15606-4 – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Televisão digital terrestre — Codificação de dados e especificações de transmissão para radiodifusão digital Parte 4: Ginga-J - Ambiente para a execução de aplicações procedurais”. Sistema Brasileiro de TV Digital terrestre, NBR 15606 Parte 4. 2010. Disponível em: <http://www.dtv.org.br/download/pt-br/ABNTNBR15606-4_2010Ed1.pdf>. Acessado em Março de 2011.
- ABNT NBR 15606-5 – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Televisão digital terrestre — Codificação de dados e especificações de transmissão para radiodifusão digital Parte 5: Ginga-NCL para receptores portáteis – Linguagem de aplicação XML para codificação de aplicações”. Sistema Brasileiro de TV Digital terrestre, NBR 15606 Parte 5. 2008. Disponível em: <http://www.dtv.org.br/download/pt-br/ABNTNBR15606_2D5_2008Vc2_2009Port.pdf>. Acessado em Setembro de 2011.
- ABNT NBR 15607-1 – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Televisão digital terrestre – Canal de interatividade Parte 1: Protocolos, interfaces físicas e interfaces de software”. Sistema Brasileiro de TV Digital terrestre, NBR 15607 Parte 1. 2008. Disponível em: <http://www.dtv.org.br/download/pt-br/ABNTNBR15607-1_2011Ed2.pdf>. Acessado em Março de 2011.
- ADTB. Zhang, Wenjum et al. *Advanced Digital Television Broadcasting System*. 2001.
- ALMEIDA, Lília; PAULA, Luiza. *O Retrato da Exclusão Digital na Sociedade Brasileira*, Journal of Information Systems and Technology Management. Vol. 2, No. 1, 2005, pp. 55-

- 67, ISSN online: 1807-1775. Disponível em: <<http://www.jistem.fea.usp.br/index.php/jistem/article/download/13/10>>. Acessado em Março de 2010.
- ANDERSON, Richard. et al. Smart Connect: last mile data connectivity for rural health facilities. 2010. Proceedings of the 4th ACM Workshop on Networked Systems for Developing Regions. ACM New York, NY, USA. ISBN: 978-1-4503-0193-0
- ANTONAKOPOULOS, Theodore; PAPANDREOU, Nikolaos. “*Subchannels Allocation on Multiple pDSL Lines*”. Power Line Communications and Its Applications, International Symposium on. 2005.
- ARENAS, D. CALDAS, C.; RAMUNDO, C. VARGAS, S. HOSTOS, L. “*Challenges to expanding Fixed Broadband Services in Latin America*”, White paper, Alcatel Telecommunications, September 2006.
- ATSC A-53. *Advanced Television Systems Committee. A/53: ATSC Digital Television Standard, Parts 1 – 6.* 2003.
- AWARE. “*White Paper: ADSL2 and ADSL2+ - The new ADSL standards*”. 2005. Disponível em: <<http://www.dslprime.com/a/adsl21.pdf>>. Acesso em Janeiro de 2010.
- BARBOSA, S. SOARES, Luiz Fernando. *TV Digital Interativa no Brasil se faz com Ginga: Fundamentos, Padrões, Autoria Declarativa e Usabilidade.* 2008 Em T. Kowaltowski & K. Breitman (orgs). Atualizações em Informática 2008. Rio de Janeiro, RJ: Editora PUC-Rio, 2008. pp.105.174.
- BATES, P.J. “*t-Learning Study, Final Report*”, Disponível em: <<http://www.pjb.com.uk/t-learning/contents.htm>>. Acessado em Janeiro de 2009.
- BHATT, Kavita. BASALL, Hridyesh. KHUNTETA, Ajay. *IEEE802.16g-an overview of architectural and security consideration.* 2011. Proceedings of the International Conference & Workshop on Emerging Trends in Technology. ACM New York, NY, USA ISBN: 978-1-4503-0449-8
- BRENNAND, Edna. Lemos, Guido. *Televisão digital interativa: reflexões, sistemas e padrões.* 2017. Editora Horizonte. ISBN 978-85-99279-07-6.
- BUZATO, Marcelo. *O letramento eletrônico e o uso do computador no ensino de língua estrangeira: o caso Tereza.* 11º Intercâmbio de Pesquisa em Linguística Aplicada. 2001. Disponível em: <<http://planeta.terra.com.br/educacao/mbuzato/articles/inpla.htm>>. Acessado em Dezembro de 2009.
- CÂMARA, Jeferson M. O. Silva, M. F. *Redes sem fio metropolitanas baseadas no padrão 802.16: um estudo de caso para Belém.* 2005. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará – UFPA.
- CPQD. *Painel sobre debate de desafios da TV digital e IPTV.* 2008. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações. Disponível em: <<http://www.cpqd.com.br>>. Acessado em Janeiro de 2009.
- DIBEG, ISDB-T Official Web Site. 2011. Disponível em: <<http://www.dibeg.org/>>. Acessado em Novembro de 2011.
- DISCHINGER, Marcel. et al. *Characterizing residential broadband networks.* 2007. Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement. ACM New York, NY, USA. ISBN: 978-1-59593-908-1.

- DVD. DVD Worldwide. Screen Digest – DVB Reports. 2011. Disponível em: <http://www.dvb.org/about_dvb/dvb_worldwide/index.xml>. Acessado em Novembro de 2011.
- ETSI EM 300 744 v1.12 (1997). “*Digital Video Broadcasting.: Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television*”. European Telecommunications Standards Institute, EN 300 744 v1.12.
- FAUDON, V. VLEESCHAUWER, D. FESTRAETS, E. ROSS, P. “*End-User Services for Broadband uptake in High-Growth Economies*”, White paper, Alcatel Telecommunications, September 2006.
- FIGUEIREDO, Fabrício L. *Fundamentos da Tecnologia Wimax*. 2011. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações. Disponível em: <<http://www.cpqd.com.br>>. Acessado em Setembro de 2011.
- FILHO, Sindolfo et al. 2007. FLEXCM – A Component Model for Adaptive Embedded Systems. In COMPSAC '07 Proceedings of the 31st Annual International Computer Software and Applications Conference - Volume 01.
- Fowler, Dennis. The last mile: making the broadband connection. 2000. netWorker ACM, Inc. Mar 1, 2000.
- GETSCHKO, Demi. Contribuições ao Problema da Última Milha. 2000. Comitê Gestor da Internet no Brasil. Disponível em: <<http://cgi.br/publicacoes/artigos/artigo10.htm>>. Acessado em: Março de 2011.
- GINGA CDN. Ginga Code Development Network. 2011. Disponível em: <<http://gingacdn.javid.ufpb.br>>. Acessado em Maio de 2011.
- GOMES, F. LIMA, J. NEVADO, R. “O Papel Comum como Interface para TV Digital”. ACM International Conference Proceeding Series; Vol. 323. Proceedings of VII Brazilian symposium on Human factors in computing systems. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1298056>>. Acessado em Janeiro de 2009.
- HOOIJEN, O. *A channel model for the residential power circuit used as a digital communications medium*. 1998. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. Vol. 40, No. 4.
- HRASNICA, Halid. HAIDINE, ABDEL FATTEH. Lehnert, Ralf. *Broadband Powerline Communications Networks – Network Design*. 2004. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England. ISBN 0-470-85741-2.
- IBCT. Portal de Notícias do Ministério de Ciência e Tecnologia. 2008. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. Disponível em: <<http://inclusao.ibict.br/index.php>>. Acesso em Janeiro de 2011.
- IBGE, 2009. Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílio. Síntese de Indicadores. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Rio de Janeiro, Brasil, pp. 76-80.
- ISO/IEC 13818-1 (2000). International Organization for Standardization / International Electrotechnical Committee, “Information Technology – Generic coding of movinf pictures and associated audio information – Part 1: Systems”, ISO/IEC 13818-1.
- ISO/IEC 13818-6 (1998). International Organization for Standardization / International Electrotechnical Committee, “Information Technology – Generic coding of movinf pictures and associated audio information – Part 6: Extensions for DSM-CC”, ISO/IEC 13818-6.

- ISO/IEC 14496-3 (2004). International Organization for Standardization / International Electrotechnical Committee, “Information Technology – Coding of Audio-Visual Objects – Part 3: Audio”, ISO/IEC 14496-3.
- ITU-T (2005). “*ITU-T Recommendation G.992.5: Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers - Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2+)*”. Disponível em: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.992.5/en>>. Acesso em Janeiro de 2009.
- JAMHOUR, E. (2007) “*Wi-Max – Worldwide Interoperability for Microwave Access*”, <http://www.ppgia.pucpr.br/~jamhour/Download/pub/Mestrado%202007/WiMax.pdf>. Acessado em Janeiro de 2009.
- JAVA DTV API. *Java DTV API 1.0 Specification. s.l.* : Sun Microsystems, 2008. Disponível em: <<http://java.sun.com/javame/technology/javadtv/>>. Acessado em Setembro de 2010.
- JENSEN, Jens F. *The concept of interactivity -- revisited: four new typologies for a new media landscape*. 2008. Proceeding of the 1st international conference on Designing interactive user experiences for TV and video.
- LAVID, 2011. Laboratório de Aplicações de Vídeo Digital. Acessado em Maio de 2011. Disponível em: <http://www.lavid.ufpb.br/>
- LEITE, Luiz et al. “FlexTV — Uma Proposta de Arquitetura de Middleware para o Sistema Brasileiro de TV Digital”. 2005. Revista de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais - PCS-EPUSP. Disponível em: <<http://www.lavid.ufpb.br/papers/r002a003.pdf>>. Acessado em Janeiro de 2010.
- LEMOS, André. “Anjos Interativos e retribalização do mundo: sobre interatividade e interfaces digitais”. 1997. Disponível em: <<http://www.facom.ufba.br/ciberpesquisa/lemos/interativo.pdf>>. Acessado em Dezembro de 2009.
- LIANG, Yibin. *Multipath Fresnel Zone Routing for Wireless AD Hoc Networks*. 2004. Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. Partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Electrical Engineering
- LISBOA, Diego L. C. Seruffo, M. Francês, Carlos. Costa, João. Souza, Lamartine. Silva, Marcelino, Riu, Jaume. *Avaliação de Desempenho de Tráfego IPTV sobre pDSL - Uma Abordagem baseada em Aferição*. 2007. XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBRT 2007), Recife.
- LPRAD. Laboratório de Planejamento de Redes de Alto Desempenho. 2011. Disponível em: <<http://lprad.ufpa.br>>. Acessado em Novembro 2011.
- MARGALHO, Mauro, FRANCÊS, Renato, COSTA, João. *Canal de Retorno para TV Digital com Interatividade Condicionada por Mecanismo de Sinalização Contínua e Provisionamento de Banda Orientado a QoS*. IEEE Latin American Transactions. Vol. 5. Set, 2007.
- MCDYSAN, E. SPOHN, L. “*ATM - Theory and Application*”, McGraw-Hill Inc., Estados Unidos, 1997.
- MEGRICH, Arnaldo. *Televisão Digital - Princípios e Técnicas*. 2009. Edição 1. Editora Ética. ISBN: 9788536502236
- Meng, H., Guan., Y. L., 2005. *Modeling and Analysis of Noise Effects on Broadband Power-Line Communications*. In IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 20, No. 2.

- MONTEZ, C. BECKER, V. *TV Digital Interativa: Conceitos e Aplicações*, Anais do WebMedia e LA-Web, 2004 - das.ufsc.br.
- OLIVEIRA, Etienne César Ribeiro de. “Avaliação de Protocolos para Redes de Sensores e Redes *Ad Hoc* Aplicados à TV Digital Interativa e Cidades Digitas. 2006. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação do Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense”. Disponível em <http://www.ic.uff.br/~eoliveira/Publicacoes/M.Sc_UFF.pdf>. Acessado em Janeiro de 2009.
- OLSEN, B. et al. “*Technoeconomic Evaluation of the Major Telecommunication Investment Options for European Players*”. 2006. IEEE Network, vol. 20, issue 4, pp.6-15, July/August.
- PAGANI, M., *Multimedia and Interactive Digital TV: Managing the Opportunities Created by Digital Convergence*. 2003. IRM Press.
- PHONEME. *PhoneME Project*. 2011. Disponível em: <<http://java.net/projects/phoneme>>. Acessado em Janeiro de 2011.
- POCHMANN, Mario et al. *Atlas da Exclusão Social no Brasil. Vol. 2. Editora: Cortez*. 2003. 167p.
- POSTEL, J. *Internet Control Message Protocol, In Request for Comments 792*. 1981. Disponível em: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc792.txt>>. Acessado em Maio de 2011.
- PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. *Decreto Número 5.820, de 29 de junho de 2006*. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5820.htm>. Acessando em Janeiro de 2010.
- RNP, *GT Middleware*. Disponível em <<http://www.rnp.br/pd/gts2004-2005/middleware.html>>. Acessado em Janeiro de 2010.
- SARI, H. KARAM, G. JEANCLAUDE, I. “*Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting*”. Telecom Division, Soc. Anonyme de Telecommun, Paris. Communications Magazine, IEEE. ISSN: 0163-6804.
- SUNDAR, S. Shyan, XU, Qian, BELLUR, Saraswathi. *Designing Interactivity in Media Interfaces: A Communications Perspective*. 2010. Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems.
- SBTVD. Fórum do Sistema Brasileiro de TV Digital Terrestre. 2011. Disponível em: <<http://www.forumsbtvd.org.br>>. Acessado em Janeiro de 2011.
- SCHWALB, E. M. “*iTV Handbook. Technologies and Standard*”. Prentice Hall PTR, 2003.
- SELLATHURAI, M.; HAYKIN, S. “A Nonlinear Iterative Beamforming Technique for Wireless Communications”. 1999. IEEE Digital Object Identifier: 10.1109/ACSSC.1999.831851. ISBN: 0-7803-5700-0.
- SERUFFO, Marcos. Planejamento de capacidade e análise de desempenho de tecnologias de acesso para inclusão digital na região amazônica: um estudo de caso em IPTV. 2008. Dissertação de Mestrado.
- SILVA, Helena et al. Inclusão Digital e Educação para a Competência Informacional: uma de ética e cidadania. Revista IBICT, Brasília, v.34, n. 1, p.28-36, Janeiro/Abril 2005.

- SILVA, Lincoln David. Uma Proposta de API para Desenvolvimento de Aplicações Multiusuário e Multidispositivo para TV Digital Utilizando o Middleware Ginga. Departamento de Informática, Universidade Federal da Paraíba. 2008. p. 77, Dissertação (mestrado).
- SILVA, Renan et al. Estimacão de Largura de Banda em Redes PLC. 2008. In Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Rio de Janeiro - RJ. XXVI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações.
- SOARES, Luiz; RODRIGUES, Rogério; MORENO, Márcio. Ginga-NCL: The Declarative Environment of the Brazilian Digital TV System. 2007. In Journal of the Brazilian Computer Society. Porto Alegre, Brasil. No. 1. Vol. 13.
- SOARES, Luiz. Fundamentos de Sistemas Multimídia Parte 1 - Aquisição, Codificação e Exibição de Dados. 2007. Departamento de Informática. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.dbd.puc-rio.br/depto_informatica/07_01_soares.pdf>. Acessado em Setembro de 2011.
- SOARES, Luiz. MAESTRO: The Declarative Middleware Proposal for the SBTVD. 2006. Proceedings of the 4th European Interactive TV Conference. 2006.
- SOUSA, Bruno. PENTIKOUSIS, Kostas. CURADO, Marília. *Evaluation of multimedia services in mobile WiMAX*. 2008. Proceedings of the 7th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia.
- SOUZA FILHO, Guido; LEITE, Luiz; BATISTA, Carlos. *Ginga-J: The Procedural Middleware for the Brazilian Digital TV System*. 2007. In Journal of the Brazilian Computer Society. Porto Alegre, Brasil. No. 4. Vol. 13, pp. 47-56.
- STEINMETZ, Ralf. NAHRSTEDT, Klara. *Multimedia Systems*. 2004. Editora Springer edition 1. (April 28, 2004). ISBN-10: 3540408673.
- STEUER, J. "Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence". Journal of Communication, v.42, n.4, 1992.
- SUN. Oracle Sun. 2011. Disponível em: <<http://www.oracle.com/us/sun/index.htm>>. Acessado em Março de 2011.
- VIRTUALBOX. The Oracle VM VirtualBox Project. Disponível em: <<http://www.oracle.com/us/technologies/virtualization/oraclevm/061976.html>>. Acessado em Março de 2011.
- ZAJC, M. ALIC, K. BATTELINO, I. TASIC, J. "Challenges of Interactive Digital Television for t-Learning", Disponível em: <<http://ldos.fe.uni-lj.si>>. Acessado em Janeiro de 2009.
- ZIMMERMANN, M. DOSERTE, K. "The low voltage power distribution network as last mile access network-signal propagation and noise scenario in the HF-range" In: AEU Int. J. Electron. Common. Vol. 54, No. 1, 2000.