



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
Departamento de Comunicações



ANÁLISE DE TECNOLOGIAS 3G VISANDO À ESTRUTURAÇÃO DO CANAL DE RETORNO DA TV DIGITAL

Autora: Cibeles Abreu Makluf

Orientador: Prof. Dr. Yuzo Iano

Tese de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Área de concentração: **Telecomunicações e Telemática**

Banca Examinadora

Prof. Dr. Yuzo Iano (presidente) — DECOM/FEEC/UNICAMP

Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho — PUC/Campinas

Prof. Dr. Luiz César Martini — DECOM/ FEEC/UNICAMP

Campinas – SP
13/04/2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

| | |
|-------|---|
| M251a | <p>Makluf, Cibebe Abreu</p> <p>Análise de tecnologias 3G visando à estruturação do canal de retorno da TV digital / Cibebe Abreu Makluf. -- Campinas, SP: [s.n.], 2011.</p> <p>Orientador: Yuzo Iano.</p> <p>Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.</p> <p>1. Televisão digital. 2. Interatividade. 3. Inclusão digital. 4. Telefonia celular. I. Iano, Yuzo. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.</p> |
|-------|---|

Título em Inglês: Analysis of 3G technologies for structuration of digital television's return channel

Palavras-chave em Inglês: Digital TV, Interactivity, Digital inclusion, Cellular

Área de concentração: Telecomunicações e Telemática

Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica

Banca examinadora: Omar Carvalho Branquinho, Luiz César Martini

Data da defesa: 13/04/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Elétrica

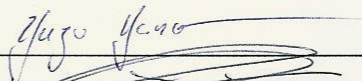
COMISSÃO JULGADORA - TESE DE MESTRADO

Candidata: Cibele Abreu Makluf


Data da Defesa: 13 de abril de 2011

Título da Tese: "Análise de tecnologias 3G visando à estruturação do canal de retorno da TV Digital"

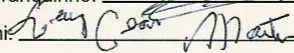
Prof. Dr. Yuzo Iano (Presidente):



Prof. Dr. Omar Carvalho Branguiho:



Prof. Dr. Luiz César Martini:



Resumo

Este trabalho trata da análise das tecnologias de terceira geração (3G) emergentes no mercado, visando uma futura estruturação do canal de retorno da TV digital brasileira recentemente implantada no país.

As tecnologias trabalhadas foram o UMTS (*Universal Mobile Telecommunications Systems*), o WCDMA (*Wide Code Division Mobile Access*) e o HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*). Essas tecnologias oferecem maiores velocidades de transmissão e melhor qualidade de serviço, e vem conquistando cada vez mais usuários por ter valor acessível e boa qualidade de serviço. Esses fatores motivaram um estudo mais detalhado dessas tecnologias, visando à estruturação do canal de retorno da TV digital brasileira, neste momento ainda não implantado.

O estudo dessas tecnologias foi baseado em dois parâmetros de qualidade importantes, que são a latência e a perda de pacotes que serviram de base para uma comparação entre as operadoras que oferecem o serviço 3G no Brasil. A partir dessa análise foi possível determinar a(s) operadora(s) que oferece(m) o serviço com a melhor qualidade e verificar em quais pontos as operadoras podem ser melhoradas.

Palavras-chave: *TV Digital, Canal de Retorno, UMTS, WCDMA, HSDPA.*

Abstract

This work deals with the analysis of technologies for third generation (3G) in the emerging market, seeking a future structure of the return channel of the Brazilian digital TV recently deployed in the country.

Among the 3G technologies can be cited, the UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems), WCDMA (Wide Code Division Mobile Access), HSDPA (High Speed Downlink Packet Access). These technologies offer higher transmission speed and better quality of service, and has been gaining more users to have affordable and good quality service. These factors motivated a more detailed study of these technologies, aiming at structuring the return channel of the Brazilian digital TV, we do not yet deployed.

The study of these technologies was based on two important parameters of quality, that are latency and packet loss which formed the basis for comparison of operators offering 3G service in Brazil. From this analysis it is possible to determine the provider that is providing the service with the best quality and check points at which carries can be improved.

Keywords: *Digital Television, Return Channel, UMTS, WCDMA, HSDPA.*

Dedico este trabalho
à minha mãe, Maria Aparecida
e ao meu pai, Emilio.

O Senhor é meu pastor e nada me faltará.
Deitar-me faz em verdes pastos, guia-me mansamente a águas tranqüilas.
Refrigera a minha alma; guia-me pelas veredas da justiça, por amor do seu nome.
Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte, não temeria mal algum, porque tu
estás comigo; a tua vara e o teu cajado me consolam.
Preparas uma mesa perante mim na presença dos meus inimigos, unges a minha cabeça
com óleo, o meu cálice transborda.
Certamente que a bondade e a misericórdia me seguirão todos os dias da minha vida; e
habitarei na casa do SENHOR por longos dias.

(Salmo 23)

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, fonte de luz e força na minha vida, por estar comigo durante todos os momentos dando força necessária para vencer os grandes obstáculos que são colocados a todo o momento na nossa vida.

A minha mãe, que sempre acreditou que eu seria capaz de vencer meus próprios medos e realizar esse sonho.

Ao meu pai, agora o meu anjo da guarda por me ensinar a lutar até o fim, sem desanimar e reclamar, mantendo sempre um sorriso no rosto.

Aos meus amigos: Renata, Marcos, Dina, Mariane e Fernanda pelo apoio, carinho, amor e paciência em todos os momentos.

Aos meus amigos do laboratório Julio e Thatiane, pelo apoio, paciência, carinho, compreensão, companheirismo. Vocês foram alicerces para a realização desse sonho.

Ao meu orientador, por todo apoio e compreensão.

Aos meus familiares, por todo carinho e pela motivação, e por nunca deixarem que eu me esquecesse o quanto eu sou capaz, e eu posso chegar onde eu quiser.

A FAEPEX/UNICAMP pelo apoio financeiro.

Agradecimentos

Agradeço ao programa CAPES RH-TVD da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior tanto pelo apoio financeiro quanto pelo incentivo acadêmico para que este trabalho pudesse ser realizado.

Sumário

| | |
|--|-------|
| LISTA DE FIGURAS | XXI |
| LISTA DE TABELAS | XXIII |
| LISTA DE ABREVIACÕES | XXV |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS | 3 |
| 1.2 RESUMO DAS CONTRIBUIÇÕES | 4 |
| 1.3 ORGANIZAÇÃO DO PROJETO | 4 |
| CAPÍTULO 2 | 7 |
| SISTEMA BRASILEIRO DE TELEVISÃO DIGITAL | 7 |
| 2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS | 7 |
| 2.2 RESOLUÇÃO DE CANAIS | 9 |
| 2.3 OS PADRÕES EXISTENTES E A ESCOLHA DO PADRÃO BRASILEIRO | 10 |
| 2.4 PADRÃO ISDB-T _B | 11 |
| 2.5 TRANSMISSÃO OFDM | 13 |
| CAPÍTULO 3 | 15 |
| CANAL DE INTERATIVIDADE | 15 |
| 3.1 CANAL DE INTERATIVIDADE | 15 |
| 3.2 SERVIÇOS INTERATIVOS | 20 |
| 3.3 O MIDDLEWARE BRASILEIRO GINGA | 21 |
| 3.3.1 Arquitetura do <i>middleware</i> Ginga | 23 |

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 4 | 29 |
| UMTS | 29 |
| 4.1 INTRODUÇÃO | 29 |
| 4.2 WCDMA | 33 |
| 4.3 ARQUITETURA | 36 |
| 4.4 ARQUITETURA DO PROTOCOLO DA INTERFACE AÉREA UMTS | 38 |
| 4.5 ESTRUTURAS DOS CANAIS UMTS | 41 |
| 4.6 HSDPA | 42 |
| 4.7 PARÂMETROS DE QUALIDADE DE SERVIÇO | 46 |
| 4.8 QUALIDADE DE SERVIÇO NO UMTS | 50 |
| CAPÍTULO 5 | 55 |
| SIMULAÇÃO | 55 |
| 5.1 CAPTURA DE PACOTES | 55 |
| 5.2 REDES SIMULADAS | 56 |
| 5.3 TESTES | 58 |
| 5.4 PROBLEMA ABORDADO | 59 |
| CAPÍTULO 6 | 61 |
| APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS | 61 |
| 6.1 TESTES INDOOR SEM OBSTÁCULO | 63 |
| 6.1.1 Latência | 63 |
| 6.1.2 Perda de Pacotes | 66 |
| 6.2 TESTES INDOOR COM OBSTÁCULO | 68 |
| 6.2.1 Latência | 68 |
| 6.2.2 Perda de pacotes | 71 |
| 6.3 TESTES OUTDOOR | 74 |
| 6.3.1 Latência | 74 |
| 6.3.2 Perda de Pacotes | 76 |
| 6.4 ANÁLISE DOS GRÁFICOS | 78 |
| CONCLUSÕES | 83 |

| | |
|---------------------------------|----|
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 85 |
|---------------------------------|----|

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| FIGURA 2.1 - EXEMPLOS DE ALOCAÇÃO DOS CANAIS NA BANDA DE 6MHz | 10 |
| FIGURA 3.1- DIAGRAMA SIMPLIFICADO DO SISTEMA CANAL DE RETORNO | 16 |
| FIGURA 3.2 – ARQUITETURA DO CANAL DE INTERATIVIDADE | 16 |
| FIGURA 3.3 - APLICAÇÃO EPG UTILIZANDO INTERATIVIDADE LOCAL | 18 |
| FIGURA 3.4 - APLICAÇÃO SMS UTILIZANDO INTERATIVIDADE INTERMITENTE | 19 |
| FIGURA 3.5 - APLICAÇÃO DE E-MAIL COM INTERATIVIDADE PERMANENTE | 20 |
| FIGURA 3.6 - REPRESENTAÇÃO DAS CAMADAS DO SISTEMA DE TV DIGITAL | 22 |
| FIGURA 3.7 - ARQUITETURA DO <i>MIDDLEWARE</i> GINGA | 24 |
| FIGURA 3.8 - CONTEXTO DO GINGA | 25 |
| FIGURA 3.9 - APIS VERMELHA, AMARELA E VERDE DO GINGA-J | 26 |
| FIGURA 3.10 - GINGA <i>COMMON CORE</i> | 27 |
| FIGURA 4.1 - (A) ALOCAÇÃO DE FREQUÊNCIAS NO MODO DE OPERAÇÃO FDD (B) ALOCAÇÃO DE FREQUÊNCIAS NO MODO DE OPERAÇÃO TDD | 35 |
| FIGURA 4.2 - ARQUITETURA DAS REDES UMTS | 37 |
| FIGURA 4.3 - VISÃO MAIS DETALHADA DA UTRAN | 38 |
| FIGURA 4.4 - ARQUITETURA DA INTERFACE AÉREA UMTS | 40 |
| FIGURA 4.5 - ESTRUTURA DOS CANAIS UMTS | 41 |
| FIGURA 4.6 - FAIXA DE LATÊNCIA PERMITIDA | 47 |
| FIGURA 4.7 - EFEITO DO <i>JITTER</i> PARA AS APLICAÇÕES | 48 |
| FIGURA 4.8 - PERDA DE PACOTES PERMITIDA..... | 49 |
| FIGURA 4.9 - <i>BEARER SERVICES</i> | 51 |
| FIGURA 4.10 - COMPONENTES DA ARQUITETURA DE QoS | 53 |
| FIGURA 5.1 - TELA DE CAPTURA DO <i>SOFTWARE WIRESHARK</i> | 55 |
| FIGURA 5.2 - (A) APLICATIVO EM JAVA SERVIDOR (B) APLICATIVO EM JAVA CLIENTE..... | 57 |
| FIGURA 5.3 - DIAGRAMA DO EXPERIMENTO. | 57 |
| FIGURA 6.1- DISTRIBUIÇÃO NORMAL | 63 |
| FIGURA 6.2 - GRÁFICO DA LATÊNCIA PARA O TESTE <i>INDOOR</i> SEM OBSTÁCULO | 64 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 6.3– HISTOGRAMA DE LATÊNCIAS (MS)..... | 65 |
| FIGURA 6.4 - GRÁFICO DA PERDA DE PACOTES PARA TESTES <i>INDOOR</i> - SEM OBSTÁCULO | 66 |
| FIGURA 6.5 – HISTOGRAMAS DE PERDA DE PACOTES (%). | 67 |
| FIGURA 6.6 - GRÁFICO DA LATÊNCIA PARA O TESTE <i>INDOOR</i> COM OBSTÁCULO..... | 69 |
| FIGURA 6.7- HISTOGRAMAS DE LATÊNCIAS (MS) | 70 |
| FIGURA 6.8 - GRÁFICO DE PERDA DE PACOTES PARA TESTES <i>INDOOR</i> COM OBSTÁCULO | 72 |
| FIGURA 6.9- HISTOGRAMAS DE PERDA DE PACOTES (%). | 73 |
| FIGURA 6.10 - GRÁFICO DA LATÊNCIA PARA TESTE <i>OUTDOOR</i> | 74 |
| FIGURA 6.11 – HISTOGRAMAS DE LATÊNCIAS (MS)..... | 75 |
| FIGURA 6.12 - GRÁFICO DE PERDA DE PACOTES PARA TESTES <i>OUTDOOR</i> | 76 |
| FIGURA 6.13 – HISTOGRAMAS DE PERDA DE PACOTES (%). | 77 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| TABELA 4.1 – ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO UMTS | 31 |
| TABELA 4.2 - SERVIÇOS DISPONIBILIZADOS PELO UMTS..... | 32 |
| TABELA 4.3 – PARÂMETROS GERAIS DO PADRÃO UMTS | 32 |
| TABELA 4.4 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA TECNOLOGIA WCDMA | 36 |
| TABELA 4.5 – RESUMO DA ARQUITETURA DA REDE UMTS | 39 |
| TABELA 4.6 – CATEGORIAS HSDPA | 45 |
| TABELA 4.7 - VAZÃO TÍPICA DE APLICAÇÕES EM REDE | 46 |
| TABELA 6.1- MODELO DE TABELA PARA ORGANIZAÇÃO DOS DADOS COLETADOS..... | 62 |
| TABELA 6.2 – LATÊNCIA PARA O TESTE <i>INDOOR</i> SEM OBSTÁCULO..... | 64 |
| TABELA 6.3 – PERDA DE PACOTES PARA O TESTE <i>INDOOR</i> SEM OBSTÁCULO..... | 66 |
| TABELA 6.4 – LATÊNCIA PARA O TESTE <i>INDOOR</i> COM OBSTÁCULO..... | 68 |
| TABELA 6.5 – PERDA DE PACOTES PARA O TESTE <i>INDOOR</i> COM OBSTÁCULO | 71 |
| TABELA 6.6 – LATÊNCIA MÉDIA PARA O TESTE <i>OUTDOOR</i> | 74 |
| TABELA 6.7– PERDA MÉDIA DE PACOTES PARA O TESTE <i>OUTDOOR</i> | 76 |
| TABELA 6.8 - ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA O TESTE <i>INDOOR</i> SEM OBSTÁCULO..... | 78 |
| TABELA 6.9 - ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA O TESTE <i>INDOOR</i> COM OBSTÁCULO..... | 79 |
| TABELA 6.10 - ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA O TESTE <i>OUTDOOR</i> | 80 |

Lista de Abreviações

NTSC – *National Television System Committee*

PAL – *Phase Alternation by Line*

SECAM – *Séquential Couleur à Mémoire*

ATSC – *Advanced Television Systems Committee*

DVB – *Digital Video Broadcasting*

ISDB – *Integrated System Digital Broadcasting*

ISDB-T – *Integrated System Digital Broadcasting-Terrestrial*

SBTVD – *Sistema Brasileiro de Televisão Digital*

UMTS – *Universal Mobile Telecommunications System*

WCDMA – *Wide Band Code Division Multiple Access*

HSDPA – *High Speed Downlink Packet Access*

CD – *Compact Disc*

SDTV – *Standard Definition Television*

EDTV – *Enhanced Definition Television*

HDTV – *High Definition Television*

LDTV – *Low Definition Television*

DVD – *Digital Video Disc*

VSF – *Vestigial Sided Band*

COFDM – *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*

OFDM – *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*

OQAM – *Orthogonal Quadrature Amplitude Modulation*

ISDB-Tb – *Integrated System Digital Broadcasting - Terrestrial type B*

MPEG – *Moving Picture Experts Group*

AAC – *Advanced Audio Coding*

HD – *High Definition*

ISI – *Intersymbol Interference*

IFFT – *Inverse Fast Fourier Transform*

FFT – *Fast Fourier Transform*

EPG – *Electronic Program Guides*

SMS – *Short Message Service*

ARIB – *Association of Radio Industries and Businesses*

PUC-RIO – *Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro*

UFPB – *Universidade Federal da Paraíba*

CC – *Common Core*

IP – *Internet Protocol*

API – *Application Programming Interface*

GEM – *Globally Executable MHP-Multimedia Home Platform*

ITU – *International Telecommunication Union*

CDMA – *Code Division Multiple Access*

TDMA – *Time Division Multiple Access*

QoS – *Quality of Service*

TDD – *Time Division Duplex*

FDD – *Frequency Division Duplex*

IMT-2000 – *International Mobile Telecommunications-2000*

SS – *Spread Spectrum*

DS – *Direct Sequence*

FH – *Frequency Hop*

RF – *Radio Frequency*

UE – *User Equipment*

CN – *Core Network*

UTRAN – *Universal Terrestrial Radio Access Network*

RNC – *Radio Network Controller*

USIM – *User Service Identity Module*

GSM – *Global System for Mobile communications*

GPRS – *General Packet Radio Service*

MSC – *Mobile Service Switching Centre*

VLR – *Visitor Location Register*

GGSN – *Gateway GPRS Support Node*

SGSN – *Serving GPRS Support Node*

BS – *Base Station*

HLR – *Home Location Register*

AUC – *Authentication Center*

EIR – *Equipment Identity Register*

IMEI – *International Mobile Equipment Identity*

RRC – *Radio Resource Control*

MAC – *Media Access Control*

RLC – *Radio Link Control*

PDCP – *Packet Data Convergence Protocol*

BMC – *Broadcast/Multicast Control*

CBS – *Cell Broadcast Service*

FEC – *Forward Error Correction*

BCCH – *Broadcast Control Channel*

PCCH – *Paging Control Channel*

CCCH – *Common Control Channel*

DCCH – *Dedicated Control Channel*

CTCH – *Common Traffic Channel*

DTCH – *Dedicated Traffic Channel*

BCH – *Broadcast Channel*

FACH – *Forward Access Channel*

PCH – *Paging Channel*

RACH – *Random Access Channel*

DCH – *Dedicated Channel*

E-DCH – *Enhanced-Dedicated Channel*

AMC – *Adaptive Modulation and Coding*

MIMO – *Multiple-Input Multiple-Output*

QAM – *Quadrature Amplitude Modulation*

QPSK – *Quadrature Phase Shift Keying*

ARQ – *Automatic Repeat Request*

HARQ – *Hybrid Automatic Repeat Request*

HS-DSCH – *High Speed Downlink Shared Channel*

HS-PDSCH – *High Speed Physical Downlink Shared Channel*

HS-PSCCH – *High Speed Physical Shared Control Channel*

HS-DPCCH – *High Speed Dedicated Physical Control Channel*

HS-SCCH – *Shared Control Channel*

AMC – *Adaptive Modulation and Coding*

Ginga-J – *Ginga-Java*

Ginga-NCL – *Ginga-Nested Context Language*

NRZ – *Non Return to Zero*

SLA – *Service Level Agreement*

WAN – *Wide Area Network*

SAP – *System Analysis and Program development*

SDU – *Service Data Unit*

TE – *Terminal Equipment*

MT – *Mobile Terminal*

ACK – *Acknowledge*

PAD – *Portable Application Description*

PDA – *Personal Digital Assistant*

MSS – *Mobile Satellite Service*

ITC – *Intervalo de Tempo de Canal*

TS – *Time Slot*

GR – *Gerente de Recurso*

CT – *Condicionador de Tráfego*

TTI – *Transmission Time Interval*

TCP – *Transmission Control Protocol*

UDP – *User Datagrama Protocol*

SFN – *Single Frequency Network*

TV – *Televisão; Television*

Pixels – *picture elements*

H.264 – *MPEG-4 Part 10 or AVC - Advanced Video Coding*

Capítulo 1

Introdução

A primeira transmissão de sinal de televisão ocorreu em meados da década de 20. Desde então, os sistemas de TV têm proporcionado um dos tipos de entretenimento e de fonte de informações mais acessados pela maioria da população em todo o mundo, atingindo todas as camadas da sociedade.

Ao longo de todo esse período que abrange desde o início das primeiras transmissões até os dias de hoje, pode-se identificar marcos importantes referentes ao desenvolvimento das técnicas televisivas. Primeiramente, na segunda década do século XX, pode-se citar o surgimento da televisão empregando técnicas basicamente mecânicas. Em 1930 pode-se considerar a transição das técnicas mecânicas para eletrônicas. Após a segunda guerra mundial, outro marco de grande importância foi a padronização dos processos televisivos (ainda monocromáticos) visando atingir o público em geral. Em torno de 1954, tem-se o advento da televisão cromática. Esses sistemas de televisão em cores utilizam técnicas analógicas para a transmissão de imagens. Os estudos e desenvolvimentos continuaram buscando melhor desempenho e robustez de equipamentos para a transmissão e recepção. Surge então a idéia de fundir a eletrônica digital com as técnicas televisivas de modo prático oferecendo uma televisão de alta qualidade [62].

A idéia de TV digital foi bem aceita, já que comparada com os sistemas convencionais adotados até então, NTSC (*National Television System Committee*), PAL (*Phase Alternation by Line*),

SECAM (*Séquentiel Couleur à Mémoire*) apresentou muitas vantagens, dentre elas a alta qualidade de imagem e som, além de diversidade de programação e interatividade. Essa mudança representa também novos negócios para as emissoras bem como uma maior perspectiva de movimentação no comércio eletrônico.

Somente em meados da década de 90, os grandes centros tecnológicos nos Estados Unidos, Europa e Japão empenharam-se nos estudos e concentraram esforços para o desenvolvimento da TV digital. Considerando-se a grande diversidade de soluções tecnológicas que podiam ser adotadas para se implementar um sistema de televisão digital, esses centros tecnológicos desenvolveram, cada qual, o seu padrão para a televisão digital, buscando os mesmos objetivos que é a qualidade da imagem e som. São esses os sistemas propostos e adotados nesses países: ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) ou padrão americano, DVB (*Digital Video Broadcasting*) ou padrão europeu e ISDB (*Integrated System Digital Broadcasting*) ou padrão japonês.

No Brasil, as discussões e estudos sobre o formato digital iniciaram-se no fim da década de 90. Essas pesquisas centravam-se no estudo dos padrões já existentes, a fim de traçar um comparativo entre eles, determinando dessa forma qual desses padrões se adequaria melhor à proposta de TV digital brasileira. Baseando-se nos estudos realizados, o governo brasileiro escolheu o padrão japonês terrestre, ISDB-T (*Integrated System Digital Broadcasting - Terrestrial*), como base, por atender melhor às necessidades de recepção, mobilidade e portabilidade sem custo para o consumidor, possibilitando também a transmissão em alta definição, a transmissão em multiprogramação e a interatividade.

Para que esse padrão satisfizesse a proposta brasileira, foram acrescentadas tecnologias desenvolvidas por universidades, sendo que o padrão foi chamado de nipo-brasileiro ou SBTVD (Sistema Brasileiro de Televisão Digital). Dentre essas tecnologias desenvolvidas pode-se citar o middleware Ginga para interatividade. Além disso, o padrão de compressão adotado é o H.264 (ITU-T H.264 *standard* or ISO/IEC MPEG-4 AVC *standard* ou formalmente, ISO/IEC 14496-10 - MPEG-4 Part 10, *Advanced Video Coding*). O trem de pulsos (*streaming*) continua sendo o MPEG-2 que é o padrão de compressão e formatação adotado pelos sistemas americano, europeu e japonês. Na verdade, o sistema japonês adota o H.264 apenas para a transmissão e recepção

móvel realizada por meio de um dos 13 segmentos disponíveis na faixa, denominado 1-Seg. Os outros 12 segmentos podem levar um sinal HDTV ou dois programas diferentes. Esse sistema nipo brasileiro foi denominado ISDB-TB (*Integrated System Digital Broadcasting - Terrestrial, type B*).

Paralelo ao desenvolvimento e expansão da TV digital brasileira, as tecnologias sem fio de 3ª geração para telefones celulares, UMTS, W-CDMA e HSDPA, ganham seu espaço conquistando cada vez mais adeptos, isso conseguido através das facilidades que disponibilizam aos usuários. Como atrativo dessas tecnologias podem-se destacar as altas velocidades de transmissão e *download*, conexão à *internet* através de *modems*, dentre outras.

1.1 Motivação e objetivos

Após o início da recente implantação do sistema brasileiro de televisão, o governo empenha-se no incentivo aos centros de pesquisa, para que se tenha cada vez mais um sistema de televisão digital brasileiro com alta qualidade e que esteja disponível a todas as classes sociais.

Esse trabalho tem como objetivo um estudo das tecnologias sem fio 3G (UMTS e HSPDA), verificando fatores importantes como latência e perda de pacotes. Tendo por base esses resultados, pode-se fazer uma comparação entre as operadoras que disponibilizam esse tipo de serviço e definir se essa tecnologia traz ou não vantagens para a estruturação do canal de retorno da TV digital que ainda se encontra em desenvolvimento em nosso país.

A motivação pela escolha desse tipo de tecnologia foi devida às diversas vantagens que vêm disponibilizando, e pelo fato de que essa tecnologia tem conquistado muitos adeptos por todo o país. Pode-se destacar entre essas vantagens, uma maior taxa de transmissão de dados, melhor qualidade dos serviços de voz, além da possibilidade de conexão com a *internet* e velocidades comparáveis à banda larga convencional de um computador ou *laptop* utilizando *modems* ou cartões de dados e ainda a mobilidade disponibilizada por esse padrão.

1.2 Resumo das contribuições

As principais contribuições desta dissertação são:

- Estudo de conceitos do sistema brasileiro de TV digital.
- Estudo de especificações dos padrões de 3ª geração de telefonia celular.
- Práticas utilizando os padrões 3G, UMTS e HSPDA, utilizando o envio de pacotes em tempo real.
- Levantamentos dos parâmetros de qualidade de serviço para padrões estudados, por meio de um *software* de análise de pacotes.

1.3 Organização do projeto

A dissertação está organizada da seguinte forma:

No capítulo 1, a introdução se refere a um breve histórico sobre o surgimento dos padrões de TV digitais existentes atualmente.

No capítulo 2, são apresentados os padrões digitais existentes, bem como os requisitos utilizados para a escolha do padrão digital utilizado na implantação da TV digital no Brasil. Nesse capítulo, focam-se também as características gerais da TV digital no Brasil, bem como a modulação utilizada.

No capítulo 3, é abordado o canal de interatividade, mostrando os tipos existentes, os serviços que podem ser disponibilizados por meio da utilização do mesmo, e o *middleware* de interatividade Ginga.

No capítulo 4, o padrão UMTS, é descrito. É focada sua arquitetura, a arquitetura de interface aérea, a estruturas de canais, bem como a descrição do WCDMA e de sua evolução, HSDPA. Abordam-se também os parâmetros de qualidade de serviço existentes e a visão sobre a qualidade de serviço no UMTS.

No capítulo 5, o experimento é descrito, bem como o *software* utilizado para a captura de pacotes, as redes simuladas, a descrição dos testes e o problema abordado.

No capítulo 6, tem-se a análise dos resultados, onde são mostrados os resultados dos testes.

No capítulo 7, têm-se as conclusões sobre os experimentos.

Capítulo 2

Sistema Brasileiro de Televisão Digital

2.1 Características Gerais

A televisão digital no Brasil chegou trazendo a expectativa de uma imagem de alta definição e áudio de melhor qualidade. Além disso, o grande objetivo é que ela seja um meio de promoção da inclusão social e uma ferramenta para a democratização da informação [9].

Outro ponto importante da inclusão digital e social, e que se torna um grande desafio para o governo, é a inclusão dos deficientes visuais e auditivos. Essa parcela da população necessita de uma maior atenção, para que também possam desfrutar de todas as vantagens trazidas por essa nova tecnologia, a fim de facilitar seu convívio, proporcionando uma melhor qualidade de vida. Haveria necessidade de programações especiais, teclados, celulares e controles remotos adaptados, entre outros.

Essa nova tecnologia permite uma imagem sem fantasmas ou chuviscos e um som comparável ao de um CD (*Compact Disc*). Para que uma televisão analógica receba o sinal digital de alta definição é necessário um equipamento conversor conhecido como *set top box*. Há também os novos televisores que vem com esse equipamento embutido. É importante salientar

que o preço dos conversores e dos novos televisores digitais ainda é alto, dificultando o acesso a todas as camadas da população. Devido a isso, há investimentos por parte do governo, para que ocorra um barateamento desses aparelhos para que possa ser alcançado um dos objetivos principais da implantação da televisão digital, ou seja, a inclusão social e digital. [10] [12]

De imediato, a TV digital não chega com o seu maior atrativo e diferencial em relação à TV analógica, que é a interatividade. Essa interatividade proposta permitirá aos usuários uma interação usando um sistema de TV, ou seja, transformará o telespectador, que até então tem um comportamento passivo em relação ao que é exibido na TV, em usuário ativo, podendo realizar escolhas navegando pela programação e enviando informações [11].

Além disso, há uma vasta lista de serviços que a interatividade da televisão digital pretende oferecer, como: *t-commerce* (comércio eletrônico via televisão), *t-banking* (serviços bancários via televisão), troca de mensagens eletrônicas (*e-mail*) e o *t-gov* (governo eletrônico via televisão). Isso, sem contar os benefícios na área de educação, que permitiriam que alunos e professores tenham intervenção total no conteúdo, aumentando assim a inserção democrática nos meios de comunicação de todos os cidadãos e também a criação de uma rede universal de educação à distância [12] [13].

Para permitir essa interatividade entre os usuários e a TV, foi criado um *software* de interatividade, que nada mais é que um *middleware*, denominado de Ginga. Ele foi desenvolvido no Brasil e graças a ele o padrão digital adotado no Brasil ficou conhecido como nipo-brasileiro, já que o padrão escolhido foi o japonês, acrescido dessa tecnologia desenvolvida no Brasil. Ele foi projetado para executar aplicações que usam a TV e outros dispositivos como celular, computador e rede de *internet* [10].

Outro ponto importante também que a TV digital oferece é a diversidade de programação. É possível combinar quatro resoluções: SDTV (*Standard Definition Television*), o EDTV (*Enhanced Definition Television*) e o HDTV (*High Definition Television*) e o LDTV (*Low Definition Television*). Utilizando uma combinação desses formatos é possível fazer um melhor uso dos espectros. Essa possibilidade de multiprogramação permite às emissoras transmitirem mais de um programa simultaneamente ou, por exemplo, diferentes tomadas da mesma cena de

forma que o telespectador escolha a que preferir. Devido a essas resoluções torna-se possível, em princípio, transmitir até quatro canais simultaneamente em SDTV, por exemplo [2] [10].

Porém, para que seja alcançado o sucesso proposto, há a necessidade de um trabalho em conjunto das emissoras, fabricantes de equipamentos, produtores de *softwares* e do governo, para que a TV digital no Brasil realmente funcione trazendo a interatividade, multiprogramação e uma imagem e áudio de qualidade.

2.2 Resolução de Canais

Conforme comentado acima a TV digital conta com quatro resoluções possíveis: SDTV, EDTV, HDTV e o LDTV.

O SDTV possui uma resolução praticamente igual a das obtidas nos padrões analógicos, sendo um pouco melhor que essa, mas utiliza técnicas de compressão digital que ocupa uma parcela muito menor do espectro. Esse formato é empregado pelas operadoras de TV por assinatura via satélite e em DVD's (*Digital Video Disc*). Ele possui formato de 480 linhas com 640 *pixels* (*picture elements*) por linha, resultando em uma relação de aspecto (razão largura/altura da tela) de 4:3.

Já o EDTV é visto como um intermediário entre o SDTV e o HDTV. Possui uma boa definição de imagem, porém sem ocupar a banda toda disponível. Esse formato possui 720 linhas, cada uma com 1280 *pixels*, o que resulta em uma relação de aspecto de 16:9, mais próxima daquela mesma empregada em cinemas.

O HDTV utiliza uma imagem de resolução altíssima, ocupando, portanto quase toda banda do canal de 6 MHz disponível. Esse formato possui 1080 linhas, cada uma com 1920 *pixels*, resultando numa relação de aspecto de 16:9.

O LDTV utiliza uma baixíssima resolução, menor até que nos padrões analógicos, e será utilizada na transmissão em aparelhos móveis, como celulares, por exemplo. Esse formato possui 240 linhas, cada uma com 320 *pixels*, resultando, portanto em uma relação de aspecto de 4:3.

Na Figura 2.1 temos um exemplo de alocação da banda de 6 MHz utilizando as combinações dos formatos, assumindo o uso da compressão de vídeo H.264 [14][45][46].

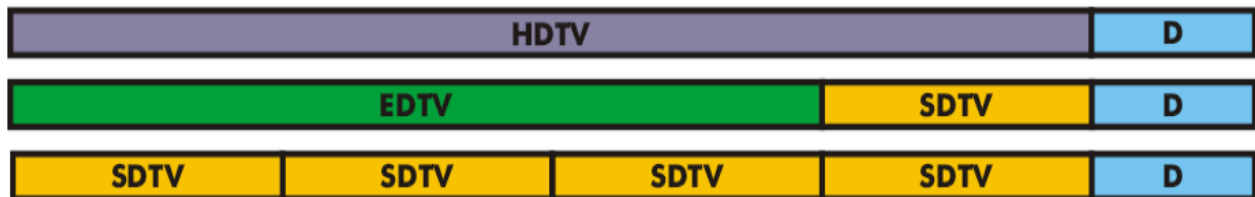


Figura 2.1 - Exemplos de alocação dos canais na banda de 6MHz [14]

Na figura, o campo D, em azul é destinado à transmissão de dados para o usuário. Nessa parcela do espectro ocorre a interatividade do usuário com a programação, ou ainda o acesso à *internet* por meio de um receptor digital [14].

2.3 Os padrões existentes e a escolha do padrão brasileiro

Até o momento, os padrões de televisão digital que foram desenvolvidos são quatro: o ATSC nos Estados Unidos, o DVB-T na Europa, o ISDB no Japão e o DMB-T na China.

O padrão ATSC foi o primeiro padrão digital a ser proposto. Foi desenvolvido pelos americanos visando uma digitalização em alta definição (HDTV). A modulação de transmissão utilizada é a 8-VSB (*Vestigial Sided-Band*), sendo essa utilizada também nas transmissões analógicas. A interatividade nesse padrão é limitada, contemplando principalmente o comércio eletrônico. Não possui recursos relacionados com mobilidade e portabilidade [1] [2].

Já o padrão europeu, denominado de DVB-T, se apresenta bem flexível, a fim de atender às particularidades de cada país. Usa a modulação COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Há maiores possibilidades de interatividade e de programação múltipla em cada canal, comparado ao padrão americano, além de possuir alguns recursos de mobilidade [1] [3].

O padrão ISDB-T, desenvolvido pelos japoneses, é considerado o mais avançado de todos os propostos até hoje, pelo ponto de vista da tecnologia adotada e do desempenho. Utiliza a modulação de transmissão OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) oferecendo mobilidade, portabilidade e alta definição. Além disso, disponibiliza um recurso que permite a transmissão simultânea de vários serviços [1].

O padrão chinês, conhecido como DMB-T, utilizou vários conceitos propostos nos demais padrões, focando principalmente o uso dessa tecnologia em aparelhos celulares. Emprega o esquema de modulação OQAM (*Orthogonal Quadrature Amplitude Modulation*), semelhante ao utilizado pelos americanos, pois os dois tipos de modulação possuem um sistema de portadoras únicas [1].

O governo brasileiro fez um estudo detalhado de cada um dos padrões existentes à exceção do chinês (ele foi proposto posteriormente ao sistema SBTVD) e adotou o padrão japonês como o padrão base para implantação do sistema digital no Brasil, principalmente pelo fato de ele oferecer os serviços de portabilidade e mobilidade. Mais estudos estão sendo realizados no Brasil para que outras tecnologias sejam agregadas a esse padrão.

2.4 Padrão ISDB-T_B

O padrão escolhido como base para a implantação do sistema brasileiro de televisão digital como visto anteriormente, foi o padrão japonês, conhecido como ISDB-T. Mediante as necessidades brasileiras esse padrão foi adaptado, onde foram acrescentadas tecnologias desenvolvidas aqui, sendo devido a isso chamado de padrão ISDB-T_B (*Integrated System Digital Broadcasting - Terrestrial type B*).

Após a escolha do padrão base, foram feitas modificações principalmente na camada de compressão e na camada de *middleware*. Houve, portanto, a substituição do formato de compressão MPEG – 2 (*Moving Picture Experts Group*) para o MPEG – 4 e a escolha do padrão de vídeo H.264 ou MPEG – 4 parte 10. Para áudio MPEG-4 AAC (*Advanced Audio Coding*) 2.0 ou 5.1 canais, dependendo do programa produzido.

O sistema digital brasileiro optou pelo H.264, por ser uma técnica de compressão de vídeo mais recente e mais eficiente. Com essa técnica de compressão de vídeo, é possível manter a qualidade de imagem, porém reduzindo sensivelmente a taxa de *bits*. Esse ganho de desempenho de compressão resulta em um uso mais eficiente do espectro. A capacidade do canal permite, devido ao uso da codificação H.264 que até dois canais em HD (*High Definition*) sejam transmitidos (multiprogramação), com a mesma qualidade possível em um canal HD em MPEG-2. Também é possível à emissora transmitir mais de três programas diferentes em resolução padrão (720x480 *pixels*), semelhantes ao DVD. Outras resoluções, também seriam possíveis, como por exemplo, 1280x720 com varredura progressiva (720p).

Com relação ao *middleware*, o Brasil desenvolveu um *middleware* aberto denominado Ginga, destinado a prover a interatividade da televisão digital. Foi adotado como técnica de transmissão o COFDM, uma evolução do OFDM, com a finalidade de aumentar a robustez do sistema.

Em relação à camada física o SBTVD mantém a mesma camada apresentada no padrão ISDB-T, sendo que embora seja bem mais complexa que nos demais padrões, ela apresenta maior flexibilidade tanto para emissoras quanto para telespectadores.

Em relação à codificação do canal também é mantido o código *Reed Solomon*, utilizado no padrão ISDB-T. Nesse tipo de codificação, são inseridos 16 *bytes* a cada pacote de 188 *bytes*, possuindo uma capacidade de correção igual a 8 *bytes*. Como código interno, utiliza-se um código convolucional puncionado, que permite operar nas taxas de codificação de $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{7}{8}$. É utilizado também um entrelaçador convolucional de *bytes* como entrelaçador externo e dois entrelaçadores de *bits*, sendo um no domínio do tempo e outro no domínio da frequência, o que garante ao padrão um desempenho superior frente aos ruídos impulsivos comparado aos demais padrões existentes [46].

2.5 Transmissão OFDM

O padrão ISDB-T, adotado como base para a implantação da TV digital no Brasil, utiliza a técnica de transmissão conhecida como OFDM.

Nessa técnica, os *bits* a serem transmitidos são divididos em vários *streams* de taxa menor, diferentemente das técnicas tradicionais onde os *bits* eram transmitidos em um único *stream*. Isso torna o tempo de cada símbolo maior e como consequência, o sinal fica menos sensível a ruídos, à multiplicidade de caminhos e à interferência intersimbólica (ISI-*Intersymbol Interference*). Essa técnica utiliza o conceito de ortogonalidade entre as portadoras, conseguido através do espaçamento de frequências adotado, evitando assim a sobreposição dos espectros e uma economia significativa de banda [5] [6].

Para o processo de modulação e demodulação, usados para implementação do OFDM, os complexos e caros bancos de osciladores foram substituídos por uma técnica simples e eficiente, utilizando o algoritmo de IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) e FFT (*Fast Fourier Transform*), respectivamente [8].

Uma característica importante desse tipo de transmissão é a inserção de um intervalo de guarda, que nada mais é que uma extensão cíclica do símbolo OFDM. O intervalo de guarda pode ser configurado para $T/4$, $T/8$, $T/16$, $T/32$ onde T é a duração do símbolo. Ele é utilizado para absorver os problemas que estejam relacionados às interferências intersimbólicas (ISI). Dessa forma quanto maior for o tempo de guarda, maior é a robustez frente aos múltiplos percursos e menor a vazão do sistema. É importante ressaltar que se a dispersão temporal do canal for maior que o intervalo de guarda, ele perde sua função [6] [7] [46].

Para a cobertura do território, pode haver a necessidade de se instalar *gap-fillers* (retransmissores locais) a fim de se atender as áreas de sombra. Técnicas de SFN podem ser usadas nesse padrão.

Para os sistemas de TV digital, utiliza-se o COFDM, que é uma evolução do OFDM. Para aumentar a robustez do sistema, são utilizados códigos corretores de erro como *Viterbi*, *Turbo Code*, entre outros. Devido à ortogonalidade das portadoras, o sistema é dividido em N subsistemas independentes, fazendo que o sistema fique mais imune ao desvanecimento

seletivo, já que a largura da faixa se torna menor do que a banda de coerência do canal. A técnica de entrelaçamento dos símbolos antes mesmo de serem mapeados em *stream* de dados, também é uma importante característica desse sistema, pois evita os erros em rajada [7].

No entanto, se o número de portadoras for muito alto, esse sistema não se torna tão eficiente, pois haverá um aumento na complexidade de geração e detecção dos símbolos, aumentando as exigências de sincronismo, estabilidade de fase e frequência e de amplificação [7].

Após essa breve descrição sobre as principais características, técnicas e padrão adotado no sistema brasileiro de TV digital, o capítulo 3 traz uma descrição sobre o canal de interatividade, importante ponto e que ainda está em desenvolvimento na televisão digital brasileira.

Capítulo 3

Canal de Interatividade

3.1 Canal de interatividade

O canal de interatividade nada mais é que um meio que possibilita ao usuário, individualmente, interagir encaminhando ou recebendo informações e solicitações das emissoras/programadoras como: provedor de conteúdo, provedor de serviço/aplicações, provedor de interatividade, provedor de rede, programador, distribuidor, outros usuários. Ele é constituído pela interconexão das redes de televisão com as redes de telecomunicação, resultando em dois canais de comunicação: canal de descida e o canal de retorno [19].

O canal de descida estabelece a comunicação no sentido emissoras/programadoras para os usuários, sendo constituído pelos canais de radiodifusão, podendo ter uma comunicação *broadcast* (ponto-multiponto), aberta e disponível a todos os usuários ou *unicast* (ponto a ponto) individualizada. Já o canal de retorno estabelece a comunicação no sentido dos usuários para as emissoras/programadoras, e é composto por qualquer tecnologia de redes de acesso que estabeleça essa ligação. Desse modo, pode ocorrer a transferência e troca de dados, de ambos os lados, permitindo assim a interatividade [19].

A Figura 3.1 mostra um diagrama simplificado dos canais.

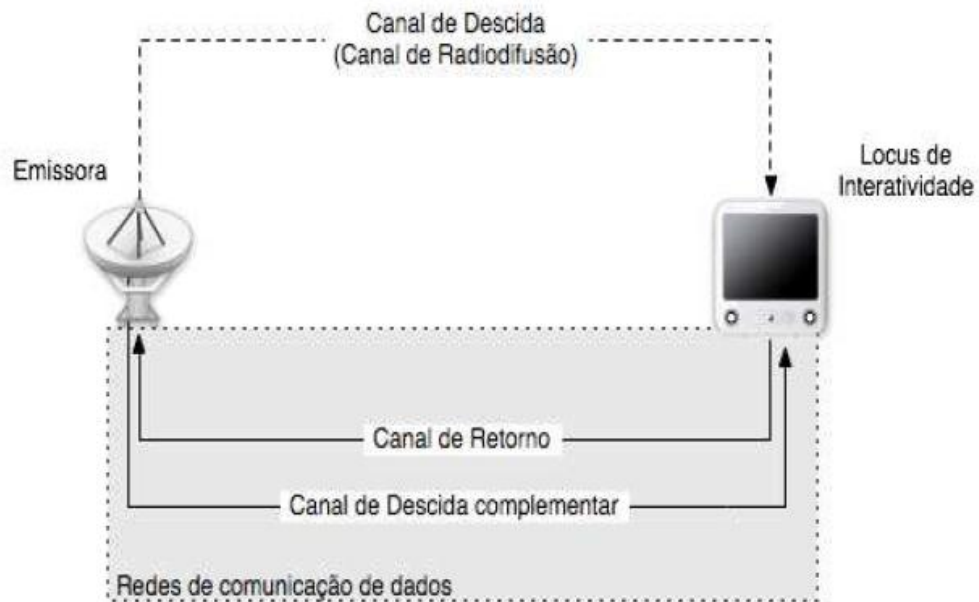


Figura 3.1- Diagrama simplificado do sistema canal de retorno [65]

A Figura 3.2 representa o mesmo canal de interatividade apresentando seus vários subsistemas.

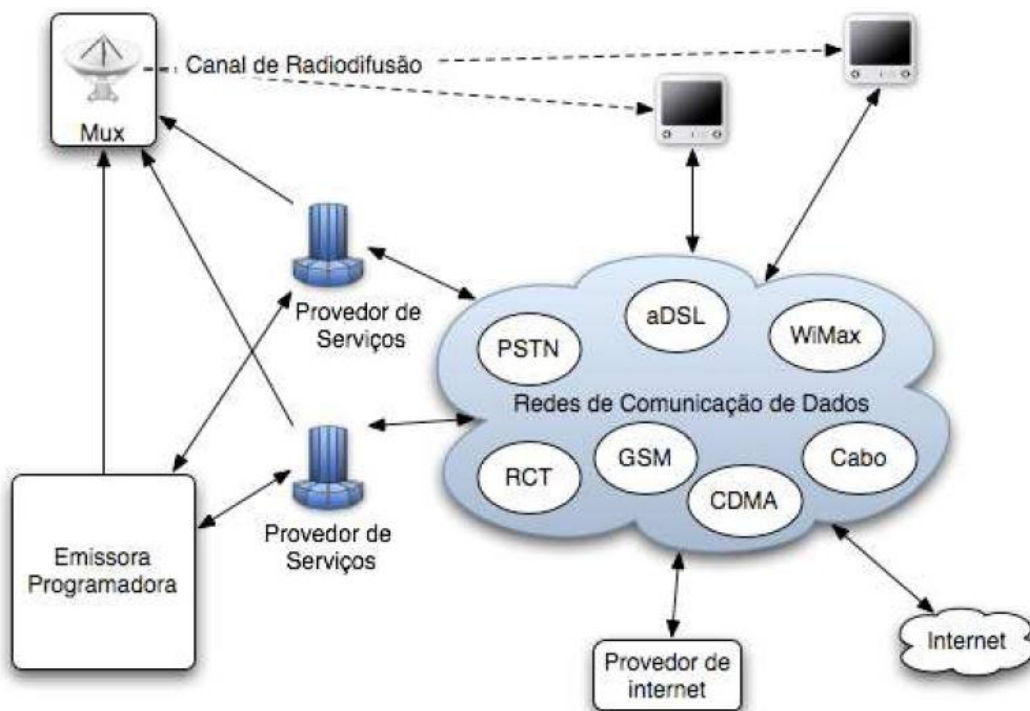


Figura 3.2 – Arquitetura do Canal de Interatividade [65]

Uma das características importantes da arquitetura citada é a diversidade de alternativas tecnológicas para a implementação do acesso ao canal de retorno. Essa diversidade é muito importante porque oferece soluções para dificuldades técnicas, otimização de recursos e exigências distintas em adequação aos diferentes cenários geográficos, populacionais, socioeconômico e de redes de comunicação. Essas tecnologias não são excludentes, admitindo, inclusive, que novas tecnologias sejam agregadas em complementaridade [65].

Fazendo uma análise sobre um ponto de vista técnico, o grau de interação do usuário com as aplicações, serviços e conteúdos interativos podem ser divididos em três categorias: local, intermitente e permanente.

A interatividade local é a mais básica das três categorias. O difusor é composto pelo provedor de serviço de difusão, que gera o sinal dos programas de televisão para que o canal de difusão transmita os fluxos de áudio e vídeo unidirecionalmente para o receptor doméstico. A antena doméstica recebe esses fluxos, enquanto o receptor digital fica responsável pelo armazenamento, ou seja, pelas aplicações que estão sendo executadas e, que permitem ao telespectador a interação propriamente dita. Porém, o telespectador não consegue realizar o envio de dados em direção ao emissor, pois não possui um canal de retorno no receptor digital. As informações enviadas pelo difusor são de caráter geral para todos os telespectadores. Como exemplos de aplicações para esse nível de interatividade pode-se citar a configuração de legendas, jogos residentes, guias de programação EPGs (*Electronic Program Guides*), entre outros. A Figura 3.3 mostra um exemplo de tela de EPG, ilustrando um guia de televisão que disponibiliza ao usuário uma programação precisa de cada emissora associado ao gênero, horário, duração, entre outros [15] [20].



Figura 3.3 - Aplicação EPG utilizando interatividade local [15]

Já na interatividade intermitente ou remota unidirecional, algumas mudanças significativas são realizadas, de forma que, nessa categoria, a comunicação do usuário em direção ao difusor seja possível. O difusor apresenta, além do provedor do serviço de difusão, outro provedor denominado provedor de serviço de interação. O provedor do serviço de difusão continua gerando o sinal dos programas de televisão para que o canal de difusão unidirecional transmita os fluxos de áudio e vídeo para o receptor doméstico. A antena doméstica também continua exercendo a função de receptora dos fluxos de áudio e vídeo. O receptor digital apresenta uma mudança significativa para o aumento da interatividade: um canal de retorno. Esse canal permite que o telespectador transmita fluxos de dados ao difusor, que trata esses fluxos no provedor de serviço de interação. Porém, o canal de interação é unidirecional, de forma que o difusor não consegue enviar respostas ao telespectador. Por isso, o canal de retorno é considerado não-dedicado. Como exemplo dessa interatividade, pode-se citar, as aplicações como votação, pesquisa de opinião, *quiz*, entre outros, onde o usuário envia uma informação, mas não espera nenhuma resposta pelo canal de retorno. A Figura 3.4 mostra uma aplicação SMS (*Short Message Service*), onde o usuário utiliza um controle remoto para enviar uma informação [15] [20].

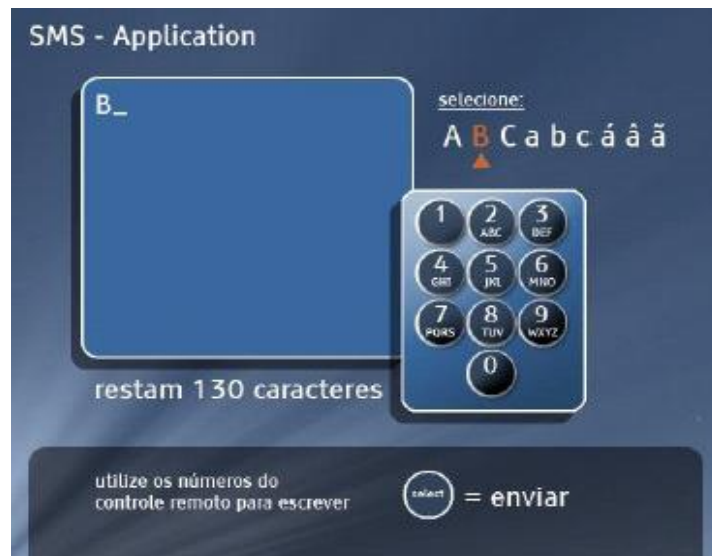


Figura 3.4 - Aplicação SMS utilizando interatividade intermitente [15]

A interatividade permanente ou remota bidirecional é considerada uma evolução da interatividade intermitente, na qual a comunicação dos dados no canal de interação deixa de ser unidirecional para se tornar bidirecional, existindo para isso um canal de retorno dedicado no receptor digital. Por meio desse nível de interatividade, é possível ter um acesso às funções básicas de um computador conectado à *internet* e usufruir aplicações como navegação, *e-mail*, *chat*, competições interativas (jogos multi-usuários em tempo real), compras, *homebanking*, educação à distância, etc. Outra característica importante nessa categoria de interatividade consiste no fato da comunicação fluir também entre os telespectadores. A Figura 3.5 mostra uma aplicação onde o usuário pode enviar receber, armazenar e apagar mensagens de *e-mail* utilizando um controle remoto apropriado ou até mesmo um teclado [15] [20].



Figura 3.5 - Aplicação de e-mail com interatividade permanente [15]

3.2 Serviços interativos

A interatividade é um recurso essencial para que a TV digital no Brasil seja de qualidade, alcançando assim seus objetivos propostos. O governo brasileiro vem investindo muito para que essa interatividade se torne realidade e consiga enfim minimizar os efeitos da exclusão social, que gera a chamada exclusão digital, já que a maioria da população não possui recursos para ter acesso aos benefícios da tecnologia da informação disponível. O governo brasileiro então disponibiliza a TV digital gratuita e aberta, para que todos os cidadãos sem distinção tenham direito de usufruir todos os serviços disponíveis, como serviços de educação, entretenimento, sociais e culturais.

Um dos serviços importantes que o governo pretende disponibilizar com a TV digital interativa é o chamado t-governo. Nele serão oferecidos serviços governamentais pela TV, tornando o acesso a eles mais fácil, evitando deslocamentos a cartórios, prefeituras ou postos de informação, levando a todos os cidadãos conhecimento, informação e serviços diversos relativos ao governo, sendo uma forma eficiente de inclusão. Essa ferramenta do governo também busca estimular à democracia e diminuir a burocracia, já que propiciará a transparência da gestão, informações de projetos e oportunidades, programas educativos e culturais e até mesmo transferências financeiras para fins tributários [3].

Uma importante ferramenta é conhecida como o *t-learning*, que nada mais é que a educação à distância pela TV. Considerando que poucas pessoas têm acesso a computadores, em vista que cerca de 90% da população brasileira têm acesso aos televisores, busca-se com isso permitir que os telespectadores tenham o mesmo acesso que teriam se estivessem conectados em um computador com *Internet*. Ele permite ao estudante construir e até mesmo criar o conhecimento, aumentando as habilidades intelectuais [3] [21].

Serão disponibilizados também serviços com o *t-banking* onde o telespectador poderá fazer consultas, transferências, pagamentos e outras operações bancárias pela TV, a qualquer hora, sem sair de casa. Outros serviços: troca de *e-mails*, comércio eletrônico, EPGs, previsão do tempo, acesso a internet, *chat*, videoconferência.

É importante ressaltar que a TV interativa não é somente comércio como querem alguns, não é só entretenimento como querem outros e nem só mais uma tecnologia que vem para que o povo invista mais uma fatia do seu salário. É uma nova filosofia do processo de comunicação, do processo de aprendizagem, de encontros e trocas, de se conhecer novas pessoas que estejam assistindo ao mesmo programa e que podem ter as mesmas idéias e necessidades. É uma forma de resgate do sentido do coletivo e das comunidades, das redes de informação e aprendizagem beneficiadas e facilitadas pela tecnologia [22].

3.3 O *middleware* brasileiro Ginga

O sistema da TV digital pode ser representado por um modelo de camadas, como mostra a Figura 3.6.

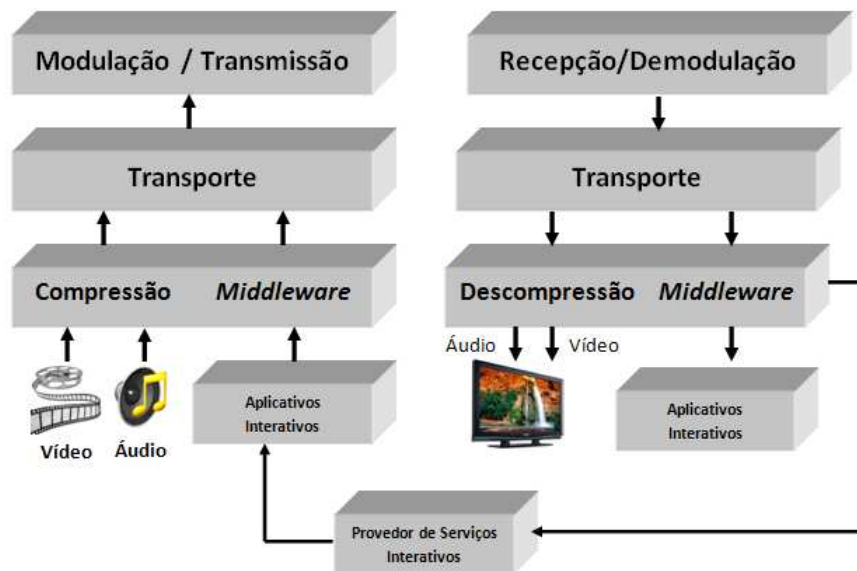


Figura 3.6 - Representação das camadas do sistema de TV digital [14]

Por meio da Figura 3.6, nota-se que o *middleware* fica entre a camada de transportes e a camada de aplicativos interativos, sendo que o provedor de serviços interativos irá atuar no sistema por meio do *middleware*. A função do *middleware* é possibilitar a comunicação entre aplicações distribuídas tendo por objetivo diminuir a complexidade e heterogeneidade dos diversos sistemas existentes, provendo serviços que realizam a comunicação entre essas categorias de aplicações de forma transparente às mesmas. Além disso, ele facilita a portabilidade das aplicações, permitindo que sejam transportadas para qualquer receptor digital (*set top box*) que suporte o *middleware* adotado. Essa portabilidade é primordial em sistemas de TV digital, pois existem diferentes modelos de receptores digitais disponíveis no mercado [14] [15] [17].

No Brasil, está em desenvolvimento o *middleware* brasileiro, que será uma importante ferramenta para a interatividade e foi denominado de Ginga, nome esse dado em reconhecimento a cultura, arte e contínua luta por liberdade e igualdade do povo brasileiro. Ele apresenta diversas melhorias em relação ao *middleware* ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*) utilizado no padrão japonês, escolhido como base para a implantação do SBTVD. Ele foi desenvolvido reunindo um conjunto de tecnologias e inovações brasileiras, que o tornam

uma especificação de *middleware* mais avançada e, ao mesmo tempo, mais adequada à realidade do país, mas seguindo as normas ARIB para interatividade, por uma questão de padronização do padrão ISDB-T [14] [16] [17].

O *middleware* Ginga foi subdividido em dois subsistemas interligados que permitem o desenvolvimento de aplicações seguindo dois paradigmas de programação diferentes. Eles são conhecidos como o Ginga-J e o Ginga-NCL. O subsistema Ginga-J prove uma infraestrutura de execução de aplicações Java e extensões especificamente voltadas para o ambiente da TV digital. Já o Ginga-NCL é um ambiente de apresentação multimídia para aplicações declarativas escritas em NCL e sua linguagem de *script* Lua, com facilidade para a especificação de aspectos de interatividade, sincronismo espaço-temporal de objetos de mídia, adaptabilidade e suporte a múltiplos dispositivos [14] [16].

O *middleware* Ginga é considerado um *middleware* aberto, pois ele foi criado de acordo com as necessidades e objetivos do SBTVD, que é a necessidade da inclusão social/digital e a obrigação do compartilhamento de forma livre para todas as camadas da sociedade. Ele é uma tecnologia que leva a todos os cidadãos sem distinção, os meios necessários para o acesso à informação, educação à distância e serviços sociais, usando uma TV, o meio de comunicação que tem maior penetração em todas as camadas sociais. Já que é um *middleware* aberto, o Ginga, é de fácil aprendizagem e livre de *royalties*, permitindo assim que todos possam interagir com a TV e usufruir de todos os novos serviços que ela estará disponibilizando com a interatividade [2][16].

Ele está sendo desenvolvido por pesquisadores coordenados pelos laboratórios Telemídia da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e LAViD da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

3.3.1 Arquitetura do *middleware* Ginga

A arquitetura do *midlleware* Ginga pode ser dividida em três módulos: Ginga-CC (*Common Core*), o ambiente de apresentação Ginga-NCL (declarativo) e o ambiente de execução Ginga-J (procedural). Esses módulos podem ser visualizados na Figura 3.7 abaixo [17]:

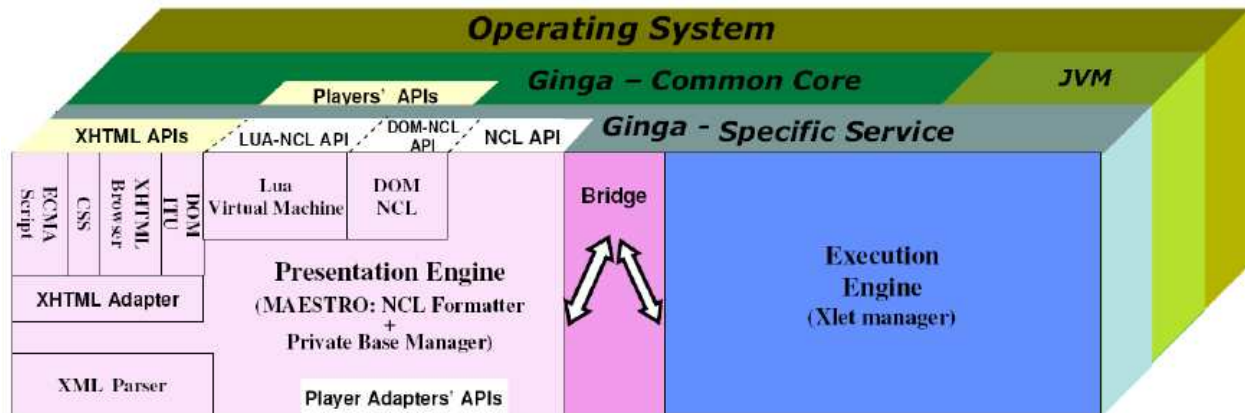


Figura 3.7 - Arquitetura do *middleware* Ginga [18] - (*operating system* – sistema operacional; *common core* – núcleo comum; *specific service* – serviço específico; *virtual machine* – máquina virtual; *adapter* – adaptador; *presentation* – apresentação; *execution* – execução)

O Ginga-NCL é um ambiente obrigatório para receptores móveis e fixos, sendo o subsistema do *middleware* Ginga responsável pelo processamento de documentos em NCL. A linguagem NCL, é uma única linguagem declarativa que oferece suporte aos requisitos necessários para um *middleware*, como por exemplo, pode-se citar o desenvolvimento de programas ao vivo, a adaptação do conteúdo, a forma como o conteúdo é exibido, entre outros [17] [18].

A linguagem NCL é uma das principais linguagens existentes para a definição de sincronismo temporal, possuindo, além disso, uma vantagem adicional, imprescindível em um sistema de TV digital, que é o suporte às variáveis que possam ser manipuladas através de código procedural, entre eles o de sua linguagem de *script* Lua, quando há necessidade de alterações na lógica de programação [17].

O *script* Lua é voltado para a área de entretenimento, em especial jogos. Ele é um *script* leve, fácil de usar e possui um altíssimo desempenho. Para facilitar o desenvolvimento das aplicações *Ginga-NCL*, foi desenvolvida uma ferramenta *Composer*, que nada mais é que um ambiente de autoria voltado para a criação de programas NCL para a TV digital interativa. Nessa ferramenta, as abstrações são definidas em diversos tipos de visões que permitem simular

um tipo específico de edição (estrutural, temporal, leiaute e textual). Essas visões funcionam de maneira sincronizada, a fim de oferecer um ambiente integrado de autoria [17] [18].

O *Ginga-J* é uma especificação de *middleware* distribuído que reside em um dispositivo que carrega o *middleware* Ginga, como por exemplo, o receptor digital, sendo possível também ser utilizado nos receptores móveis como celulares e PADs. Um dos principais objetivos do *Ginga* é prover a interatividade, principalmente em receptores portáteis, sendo por isso necessário além da transmissão de dados, também a recepção e interpretação dos mesmos, para que possa haver a interação do usuário. A Figura 3.8 mostra o contexto do *Ginga* [17].

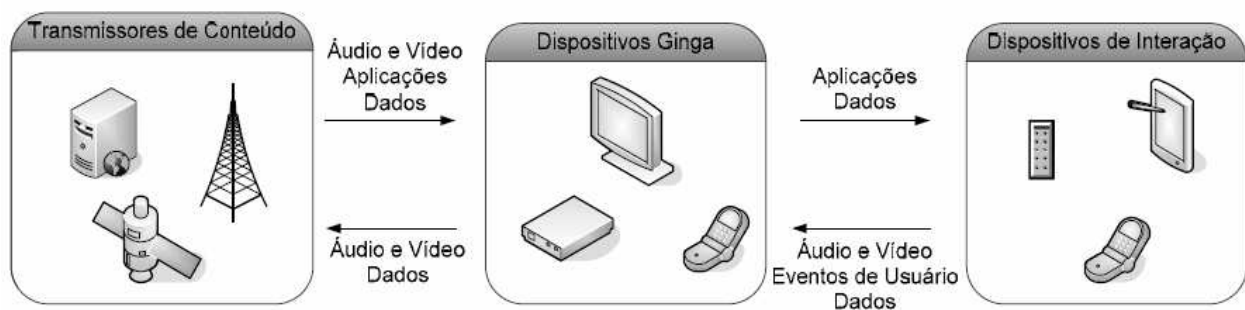


Figura 3.8 - Contexto do Ginga [17]

Como visto na Figura 3.8, o *Ginga* deve ter acesso ao áudio, vídeo, aplicações de dados, entre outros recursos de mídia, que devem ser transmitidos por cabo, ar, satélite ou redes IP (*Internet Protocol*). Dessa forma, as informações são processadas e transmitidas aos usuários [17].

O dispositivo de interação só tem suas funcionalidades exploradas se no mesmo encontrar o registro do *Ginga*. O dispositivo *Ginga* deve conter saída de áudio e vídeo utilizando seu próprio monitor e alto-falantes ou dispositivos de interação, como por exemplo, os PADs conectados à plataforma Ginga por meio de uma rede sem fio, para prover a resposta a informação enviada pelo telespectador [17].

A definição *Ginga-J* é composta por API (*Application Programming Interface*) 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.

O ambiente de execução do *Ginga-J* foi desenvolvido pela UFPB e apresenta-se dividido em três partes: as APIs vermelhas, inovações que dão suporte às aplicações brasileiras, em especial as de inclusão social; as APIs amarelas, também inovações brasileiras, mas que podem ser exportadas para os outros sistemas; e as APIs verdes, que seguem o núcleo comum do padrão GEM (*Globally Executable MHP-Multimedia Home Platform*), que são padronizadas pelo ITU (*International Telecommunications Union*). A Figura 3.9 mostra as APIs [17].

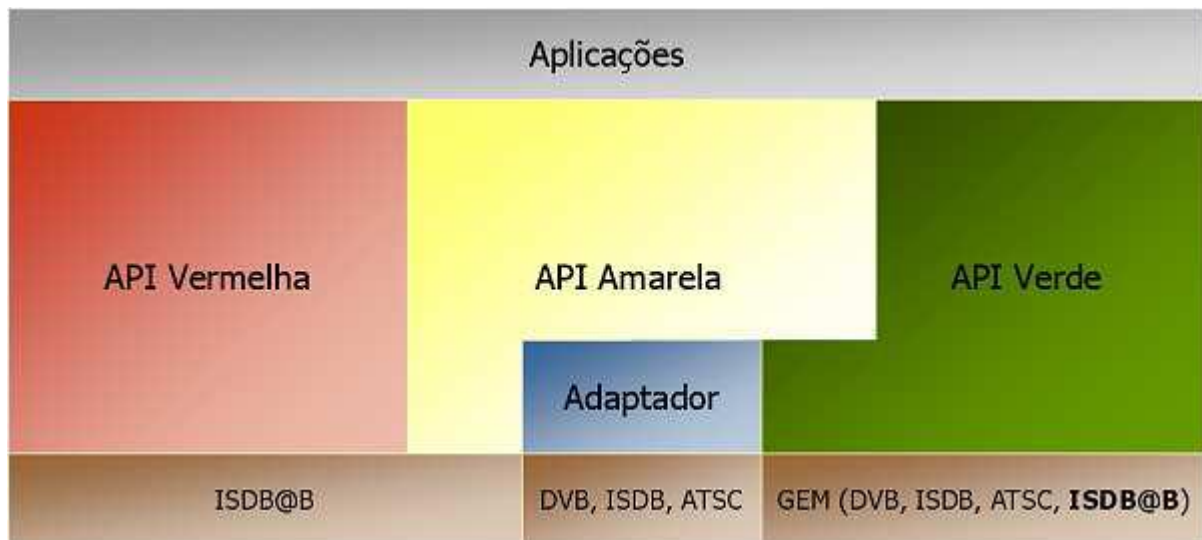


Figura 3.9 - APIs vermelha, amarela e verde do Ginga-J[17]

O núcleo comum *Ginga common core* concentra serviços necessários tanto para a máquina de apresentação (declarativo) quanto para a máquina de execução (procedural). Esse subsistema faz a interface direta com o sistema operacional, fazendo uma ponte estreita com o *hardware*. Nele é feito o acesso ao sintonizador de canal, ao sistema de arquivos, terminal gráfico, dentre outros. A Figura 3.10 mostra os conceitos básicos desse subsistema [17]:

Figura 3.10 - Ginga *common core* [17]

A descrição da função de cada componente do subsistema Ginga- *common core* (Figura 3.10) é feita a seguir.

- **Sintonizador:** é o módulo responsável por “sintonizar” o canal, escolhendo um canal físico e um dos fluxos de transporte que estão sendo enviados nesse canal.
- **Filtro de seções:** uma vez sintonizado, o *middleware* deve ser capaz de acessar partes específicas do fluxo de transporte. Para isso, existe um filtro de seção, sendo ele capaz de buscar no fluxo a parte exata que as APIs necessitam para suas execuções. Funciona exatamente como um filtro, deixando passar apenas as informações requeridas pela API.
- **Processador de dados:** é o elemento responsável por acessar, processar e repassar os dados recebidos pela camada física. Ele também fica encarregado de notificar os outros componentes, sobre qualquer evento que tenha sido recebido.
- **Persistência:** o *Ginga* é capaz de salvar arquivos, mesmo depois que o processo que o criou tenha sido finalizado, para que este possa ser aberto em outra oportunidade. Esse é o módulo que dá suporte para que isso ocorra.
- **Iniciador de aplicações:** este módulo é o gerenciador de aplicações, ou seja, ele fica responsável por carregar, configurar, inicializar e executar qualquer aplicação dos ambientes declarativos e procedurais. Ele também é responsável por

controlar o ciclo de vida dessas aplicações, retirando-as quando necessário, além de controlar os recursos utilizados por essas APIs.

- Adaptador do A/V principal: com o Adaptador de A/V principal, as aplicações conseguem enxergar o fluxo de áudio e vídeo. Isso se faz necessário quando uma aplicação precisa controlar suas ações, de acordo com o que está sendo transmitido.
- Gerenciador de gráfico: os padrões de *middleware* definem como as imagens, vídeos, dados, entre outros, são apresentados para os usuários, gerenciando as apresentações da mesma forma que essas são definidas no padrão ARIB [17].

Após essa descrição do canal de interatividade, bem como dos serviços que podem ser disponibilizados através desse canal e a sua arquitetura em geral, o próximo capítulo traz as tecnologias sem fio, conhecidas como de terceira geração (3G), escolhidas neste trabalho, para que sejam testadas para serem utilizadas como ferramenta em uma futura estruturação desse canal do sistema brasileiro de televisão digital.

Capítulo 4

UMTS

4.1 Introdução

A busca por novos serviços e tecnologias faz com que as tecnologias *wireless* estejam sempre evoluindo de geração em geração. Assim, em evolução ao GSM (*Global System for Mobile Communications*), que representa a 2ª geração da telefonia celular, tem-se a tecnologia UMTS que representa a 3ª geração, fornecendo comunicação sem fio a velocidades altíssimas para multimídia, voz, dados e vídeo. Utiliza a interface área (rádio) WCDMA, bem como suas características gerais e evoluções. O UMTS é a principal tecnologia 3G utilizada, pois oferece o potencial de cobertura mundial, possibilitando economia de escalas, ou seja, *roaming* global e tecnologia prioritária para desenvolvimento de aplicativos e *softwares* [42] [36].

Ele foi desenvolvido para prover serviços com altos níveis de consumo de banda, como multimídia *streaming*, transferências de arquivos grandes, videoconferência para uma grande variedade de aparelhos celulares, PDAs (*Personal Digital Assistant*) e *laptops*. Utiliza uma combinação das tecnologias CDMA (*Code Division Multiple Access*) e TDMA (*Time Division Multiple Access*) para um uso altamente eficiente do espectro.

De forma geral, podem ser listadas algumas características dessa tecnologia:

- Taxas de transmissão de até 2 Mbps;
- Taxas variáveis para oferecer banda por demanda;

- Multiplexação de serviços com diferentes requisitos de QoS (*Quality of Service*) em uma única conexão;
- Requisitos de atraso compatíveis com diversas aplicações (desde aplicações em tempo real a serviços de melhor esforço);
- Coexistência entre sistemas de segunda e terceira geração, além de modos TDD (*Time Division Duplex*) e FDD (*Frequency Division Duplex*);
- Suporte a *handover* entre sistemas;
- Suporte a tráfego assimétrico nos enlaces de subida e de descida;
- Alta eficiência espectral.

É importante ressaltar que a velocidade de transmissão está relacionada com a área de cobertura e com a mobilidade do terminal móvel. Em áreas bem próximas da estação base e com pouca mobilidade pode-se atingir uma taxa de até 2Mbit/s. Por outro lado, já em áreas mais distantes e com grande mobilidade, as velocidades devem atingir no máximo 144kbps. Outro ponto que também é ressaltado pelo IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications – 2000*), grupo esse que coordena o funcionamento do projeto 3G, é a especificação dos diferentes ambientes para operação do sistema. São consideradas as características do ambiente e a demanda de tráfego a fim de facilitar o planejamento do sistema. Esses ambientes são descritos por [38]:

- *Mega cell*: 100 a 500 km de raio;
- *Macro cell*: menor que 35 km de raio;
- *Micro cell*: menor que 1 km de raio;
- *Pico cell*: menor que 50 metros de raio

Outra especificação importante do IMT2000 é a faixa de alocação no espectro de frequências. A Tabela 4.1 mostra a forma que a banda foi alocada para esse tipo de tecnologia.

Tabela 0.1 – Espectro de Frequências do UMTS [41]

| Espectro para UMTS | |
|--------------------|---------------------------------------|
| 1920 MHz-1980 MHz | FDD Uplink |
| 2110 MHz-2170 MHz | FDD Downlink |
| 1900 MHz-1920 MHz | TDD |
| 2010 MHz -2025 MHz | |
| 1980 MHz-2010 MHz | MSS (Mobile Satellite Service) Uplink |
| 2170 MHz-2200 MHz | MSS Downlink |

O UMTS traz uma vasta lista de serviços que podem ser disponibilizados aos usuários, sendo que alguns desses são apresentados na Tabela 4.2:

O UMTS apresenta dois modos de transferência de informação: CS (Comutação de Circuitos) e PS (Comutação de Pacotes). No modo comutação por circuitos são empregados os princípios básicos da telefonia convencional para o tratamento de chamadas e no modo comutação por pacotes utiliza recursos semelhantes a aqueles das redes fixas de transferências de dados por comutação de pacote, baseado na tecnologia IP [43].

Tabela 0.2 - Serviços disponibilizados pelo UMTS

| Serviços | Exemplos |
|-------------------------|---|
| Entretenimento | Jogos, vídeo clipes, áudio sob demanda. |
| Educação | Treinamentos, biblioteca on-line, escolas virtuais, laboratórios <i>on-line</i> . |
| Serviços de informação | Jornais <i>on-line</i> , busca inteligente, compras interativas, serviços de <i>broadcasting</i> baseados na localização. |
| Serviços de comunicação | Vídeo-conferência, localização pessoal. |
| Serviços de negócios | <i>Business TV</i> , grupo de trabalho virtual, escritório móvel. |
| Serviços especiais | Tele-medicina, administração pessoal, monitoramento, seguro de serviços, <i>help line</i> instantânea. |
| Serviços financeiros | Banco virtual, serviços de cartão de crédito (<i>USIM card</i>), transações <i>on-line</i> . |

Os parâmetros gerais do padrão UMTS estão descritos na Tabela 4.3:

Tabela 0.3 – Parâmetros gerais do padrão UMTS [38]

| Parâmetro | Característica |
|-----------------------|----------------------------------|
| Largura do canal | 5MHz |
| Modo duplex | FDD ou TDD |
| Estrutura do canal RF | Direct Spread (DS) |
| Taxa de chips | 3,84 Mchips/s |
| Comprimento do quadro | 10ms |
| Modulação | QPSK |
| Codificação do canal | Convolutacional Códigos Turbo |

Os sistemas 3G utilizam como técnica de transmissão digital, o CDMA ou tecnologia de acesso múltiplo por divisão em código. Essa tecnologia consiste na transmissão das informações de modo que todos os usuários utilizem a mesma faixa de frequência durante todo o intervalo de tempo.

A técnica que possibilita o uso dessa mesma faixa de frequências é conhecida como espalhamento espectral SS (*Spread Spectrum*), como foi mostrado na Tabela 4.3.

Há dois tipos de técnicas de espalhamento espectral que podem ser consideradas. O primeiro e mais utilizado é conhecido por sequência direta DS (*Direct Sequence*). Ela utiliza uma sequência de código com uma taxa de transmissão mais alta que a da informação, ou seja, a informação a ser transmitida é modificada por uma sequência de código, a qual modula diretamente a portadora RF (*Radio Frequency*). Já a segunda técnica é conhecida como troca de frequência FH (*Frequency Hop*). Nela a informação é trocada entre duas ou mais frequências em uma banda larga (*wideband*). A ordem em que as frequências são ocupadas é função da sequência de código utilizada e a taxa utilizada para as trocas de uma frequência para a outra é função da taxa de transferência da informação (dados) [38].

Esta sessão apresenta uma descrição geral das características da tecnologia de 3ª geração, bem como os serviços e vantagens trazidas por ela. São abordados aspectos essenciais para que o leitor entenda os motivos pelos quais essa tecnologia foi escolhida para ser a ferramenta de testes para uma possível estruturação do canal de retorno da TV digital, como será visto ao longo do trabalho.

4.2 WCDMA

O sistema WCDMA, utilizado como interface aérea, tem as características básicas de um sistema CDMA, como a transmissão de um conjunto de mensagens digitais multiplicadas por diferentes sinais de altas taxas, que funcionam como códigos destinados a espalhar e posteriormente recuperar as mensagens transmitidas. O princípio de um sistema CDMA é que a mensagem binária a ser transmitida denominada de $m(t)$ de taxa de bit $R_b = \frac{1}{T_b}$ é codificada

em NRZ (*Non Return to Zero*) para que $m(t) = \pm 1$ e é multiplicada por uma sequência binária $p(t)$, codificada em NRZ para que $p(t) = \pm 1$. A taxa de *bits* para a sequência $p(t)$ é $R_c = \frac{1}{T_c}$ e é maior (por volta de 10^2 a 10^6) do que a taxa de *bits* R_b . O elemento binário da sequência $p(t)$ é chamado de *chip* para distinguir do elemento binário da mensagem e, portanto R_c é chamado de taxa de *chips*. O sinal composto $m(t)p(t)$, em seguida, modela uma portadora com deslocamento de fase, onde a frequência é a mesma em todas as estações. A portadora transmitida pode ser expressa pela equação 4.1 [63].

$$c(t) = m(t)p(t)\cos\omega_c t \quad (4.1)$$

No sistema WCDMA o sinal espalhado tem uma taxa de 3,84 Mcps (*chips/s*), e modula portadoras que ocupam uma banda de 5 MHz. Essa maior largura de banda é necessária para suportar altas taxas de *bits*. É incluída também nessa tecnologia, a diversidade de transmissão, a fim de aumentar a capacidade do enlace de subida e assim, suportar um tráfego assimétrico entre os enlaces de subida e descida [37] [39].

O WCDMA suporta taxas de transmissão altamente variáveis. A cada usuário são alocados quadros de 10 ms para transmissão e, em cada quadro, a taxa é mantida constante. No entanto, as taxas de transmissão dos usuários podem variar de quadro para quadro, com a alteração do seu fator de espalhamento. Cada quadro possui 15 janelas de tempo e os fatores de espalhamento do enlace de subida variam de 4 a 256, enquanto que no enlace de descida vão de 4 a 512. Vale salientar que esse fator de espalhamento (*spreading factor*) é a razão entre *chip_rate* e *symbol_rate* (informação original) [36][37][39][40].

Existem dois modos diferentes propostos para o WCDMA: o FDD e o TDD. No modo FDD, os enlaces de subida e de descida empregam duas faixas de frequências separadas. Um par de faixas de frequências com uma determinada separação é alocada para uma conexão. Por sua vez, no modo TDD, as transmissões nos enlaces de subida e de descida são feitas na mesma banda, usando intervalos de tempo sincronizados. Com isso, as janelas de tempo de um canal físico são divididas em uma parte para transmissão e outra para recepção. Como diferentes

regiões do mundo possuem diferentes alocações de frequências, a capacidade de operar em quaisquer dos modos, FDD ou TDD, permite um uso eficiente do espectro disponível. Enquanto o modo FDD é destinado especialmente a grandes coberturas, aplicações de banda larga e aplicações de rádio simétricas, como vídeo e telefonia móvel, o modo TDD providencia altas taxas de dados para aplicações assimétricas e de reduzida mobilidade, incluindo serviços baseados na internet. Os sistemas iniciais utilizam o modo WCDMA FDD, ficando o modo TDD para ser desenvolvido mais futuramente [39]. A Figura 4.1 mostra os modos FDD e TDD, explicando como são feitas as transmissões no enlace de subida e descida.

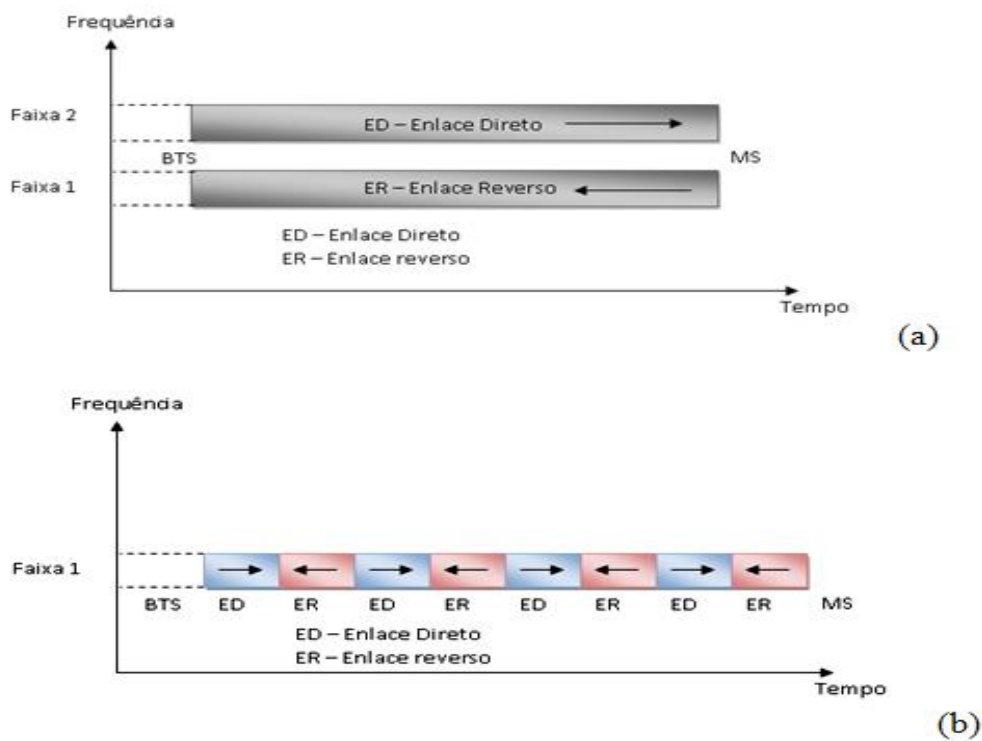


Figura 0.1 - (a) Alocação de frequências no modo de operação FDD (b) Alocação de frequências no modo de operação TDD [38]

A Tabela 4.4 resume as principais características do WCDMA.

Tabela 0.4 – Principais características da tecnologia WCDMA [44]

| Característica | WCDMA |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Método de múltiplo acesso | DS-CDMA, Sequência Direta CDMA |
| Fator de reuso de frequência | 1 |
| Banda por portadora | 5Mhz |
| Chip rate | 3,84 Mcps |
| Frame | 10 ms (38400 chips) |
| Nº slots/frame | 15 |
| Nº chips/slot | 2560 chips |
| Fator de espalhamento enlace subida | 4 a 256 |
| Fator de espalhamento enlace descida | 4 a 512 |
| Taxa do canal | 7.5kbit/s a 960kbit/s |

4.3 Arquitetura

A arquitetura da rede UMTS é formada pelo equipamento de usuário UE (*User Equipment*), rede de suporte CN (*Core Network*) e pela rede universal de acesso de RF terrestre UTRAN (*Universal Terrestrial Radio Access Network*).

A Figura 4.2 representa a arquitetura das redes UMTS.

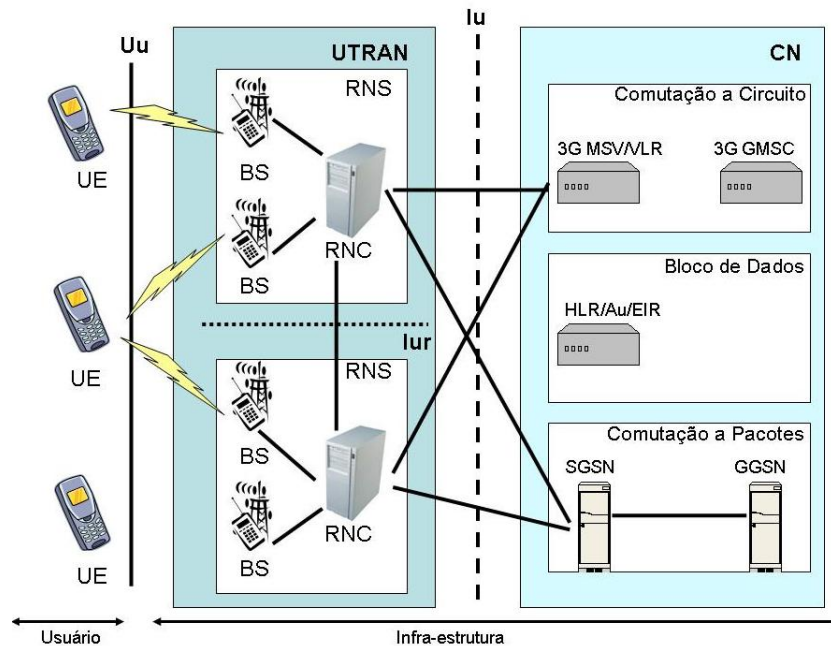


Figura 0.2 - Arquitetura das redes UMTS [41]

As interfaces Iu e Uu transportam os protocolos, os quais são divididos em duas estruturas [38]:

Protocolos do plano de usuário: implementam os serviços de acesso à interface aérea (por exemplo, transporte de dados de usuário pela rede);

Protocolos do plano de controle: implementam o controle da interface aérea e as conexões entre UE (*User Equipment*) e a rede (por exemplo, requisição de serviços, controle dos diferentes recursos de transmissão e *handover*).

O UE é o terminal móvel que contém o módulo de identidade de serviços do usuário USIM (*User Service Identity Module*) que equivale ao SIM *card* (GSM).

A UTRAN é a rede terrestre de acesso de rádio UMTS baseada em WCDMA. A comunicação feita nessa interface utiliza canais lógicos que são mapeados nos canais de transporte. Os canais de transporte, a RNC (*Radio Network Controller*) trabalha com canais utilizados para transportar diferentes fluxos de pacotes. Nos canais físicos compõe a existência

física da interface Uu onde diferentes tipos de banda são alocadas para as mais variadas finalidades [41].

Na Figura 4.3, tem-se uma visão mais detalhada da UTRAN.

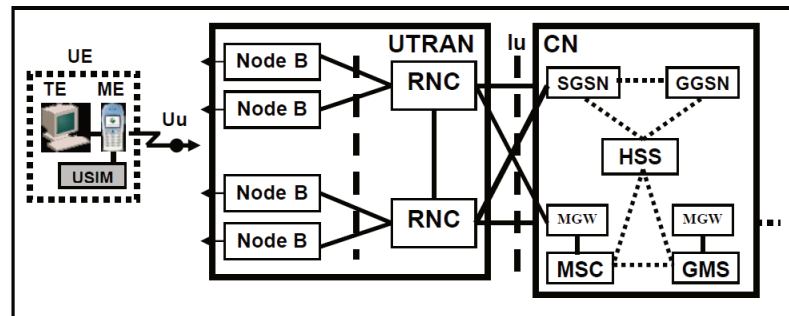


Figura 0.3 - Visão mais detalhada da UTRAN [43]

Já o CN tem como função a comutação, roteamento e trânsito para tráfego de usuários. Ele possui um banco de dados e as funções de gerenciamento da rede. A sua arquitetura básica é baseada na rede GSM com GPRS (*General Packet Radio Service*), sendo que todos os equipamentos devem ser modificados para operações e serviços UMTS. O CN é o núcleo da rede que suporta serviços baseados em comutação de circuitos e comutação de pacotes. Os elementos comutados a circuitos são MSC (*Mobile Services Switching Center*), VLR (*Visitor Location Register*) e Gateway MSC. Os comutados a pacotes são SGSN (*Serving GPRS Support Node*) e GGSN (*Gateway GPRS Support Node*). Alguns elementos da rede como EIR (*Equipment Identity Register*), HLR (*Home Location Register*) e AUC (*Authentication Center*) compartilham ambos os domínios [41].

O resumo da arquitetura UMTS é mostrado na Tabela 4.5.

4.4 Arquitetura do protocolo da interface aérea UMTS

A arquitetura da interface aérea UMTS (Uu) é formada por três camadas de protocolos:

- Camada física (*Layer1- L1*);
- Camada de enlace de dados (*Layer 2-L2*);

- Camada de rede (*Layer 3-L3*)

Tabela 0.5 – Resumo da arquitetura da rede UMTS [61].

| Elemento de rede | Descrição |
|----------------------|--|
| UE | <i>User Equipment</i> , ou equipamento do usuário. É o terminal móvel e seu módulo de identidade de serviços do usuário (USIM) |
| BS (<i>Node B</i>) | <i>Base Station</i> , ou estação base. Converte o tráfego de dados entre as interfaces Uu e Iub. Também exerce funções de gerenciamentos dos recursos de rádio. |
| RNC | <i>Radio Network Controller</i> , ou controlador da rede à rádio. Controla os recursos de rede sob seu domínio (BSs conectados a ele) |
| SGSN | <i>Serving GPRS Support Node</i> . Função similar a do MSC/VLR para a rede comutada de pacotes. |
| GGSN | <i>Gateway GSN</i> . Função similar a do GMSC para a rede comutada por pacotes, Conecta o UMTS com a <i>internet</i> , por exemplo. |
| HLR/AUC/EIR | <i>Home Location Register/ Authentication Centre/Equipment Identity Register</i> . Banco de Dados que contém as informações dos usuários e os IMEIs (<i>International Mobile Equipment Identity</i>) dos aparelhos celulares. Realiza autenticação no sistema. |
| MSC/VLR | Comutador (MSC- <i>Mobile Switching Centre</i>) e banco de dados (<i>Visitor Location Register</i>). Serve o UE em sua localidade para os serviços comutados de circuito. |
| GMSC | <i>Gateway MSC</i> . Ponto de comutação onde o UMTS é conectado com outras redes comutadas de circuito (por exemplo, rede de telefonia pública comutada). |
| Subsistema de Rede | Descrição |
| RNC | <i>Radio Network Controller subsystem</i> , ou Subsistema da rede à rádio. |
| UTRAN | <i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i> , ou rede terrestre de acesso rádio do UMTS baseada no WCDMA (<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>). |
| CN | <i>Core Network</i> , ou núcleo da rede que suporta serviços baseados em comutação de circuitos e comutação por pacotes. |
| Interface de rede | Descrição |
| Uu | Interface de rádio entre UE e BS, baseada no WCDMA. |
| Iub | Interface entre BS e RNC. Até o <i>Release 5</i> , baseada em ATM. A partir do <i>Release 5</i> , pode ser também baseada em IP. |
| Iu | Interface entre RNC (UTRAN) e elementos de CN. Baseado em IP. |

A camada 3 pode ser subdividida em duas outras subcamadas:

- Planos de controle ou sinalização(C)
- Informação de usuário (U).

No plano C encontra-se a subcamada de controle de recursos de RF (*Radio Frequency*) denominado RRC (*Radio Resource Control*), que tem a função de difundir as informações de

sistema para todas as UEs, estabelecimento, restabelecimento, manutenção e liberação de uma conexão RRC entre UE e UTRAN, controle de serviços de qualidade, serviços de busca para uma UE específica, dentre outras.

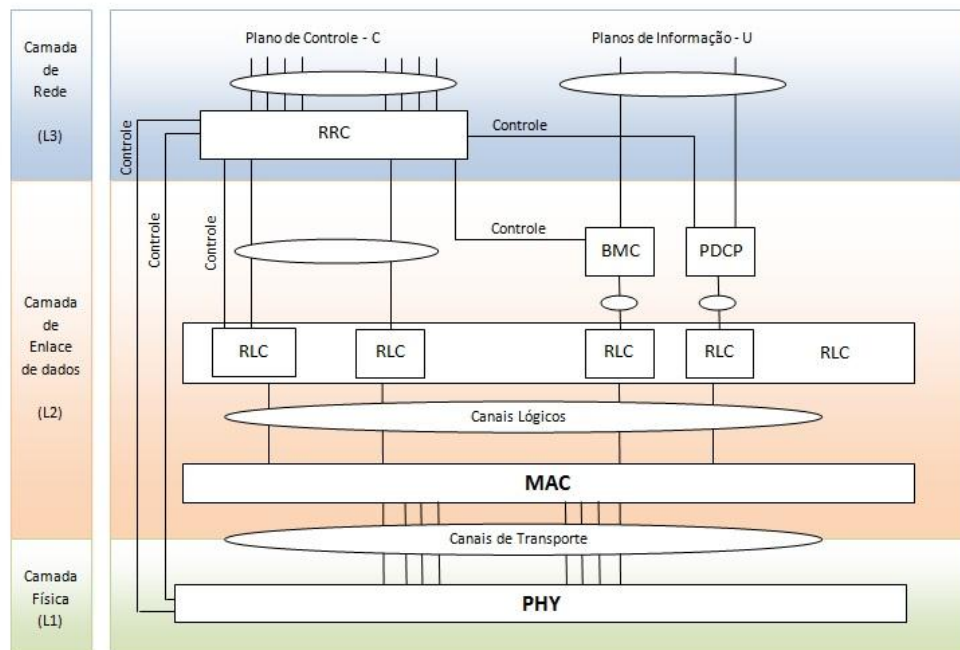


Figura 0.4 - Arquitetura da interface aérea UMTS[38]

A camada 2 é dividida nas seguintes subcamadas:

Controle de acesso ao meio MAC (*Media Access Control*): mapeamento entre os canais lógicos e de transporte, prioridade no encaminhamento do fluxo de dados de uma UE, comutação do canal de transporte e criptografia.

Controle de enlace de rádio RLC (*Radio Link Control*): transferência de dados aos usuários, correção de erros, controle do fluxo.

Protocolo de convergência de dados por pacote PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*): compressão, descompressão do cabeçalho dos pacotes de dados IP na transmissão e recepção respectivamente, transferência dos dados de usuário de/para a camada RLC.

Controle BMC (*Broadcast/Multicast(Broadcast/Multicast Control)*): difusão para as células CBS (*Cell Broadcast Service*), possibilitando a transferência de mensagens para as UEs ativas nas células.

A camada 1 provê as formas pelas quais os dados são transferidos pela interface aérea. Dessa forma, as principais funções são: detecção de erros nos canais de transporte e indicação deles para as camadas superiores, codificação e decodificação da correção de erros FEC (*Forward Error Correction*), multiplexagem e demultiplexagem dos canais de transporte e mapeamento dos canais de transporte nos canais físicos [38].

4.5 Estruturas dos Canais UMTS

De acordo com [38], o padrão UMTS é estruturado utilizando três tipos de canais:

- Canais lógicos: identificam o tipo de informação transportada.
- Canais de transporte: identificam as características do transporte dos dados pela interface aérea.
- Canais físicos: transportam definitivamente os canais pela interface aérea.

A Figura 4.5 mostra a estrutura dos canais no padrão UMTS.

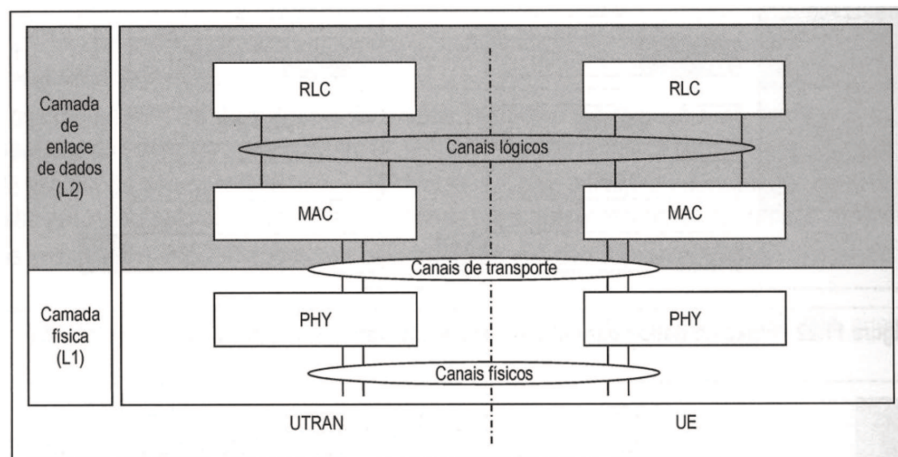


Figura 0.5 - Estrutura dos canais UMTS

Os canais lógicos são definidos pelo tipo de informação a ser transportado. Dessa forma, pode-se classificá-los em grupo de canais de controle (*control channels*) e grupo canais de tráfego (*traffic channels*). Os canais de controle são usados na transferência de informação no plano de controle, podendo-se citar o BCCH (*Broadcast Control Channel*) e o PCCH (*Paging Control Channel*), CCCH (*Common Control Channel*) e o DCCH (*Dedicated Control Channel*). O grupo de canais de tráfego é usado na transferência de informação no plano de usuário. São formados pelo CTCH (*Common Traffic Channel*) e pelo DTCH (*Dedicated Traffic Channel*).

Os canais de transporte podem ser classificados em dois grupos, o grupo de canais de transporte comum (*common channels*) e o grupo de canais de transporte dedicados (*dedicated channels*). Os canais de transporte comum estão presentes nos enlaces, direto e reverso para o transporte de informações não relacionadas a somente um usuário (comum a vários usuários). Pode-se citar o BCH (*Broadcast Channel*), FACH (*Forward Access Channel*), PCH (*Paging Channel*), RACH (*Random Access Channel*), dentre outros. Os canais de transporte dedicados estão presentes nos enlaces, direto e reverso para o transporte de informação a um usuário específico. São o DCH (*Dedicated Channel*) e o E-DCH (*Enhanced Dedicated Channel*).

Os canais físicos são responsáveis pela codificação e transmissão dos canais de transporte pela interface aérea. São formados basicamente por quadros RF e ITCs (Intervalo de Tempo de Canal) ou TSs (*Time Slot*). No caso da tecnologia WCDMA FDD, temos um comprimento do quadro RF, formado por 15 ITCs com duração de 10ms e taxa de transmissão de 38.400 *chips*, em que o comprimento de cada ITC é igual a 2560 *chips*.

4.6 HSDPA

O padrão UMTS com interface aérea WCDMA vem emergindo rapidamente como o padrão de 3ª geração, satisfazendo os requisitos impostos pelo IMT-2000 para os sistemas 3G, dentre eles o suporte a taxa de dados de até 2Mbps em ambientes *indoor*, bem como suporte a tráfego assimétrico nos enlaces. Mas, para suprir as futuras demandas de serviços de dados em

pacotes (*internet* e serviços multimídia), foi criado o HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), considerado a evolução da interface aérea WCDMA.

A tecnologia HSDPA é considerada de 3,5 geração, permitindo taxas no enlace de baixada de até 10Mbps, ou seja, uma taxa até 5 vezes maior que no WCDMA, mas mantendo a mesma banda de 5MHz. Além disso, traz maior capacidade e menos atrasos [37].

Algumas tecnologias usadas para garantir os objetivos do HSDPA podem ser destacadas:

- AMC (*Adaptive Modulation and Coding*);
- Uso de modulações de mais alta ordem, ou seja, 16-QAM e 64-QAM;
- Retransmissão automática híbrida HARQ (*Hybrid Automatic Repeat Request*);
- Uso de códigos múltiplos (paralelos);
- Agendamento rápido;
- Seleção rápida de célula;
- Sistemas de antenas MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*).

A especificação HSDPA define um protocolo de comunicação padronizado pela entidade 3GPP com o objetivo de permitir que as redes UMTS (WCDMA) aumentem a capacidade de transferência de dados por pacote (IP). Ele permite transferências de dados por pacotes, no enlace direto (*downlink*), da ordem de 1.8, 3.6, 7.2 e 14.4 *Mbits/s*. Essas taxas variam de acordo com a distância da antena, potência do sinal e interferências.

Nesse sistema são utilizadas as modulações 16-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*)/ 64-QAM e QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*). As modulações 16-QAM e 64-QAM aumentam a eficiência espectral em termos de *bits/s/Hz* comparado com o QPSK, contribuindo para que as taxas de dados atinjam a ordem de 10Mbps, com a mesma largura de faixa de 5MHz utilizada no WCDMA. Em contrapartida, essas modulações de alta ordem são muito sensíveis a ruído e interferências. Devido a esse fato, o HSDPA possui o AMC (*Adaptive Modulation and Coding*), que tem a função de escolher o esquema de modulação e codificação, conhecido de modo de transmissão, mas adequado de acordo com as condições instantâneas do canal [59][60].

Para tornar o sistema mais robusto a possíveis erros, há esquemas de HARQ (*Hybrid Automatic Repeat Request*), que nada mais é que uma combinação de protocolos FEC, para a correção de erros com protocolos ARQ (*Automatic Repeat Request*), para a detecção de erros [59].

A Tabela 4.6 mostra as transferências de dados definidas pela especificação HSDPA.

O HSDPA possui a mesma arquitetura do WCDMA, alterando a 2ª camada ou UTRAN, camada onde se encontram os canais físicos que concentram todo o tráfego da informação entre o cliente e a base, como visto anteriormente. Ele utiliza um novo canal de transporte denominado HS-DSCH (*High-Speed - Down link Shared Channel*) ou canal compartilhado de enlace de descida de alta velocidade. Ele é mapeado em três canais físicos dedicados que possibilitam melhora no tráfego de dados. São esses [47] [60]:

- HS-PDSCH (*High Speed - Physical Downlink Shared Channel*): Transporta os dados do usuário no enlace de descida com taxas de pico atingindo até 10Mbps, com modulações de alta ordem.
- HS-PSCCH (*High Speed - Physical Shared Control Channel*): Transporta as informações de controle da camada física necessárias para uma correta decodificação dos dados do HS-PDSCH e também para possibilitar uma possível combinação de dados enviados pelo HS-PDSCH, em caso de retransmissões.

Tabela 0.6 – Categorias HSDPA [38]

| Categoria | Modulação | Taxa de transmissão máxima |
|-----------|--------------|----------------------------|
| | | [Mbits/s] |
| 1 | QPSK e 16QAM | 1.2 |
| 2 | QPSK e 16QAM | 1.2 |
| 3 | QPSK e 16QAM | 1.8 |
| 4 | QPSK e 16QAM | 1.8 |
| 5 | QPSK e 16QAM | 3.6 |
| 6 | QPSK e 16QAM | 3.6 |
| 7 | QPSK e 16QAM | 7.3 |
| 8 | QPSK e 16QAM | 7.3 |
| 9 | QPSK e 16QAM | 10.2 |
| 10 | QPSK e 16QAM | 14.4 |
| 11 | QPSK | 0.9 |
| 12 | QPSK | 1.8 |

- HS-DPCCH (*High Speed - Dedicated Physical Control Channel*): Transporta informações de controle necessárias no enlace de subida, como por exemplo, informações de realimentação sobre a qualidade do enlace de descida.

O HSDPA adiciona também um canal chamado de HS-SCCH (*High Speed - Shared Control Channel*) com a finalidade de sinalizar os canais que estão sendo utilizados, bem como as informações necessárias para o processo de decodificação. Ele traz as seguintes informações [60]:

- Máscara Id UE: identifica o usuário para ser assistido no intervalo de transmissão de tempo TTI (*Transmission Time Interval*) seguinte;
- Informações do transporte do formato: especifica um conjunto de códigos de canalização e modulação.

- Informações relacionadas do ARQ híbrido: indica se a informação nova é uma retransmissão ou um novo pacote.

4.7 Parâmetros de Qualidade de Serviço

A fim de garantir que os serviços oferecidos tenham qualidade, utilizam-se parâmetros de qualidade (QoS – *Quality of Service*). Dentre eles pode-se citar: vazão (banda), atraso (latência), *jitter*, taxa de perdas e a disponibilidade.

Nessa dissertação os parâmetros escolhidos para analisar as redes 3G foram a latência e a taxa de perdas. Os demais parâmetros serão explicados rapidamente apenas para título de conhecimento, sendo, portanto dado maior ênfase aos dois parâmetros escolhidos.

A vazão é o parâmetro mais básico de QoS e é necessária para uma operação adequada de qualquer aplicação. Em termos práticos, as aplicações geram vazões que devem ser atendidas pela rede. A Tabela 4.7 abaixo mostra a vazão típica de algumas aplicações.

Tabela 0.7 - Vazão típica de aplicações em rede [48]

| | |
|--------------------------------------|--------------------|
| Aplicações Transacionais | 1 Kbps a 50 Kbps |
| Quadro branco (Whiteboard) | 10 Kbps a 100 Kbps |
| Voz | 10 Kbps a 120 Kbps |
| Aplicações web (www) | 10 Kbps a 500 Kbps |
| Transferências de arquivos (grandes) | 10 Kbps a 1 Mbps |
| Vídeo (streaming) | 100 Kbps a 1 Mbps |
| Aplicação conferência | 500 Kbps a 1 Mbps |
| Vídeo MPEG | 1 Mbps a 10 Mbps |
| Aplicação imagens médicas | 10 Mbps a 100 Mbps |
| Aplicação realidade virtual | 80 Mbps a 150 Mbps |

A latência e o atraso são parâmetros importantes para a qualidade de serviço das aplicações. Esses dois termos são utilizados como parâmetro de QoS, embora o termo latência seja mais utilizado para equipamentos e o termo atraso seja mais utilizado para transmissão de dados.

De acordo com Martins [48], a latência da rede pode ser definida de forma genérica como um somatório dos atrasos impostos pela rede e equipamentos utilizados na comunicação. Para a aplicação, a latência (atraso), resulta em um tempo de resposta (tempo de entrega da informação/pacotes).

Os fatores que influenciam na latência de uma rede são:

- Atraso de propagação (*propagation delay*): o tempo necessário para a propagação do sinal óptico no meio utilizado (fibras ópticas, satélite, cabo coaxial, etc).
- Velocidade de transmissão: geralmente são variáveis dependendo da escolha da tecnologia. Como exemplo pode-se citar as redes WAN (*Wide Area Network*) que possuem velocidades (vazão) mais baixas e latência muito maior comparado as redes locais.
- Processamento nos equipamentos: Os pacotes são processados ao longo do percurso entre origem e destino (roteadores, *firewalls*, etc), e considerando que a latência é um parâmetro fim-a-fim os equipamentos tem a sua parcela de contribuição para o atraso.

Os valores de latência tolerados são mostrados na Figura 4.6. Para aplicações em tempo real como VoIP (Voz sobre IP), videoconferência, etc, os valores máximos permitidos são de até 150ms. Já para as aplicações que não necessitam de serem realizadas necessariamente em tempo real (*e-mail*, sms) o atraso pode chegar até a 400ms, independente do tamanho do pacote [55].



Figura 0.6 - Faixa de latência permitida

O *jitter* é outro parâmetro importante para garantir a qualidade de serviço. Esse parâmetro é de suma importância para aplicações em que uma operação adequada depende de alguma forma da garantia de que as informações (pacotes) devam ser processadas em períodos de tempo bem definidos. Como exemplo dessas aplicações pode-se citar aplicações de voz em tempo real.

Em uma rede de computadores, o *jitter* de acordo com Martins pode ser entendido como uma variação no tempo e na seqüência de entrega das informações devido à variação na latência (atrasos) da rede [48].

A Figura 4.7 ilustra o efeito do *jitter* entre a entrega de pacotes na origem e seu processamento no destino. O *jitter* causa não somente uma entrega com periodicidade variável, mas também a entrega de pacotes fora de ordem.

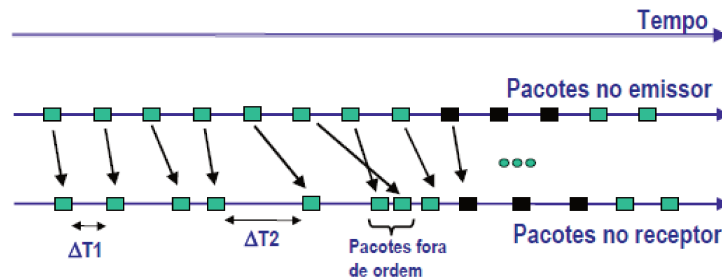


Figura 0.7 - Efeito do *jitter* para as aplicações [48]

O parâmetro perdas de pacotes é outro fator de grande importância na qualidade de serviço, e tem-se a preocupação no sentido de especificar e garantir limites razoáveis (taxa de perdas) que permitam uma operação adequada da aplicação.

Geralmente, as perdas de pacotes ocorrem em função de fatores como:

- Descarte de pacotes nos roteadores e *switch routers* (erros, congestionamentos, etc)
- Perda de pacote devido a erros na camada 2 durante o transporte dos mesmos.

Na Figura 4.8 pode-se ver a faixa aceitável de perda de pacotes de acordo com a ITU-T [53].

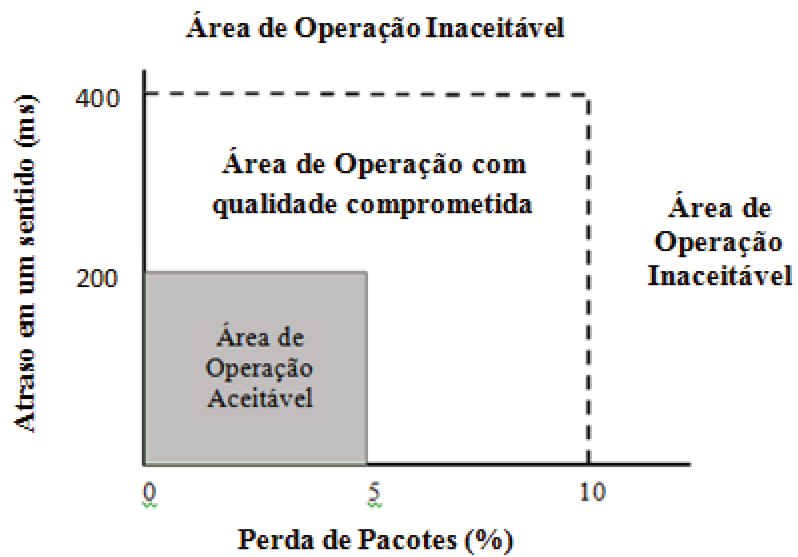


Figura 0.8 - Perda de pacotes permitida

Para aplicações que necessitam de tempo real como VoIP (Voz sobre IP), videoconferência, etc., a perda de pacotes não deve superar a taxa de 1%. Por outro lado, já as que não necessariamente não precisam ser em tempo real (*e-mail*, sms), a perda pode chegar até 5%. Na faixa acima de 5%, o aplicativo já tem sua qualidade comprometida, e superior a 10% é considerado inaceitável [54].

O parâmetro disponibilidade geralmente é abordado na fase de projeto de rede. A disponibilidade é uma medida da garantia de execução da aplicação ao longo do tempo e depende de fatores como:

- Disponibilidade de equipamentos utilizados na rede proprietária (rede do cliente);
- Disponibilidade da rede pública quando a mesma é utilizada (operadoras de telecomunicações) [48].

Nesta dissertação, os parâmetros de qualidade de serviços que serão focados, é a latência e a taxa de perdas de pacotes, que foram analisados nas simulações propostas, como pode ser

visto no capítulo 6. Esses parâmetros foram escolhidos por serem parâmetros importantes e facilmente percebidos pelo usuário.

4.8 Qualidade de serviço no UMTS

A principal característica do UMTS, como já visto anteriormente, é permitir altas taxas de transmissão, podendo atingir 384 Kbps em ligações por circuito e até 2Mbps em comutação por pacotes. Essa característica permite uma vasta lista de novos serviços, como videotelefonia e rápido *download* de dados. Para que a rede seja bem sucedida, é necessário suportar uma grande quantidade de aplicações com diferentes requisitos de qualidade de serviço [51].

Na arquitetura de QoS do UMTS, um *bearer service* (serviço básico) tem a função de definir as características e funcionalidades definidas entre os pontos finais da comunicação com o objetivo de realizar um suporte consistente de QoS para serviços fim-a-fim. O *end-to-end bearer service* (serviço básico fim-a-fim) é realizado através de uma arquitetura de camadas, como pode ser visto na Figura 4.9.

No UMTS os serviços de suporte unidirecional e bidirecional são suportados. O *bearer service* UMTS tem os seguintes atributos [56] [57] [58]:

- Fornecimento de serviços: pode ser dividido em quatro classes, baseados nos requisitos de atraso, taxa de *bits*, taxa de erro e prioridade no tratamento do tráfego.

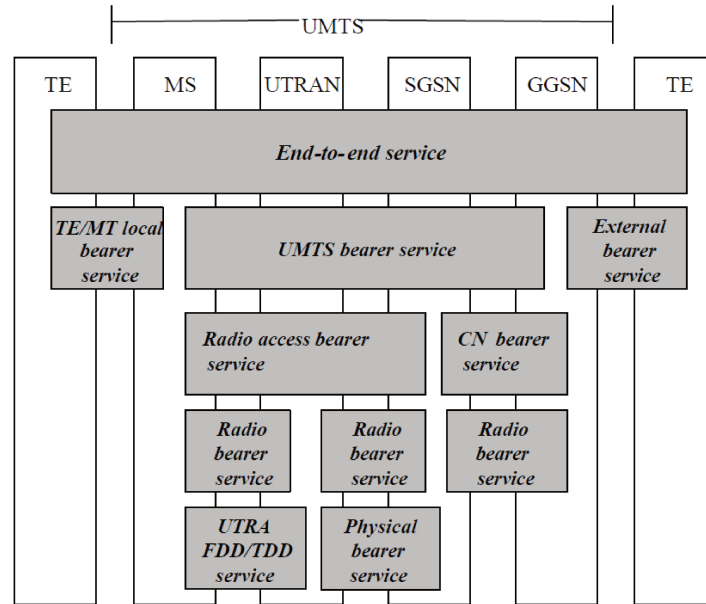


Figura 0.9 - Bearer services [50]

1. Classe conversacional: aplicações conversacionais em tempo real que têm restrições (altamente sensíveis) quanto ao atraso, como as aplicações de videotelefonia.
2. Classe *streaming*: para aplicações, que se encontra nessa classe, uma variação limitada no atraso é tolerável. Como exemplo, vídeo em tempo real.
3. Classe interativa: é aplicável a serviços que requerem uma vazão garantida, como por exemplo, comércio eletrônico, navegação *web* interativa.
4. Classe *background*: é utilizada para o tráfego *best-effort* (melhor esforço) tradicional, como transferências de arquivos e *e-mail*. Ele tem a menor prioridade dentre todas as classes.
 - Máxima taxa de *bits* (kbit/s): é o número máximo de *bits* entregues por UMTS e UMTS em SAP (*System Analysis and Program development*) dentro de um período de tempo, dividido pela duração do período.
 - Taxa de *bits* garantida: é a garantia do número de *bits* emitido pelo UMTS em SAP dentro de um período de tempo dividido pela duração do período. O tráfego superior a taxa de bits garantida, torna-se não confiável ou não garantido.

- Ordem de entrega (s/n): indica se o portador UMTS deve seguir a seqüência de entrega SDU (*Service Data Unit*) ou não.
- Tamanho máximo do SDU (octetos): indica o tamanho máximo permitido para o SDU.
- Formato de informações SDU (*bits*): traz a lista de tamanhos exatos permitidos para SDUs.
- Taxa de erro SDU: indica a taxa de SDUs perdidos ou errados.
- Taxa residual de erro de *bits*: indica a razão do erro que ocorreu até as SDUs serem entregues. Caso não haja detecção de erros, a taxa de erro residual se torna igual à taxa de erro de *bits* nos SDUs entregues.
- Entrega de SDUs erradas (s, n, -): indica se as SDUs detectadas com erro devem ser descartadas ou entregues.
- Atraso de transferência (MS): indica o prazo máximo de 95% da distribuição de atraso para todas as SDUs entregues durante o serviço de suporte. O atraso de um SDU pode ser definido como o intervalo de tempo a partir de uma solicitação de transferência de um SDU, até a entrega final.
- Tráfego prioritário: especifica a importância para o tratamento de todas as SDUs pertencentes ao portador UMTS em comparação com a de outros portadores de SDUs.
- Atribuição/ Prioridade de retenção: especifica a importância relativa comparada com outros portadores de UMTS.
- Estatística descritiva (“discurso” / “desconhecido”): especifica as características das SDUs apresentadas.

Quando várias redes estão envolvidas, o *end to end bearer service* é definido como a composição dos serviços das diferentes redes ao longo do caminho fim-a-fim. Na arquitetura UMTS, o *end-to-end bearer service* pode ser dividido em três componentes principais [50]:

- TE/MT (*Terminal Equipment/Mobile Terminal*) *local bearer service*: permite a comunicação entre os diferentes componentes de uma estação móvel. Esses

componentes correspondem ao MT, que é responsável pela conexão física com a UTRAN por meio da interface aérea, e um ou mais dispositivos de usuário, tais como *laptops* e telefones móveis tradicionais.

- *UMTS bearer service*: é oferecido pela operadora. Provê QoS dentro da rede UMTS e realiza as funções necessárias para o inter-funcionamento com as redes externas. Esse serviço ainda é composto do RAB (*Radio Access Bearer*) Service e do CN (*Core Network*) *bearer service*.
- *External bearer service*: conecta a CN do UMTS e o nó de destino localizado em uma rede externa. Esse serviço pode utilizar o transporte IP ou outras alternativas.

Os componentes para provisão de QoS na arquitetura UMTS são apresentados na Figura 4.10.

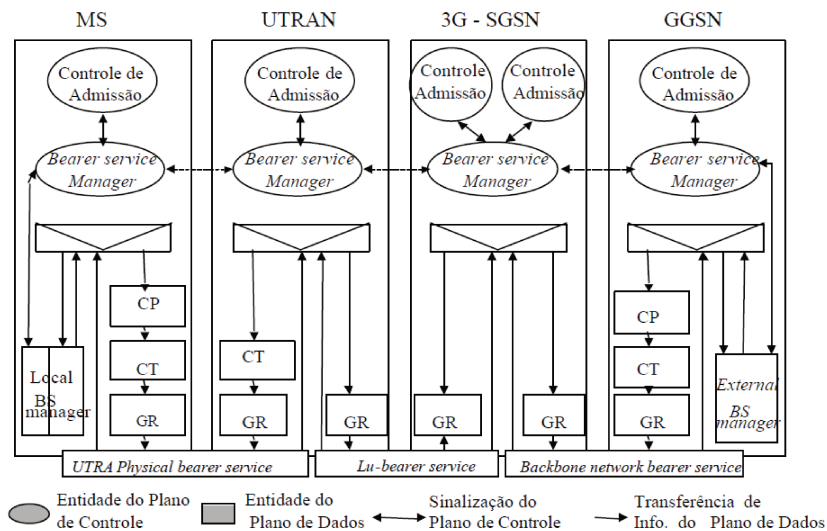


Figura 0.10 - Componentes da arquitetura de QoS

Um elemento responsável pelo controle de admissão é incluído em todos os nós a fim de determinar se os recursos requisitados pelos *bearer services* estão disponíveis e reservá-los em caso positivo. O *bearer service manager* coordena a sinalização do plano de controle e traduz os atributos de QoS nos atributos suportados por um determinado *bearer service*. O GR (Gerente de

Recurso) é responsável por gerenciar o acesso aos recursos de acordo com o *bearer service* particular.

O CT (Condicionador de Tráfego) suaviza ou policia o tráfego de forma que este continue com o comportamento que foi especificado e respeite o acordo na manutenção do contrato estabelecido na fase de admissão e alocação de recursos.

O próximo capítulo descreve como o experimento foi realizado, e de que forma os parâmetros de qualidade são analisados para verificar se a tecnologia 3G encontra-se apta a ser utilizada no desenvolvimento do canal de retorno da TV digital brasileira.

Capítulo 5

Simulação

5.1 Captura de pacotes

PARA a captura de pacotes na rede foi utilizado o *software Wireshark*, que analisa o tráfego da rede, e o organiza por protocolos.

A Figura 5.1 mostra a tela de captura de pacotes do *software* organizada por protocolos.

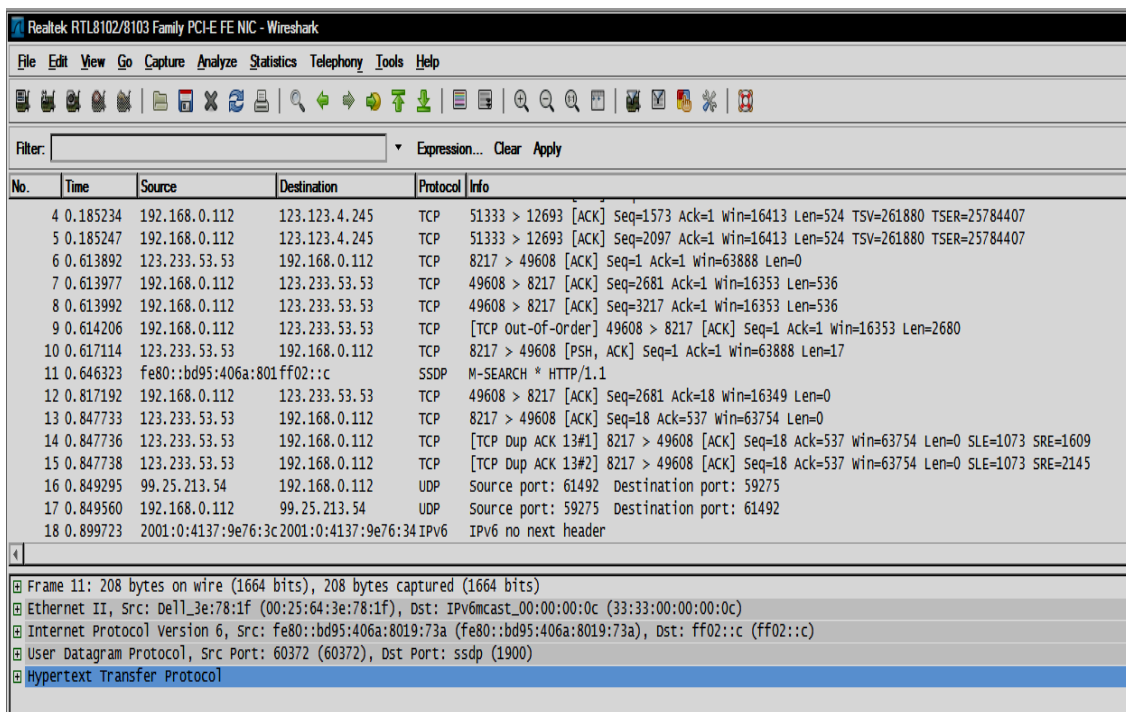


Figura 0.1 - Tela de captura do *software Wireshark*

Para as análises feitas foi utilizado somente o protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*). Esse protocolo é orientado a conexão, especificando o formato de dados e as confirmações na transferência de dados entre dois computadores de forma confiável e os procedimentos para que os dados cheguem de forma correta e segura.

O protocolo TCP tem como principal característica a transferência de dados confiável fim-a-fim, onde todo pacote transmitido requer um ACK (*Acknowledge*), que nada mais é que um pacote de reconhecimento, onde ocorre uma recuperação de dados perdidos, descarte de dados duplicados e reorganização de dados recebidos fora de ordem. Além disso, deve-se proporcionar uma comunicação bidirecional entre cliente e servidor e também uma função de seqüenciamento, onde os *bytes* de segmentos são numerados de forma a garantir a entrega em ordem e a detecção e eliminação de duplicatas.

O protocolo UDP (*User Datagram Protocol*) é um protocolo não orientado a conexão e pouco confiável, já que não há técnicas para confirmar se os dados chegaram corretamente. Esse protocolo faz a entrega de mensagens independentes, designadas por datagramas, que podem ser perdidos ou entregues fora de ordem. Ele não foi utilizado nos testes por não garantir a confiabilidade de entrega dos pacotes.

No *software Wireshark* foi utilizado a função *filter* a fim de filtrar os pacotes capturados. Ao final do envio dos pacotes, essa função foi utilizada para filtrar apenas os pacotes que foram enviados pelo IP do cliente que possuem o protocolo TCP.

5.2 Redes Simuladas

Para a simulação do envio de pacotes foi desenvolvido um programa em Java com a função de simular um cliente-servidor. A Figura 5.2 mostra as janelas utilizadas no programa.

No programa já foi especificado o uso do protocolo TCP, como pode ser visto nas figuras 5.2a e 5.2b. A Figura 5.2a, mostra a janela servidor. Na entrada *port*, utilizou-se portas superiores a 1000, para evitar o bloqueio do *firewall* do *Windows*. O campo *packets received* mostra o contador

dos pacotes recebidos que foram enviados pelo cliente, e o campo *server IP*, mostra o IP do servidor.

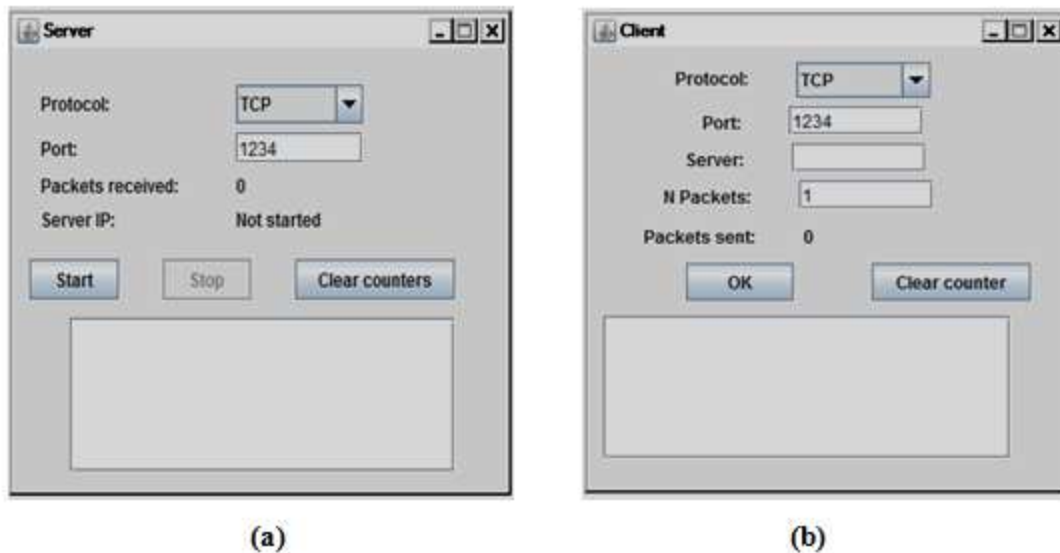


Figura 0.2 - (a)Aplicativo em Java servidor (b)Aplicativo em Java cliente

A Figura 5.2b mostra a janela cliente. Na entrada *port*, utilizou-se portas superiores a 1000, para evitar o bloqueio do *firewall* do Windows. Na entrada *server* é colocado o IP do servidor. No campo *N packets* é colocado a quantidade de pacotes que se deseja enviar. No caso dessa simulação foram utilizados 100, 1000, 10000 e 100.000 pacotes. E o campo *packets send* mostra o contador de envio de pacotes para o servidor.

O experimento foi realizado conforme mostra a Figura 5.3.

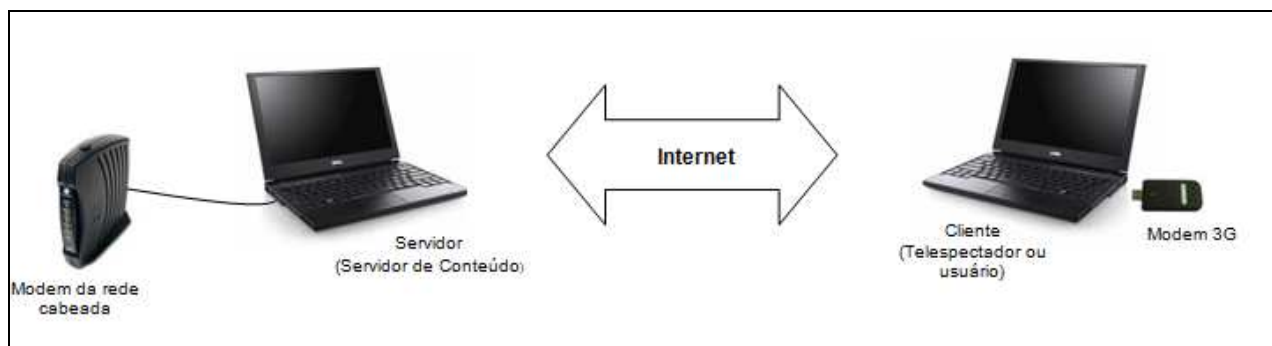


Figura 0.3 - Diagrama do experimento.

Um computador foi ligado ao *modem* da rede cabeada com a função de servidor, representando um servidor de conteúdo, e outro computador foi ligado a um *modem* de rede 3G com a função de cliente, representando um telespectador ou usuário. A aplicação em Java mostrada anteriormente na Figura 5.2 foi instalada nos computadores utilizados, sendo que a parte *server* (Figura 5.2a) foi instalada no computador com a função de servidor e a parte *client* (Figura 5.2b) foi instalada no computador com a função cliente, respectivamente.

A característica de cliente-servidor descreve a relação de programas em um aplicativo. O servidor fornece uma função ou serviço a um ou mais clientes que iniciam os pedidos de serviços. Os clientes podem enviar requisições de dados para algum servidor que esteja conectado a ele e esperar pela resposta. Por sua vez, o(s) servidor(es) disponível(is) pode(m) aceitar as requisições, processá-las e retornar o resultado para o cliente. De uma forma geral, pode-se resumir as características principais de um cliente e de um servidor. O cliente sempre inicia pedidos de servidores, espera por respostas, recebe respostas e pode conectar-se a um pequeno número de servidores de uma só vez. O servidor sempre espera por um pedido de um dos clientes, serve os clientes pedidos e responde com os dados solicitados pelo cliente e pode conectar-se a outros servidores a fim de atender uma solicitação do cliente.

5.3 Testes

Para a realização dos testes procurou-se manter um cenário real, já que os testes visam testar um canal de retorno utilizado por telespectadores comuns dentro de seus lares. O cenário real foi utilizado também pela dificuldade de se simular esse ambiente utilizando algum *software*.

Os testes foram feitos em um ambiente *indoor* sem obstáculos, *indoor* com obstáculos, e testes *outdoor* com longa distância (13km) entre o cliente e o servidor.

Nos testes, o servidor manteve-se ligado sempre à rede cabeada, e o cliente esteve ligado à rede 3G. Foram utilizados os serviços das 4 operadoras que oferecem o serviço de *internet* 3G no mercado brasileiro, a fim de comparar qual delas oferecia melhor qualidade de serviço.

Foi feito o envio de diferentes quantidades de pacotes, sendo essas iguais a 100, 1000, 10000 e 100000 pacotes para testar a estabilidade da rede em transmissões de pacotes pequenas e grandes, já que haver a variação do sinal das redes 3G, sendo que poder ir de um sinal fraco, que corresponde a 2G(EDGE-Enhanced Data rates for GSM Evolution) até um sinal ótimo que corresponde as transmissões HSDPA(3,5G). Foi feito o envio de diferentes quantidades de pacotes, já que quando era feito o envio de uma única e elevada quantidade de pacotes, ocorria erros tanto no software Wireshark, quanto no aplicativo servidor cliente. Durante todo o envio dos pacotes, o *software Wireshark* fez a captura dos pacotes, e ao fim de cada envio, a filtragem foi feita, para que somente os pacotes vindos do IP do cliente fossem analisados.

Por meio do *software Wireshark* foram gerados gráficos sobre o tempo de envio o que permitiu que fosse feita a análise da latência dos pacotes. Também, por meio das tabelas geradas, foi possível determinar a quantidade de pacotes perdidos em cada envio. A análise desses resultados foi uma análise empírica para testar o funcionamento da interface 3G. Nos testes realizados foram escolhidas a latência e a perda de pacotes como parâmetros de qualidade de serviço (QoS) das redes 3G testadas, a fim de determinar qual(is) operadoras oferecem um serviço 3G com melhor qualidade de serviço, sendo dessa forma suscetíveis de serem adotadas como meio de transmissão do canal de retorno da TV digital brasileira.

5.4 Problema abordado

A recente implantação da TV digital brasileira não veio com um dos seus maiores atrativos, que é a interatividade. Diante disso procuram-se soluções viáveis para a que seja estruturado um canal de retorno que esteja disponível a todas as camadas da população.

Diante disso as tecnologias de 3ª geração da telefonia celular vêm conquistando muitos adeptos e facilitando muito a vida dos usuários, possibilitando a conexão com a *internet* e velocidades comparáveis às da banda larga convencional de um computador ou *laptop*

utilizando *modems* ou cartões de dados. Além disso, utilizando-se um *smartphone* 3G, é possível o acesso a *e-mails*, podendo-se navegar pela *rede* com maior rapidez, tornando também muito mais rápidos os *downloads* de arquivos como jogos, músicas e vídeos. Além disso, são possíveis aplicações como vídeo-chamada.

Atualmente essa tecnologia proporciona maiores taxas de transmissão de dados e melhor qualidade dos serviços de voz.

Devido às vantagens oferecidas por essa tecnologia, surgiu a motivação para que esse tipo de tecnologia fosse usado para estruturar um possível canal de retorno da televisão digital brasileira, que se encontra em fase de testes e de expansão.

A televisão é um dos meios de comunicação e diversão acessível à maioria da população, utilizado durante todo o dia. Devido a isso, os testes foram feitos no ambiente real de um telespectador normal e em diferentes horários, já que em alguns horários há picos de utilização desse serviço, podendo ocorrer uma maior lentidão do sistema. Os testes iniciavam por volta das 9hs e iam até aproximadamente 22hs, sendo que o sistema foi testado dessa forma, durante todo o dia. As redes 3G têm variação contínua do sinal, fatores esses que foram determinantes na análise.

Capítulo 6

Apresentação e Análise de Resultados

NESTE capítulo têm-se os resultados obtidos no experimento que foi descrito no capítulo anterior. A cidade onde os experimentos foram realizados foi em Campinas/SP.

O objetivo deste trabalho é verificar se as operadoras 3G oferecem um serviço de qualidade para ser utilizado em uma futura estruturação do canal de retorno da TV digital. Devido a isso, os testes foram realizados em ambientes comuns à maioria dos usuários procurando-se aproximar o mais possível da realidade dos usuários desse serviço. O primeiro teste proposto foi um teste *indoor* sem obstáculos, onde tanto o cliente quanto o servidor estavam em um mesmo ambiente, no caso um apartamento no centro da cidade, sem nenhum tipo de obstáculo entre o modem e a ERB (Estação Rádio Base). O segundo teste chamado de *indoor* com obstáculos foi feito também dentro de um apartamento no centro da cidade, porém com 2 paredes de obstáculo entre o modem 3G e a ERB. No terceiro teste, chamado de *outdoor*, o cliente estava em outro apartamento no bairro Barão Geraldo, aproximadamente a 13km do centro da cidade, ou seja quase fora da região urbana, afim de testar a estabilidade da rede e o nível de sinal .

Foi observado que quando se fazia um único envio de uma grande quantidade de dados, havia muita instabilidade na rede, o que acarretava muitas vezes que o aplicativo em Java de envio de dados e o *software Wireshark* parassem de funcionar. Para solucionar esse problema cada um dos testes foi separado em quatro experimentos, onde foram enviados, no experimento

1 uma quantidade de 100 pacotes, no experimento 2 uma quantidade de 1.000 pacotes, no experimento 3 uma quantidade de 10.000 pacotes e no experimento 4 uma quantidade de 100.000 pacotes, sendo que cada um desses experimentos foram repetidos 20 vezes, o que facilitou a análise da estabilidade da rede e garantiu uma análise correta dos dados. Para traçar os histogramas foi feito uma média com os resultados obtidos nos 4 experimentos realizados em cada um dos testes. Dessa forma, por meio desses três testes propostos mediu-se a latência e a perda de pacotes. Os dados foram organizados em tabelas, para facilitar a análise. A Tabela 6.1 mostra o modelo de tabela utilizado para organizar os dados em cada um dos experimentos.

Tabela 0.1- Modelo de tabela para organização dos dados coletados.

| <div>Operadora</div> <div>Nº pacotes</div> | Latência (ms) | | | |
|--|---------------|-------|--------|---------|
| | 100 | 1.000 | 10.000 | 100.000 |
| Operadora 1 | | | | |
| Operadora 2 | | | | |
| Operadora 3 | | | | |
| Operadora 4 | | | | |

Os histogramas foram analisados conforme uma distribuição normal, já que foram baseados no teorema do limite central, como pode ser visto na Figura 6.1. Foi utilizado parâmetros estatísticos como a média (μ) e o desvio padrão (σ). Define-se também o parâmetro Δ , que pode ser calculado por meio da equação 6.1, sendo que ele representa a largura da distribuição. Por meio de $\mu + \Delta$ pode-se definir se o sistema está ou não apto para determinadas aplicações, pois esse parâmetro determina a máxima latência possível, no caso desse trabalho os testes foram feitos utilizando-se o envio de dados.

$$\Delta = 2\sigma \quad (6.1)$$

Já para os histogramas que apresentavam concentrações em duas regiões, foi utilizada a equação 6.2, que calcula a porcentagem dos dados nas partes com menor concentração a fim de

verificar se a mesma influenciaria na estabilidade da rede ou se tratava somente de uma anomalia da rede que poderia ser desprezada.

$$CA = \frac{n}{N} \quad (6.2)$$

Onde CA é a concentração de pacotes anômalos, n é o número de pacotes de menor concentração e N é o número total de pacotes.

Caso o valor de CA seja alto, ocorre uma influência da anomalia no sistema, acarretando também uma variação nos parâmetros μ e Δ .

A Figura 6.1 mostra o gráfico de comportamento de uma distribuição normal.

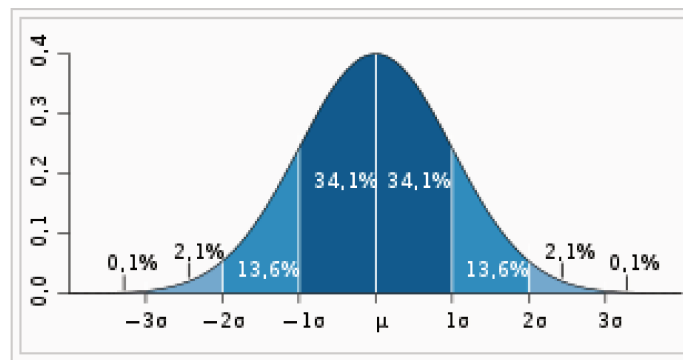


Figura 0.1- Distribuição normal [64]

6.1 Testes indoor sem obstáculo

O primeiro teste realizado foi chamado de teste *indoor* sem obstáculo. Têm-se abaixo os resultados obtidos.

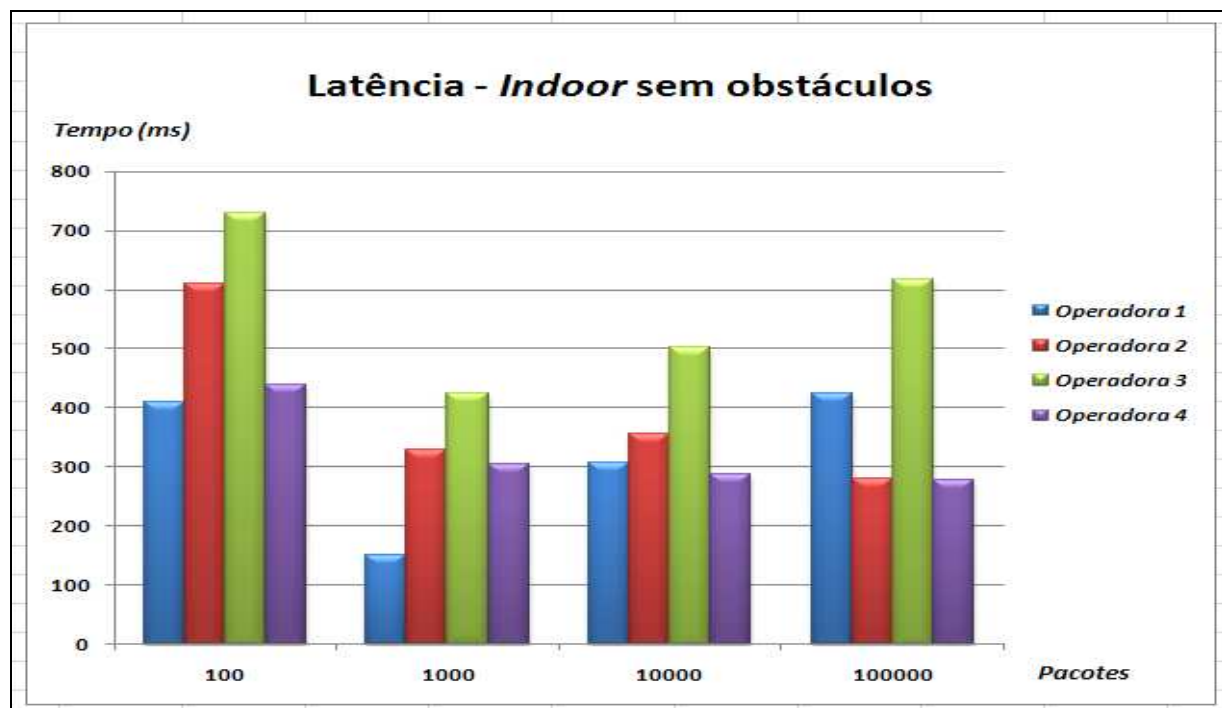
6.1.1 Latência

A Tabela 6.1 apresenta os valores de latência média por pacote (ms) nos quatro experimentos feitos.

Tabela 0.2 – Latência para o teste *indoor* sem obstáculo

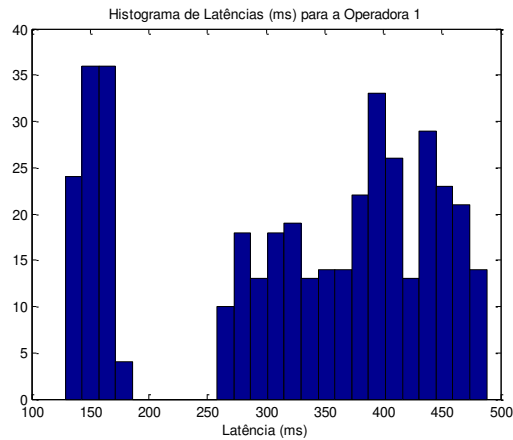
| Operadora | <i>Latência média de pacote (ms)</i> | | | |
|--------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Experimento 1 | Experimento 2 | Experimento 3 | Experimento 4 |
| Operadora 1 | 410 | 151 | 308 | 425 |
| Operadora 2 | 610 | 328 | 355 | 279 |
| Operadora 3 | 730 | 424 | 503 | 617 |
| Operadora 4 | 440 | 304 | 288 | 278 |

A Figura 6.2 mostra o gráfico dos valores de latência média para cada um dos experimentos realizados.

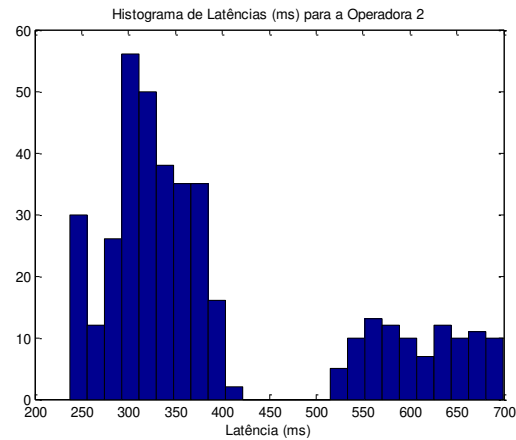
Figura 0.2 - Gráfico da latência para o teste *indoor* sem obstáculo

A Figura 6.3 mostra o histograma das latências (ms).

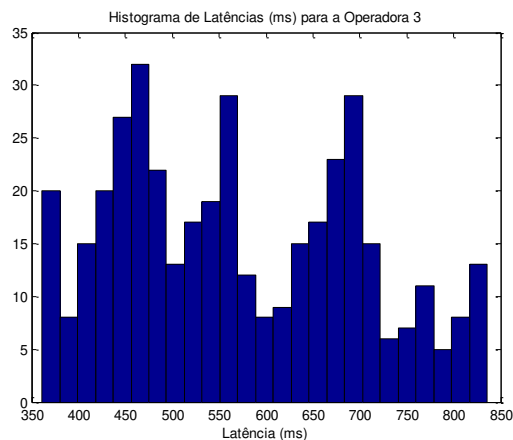
Observou-se na Figura 6.3 (a) que há uma menor concentração de dados à esquerda. Nas figuras 6.3 (b) e (d) há uma menor concentração de dados à direita. Já na Figura 6.3 (c) a concentração foi ao longo de todo histograma aproximando-se dessa forma de uma distribuição normal. Porém, as figuras 6.3 (a), (b) e (d) apresentam também, comportamento de distribuição normal para os grupos de dados mais significativos (fora das anomalias).



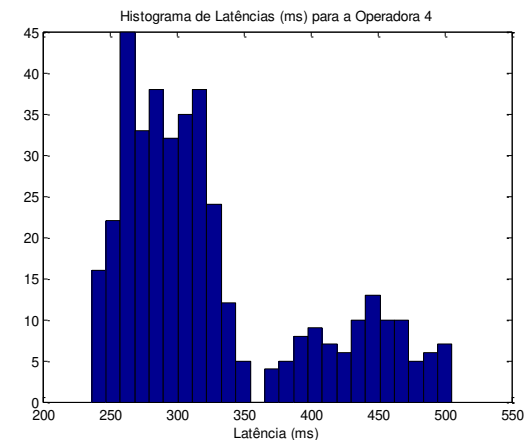
a) Operadora 1



b) Operadora 2



c) Operadora 3



d) Operadora 4

Figura 0.3– Histograma de latências (ms)

6.1.2 Perda de Pacotes

A Tabela 6.2 mostra a perda média de pacotes em cada um dos experimentos realizados para o teste *indoor* sem obstáculo.

Tabela 0.3 – Perda de pacotes para o teste *indoor* sem obstáculo

| Operadora | Perda de Pacotes (%) | | | |
|-------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|
| | Experimento 1 | Experimento 2 | Experimento 3 | Experimento 4 |
| Operadora 1 | 0,000 | 0,000 | 0,150 | 0,544 |
| Operadora 2 | 2,000 | 0,800 | 1,630 | 1,511 |
| Operadora 3 | 0,000 | 7,000 | 4,220 | 4,132 |
| Operadora 4 | 0,000 | 0,300 | 0,530 | 0,610 |

A Figura 6.4 mostra os valores médios de perda de pacotes para cada experimento realizado.

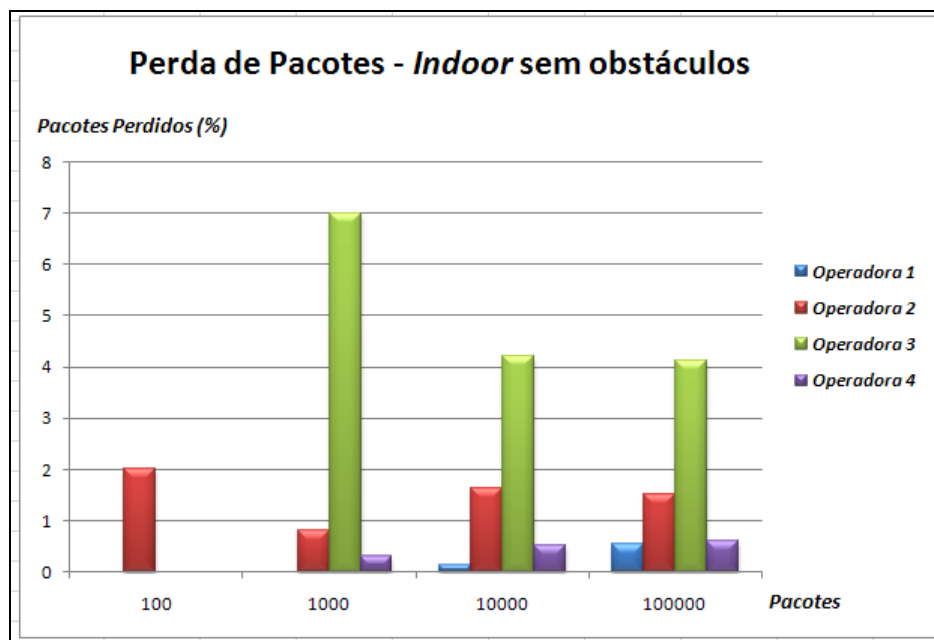


Figura 0.4 - Gráfico da perda de pacotes para testes *indoor* - sem obstáculo

A Figura 6.5 mostra o histograma de perda de pacotes (%).

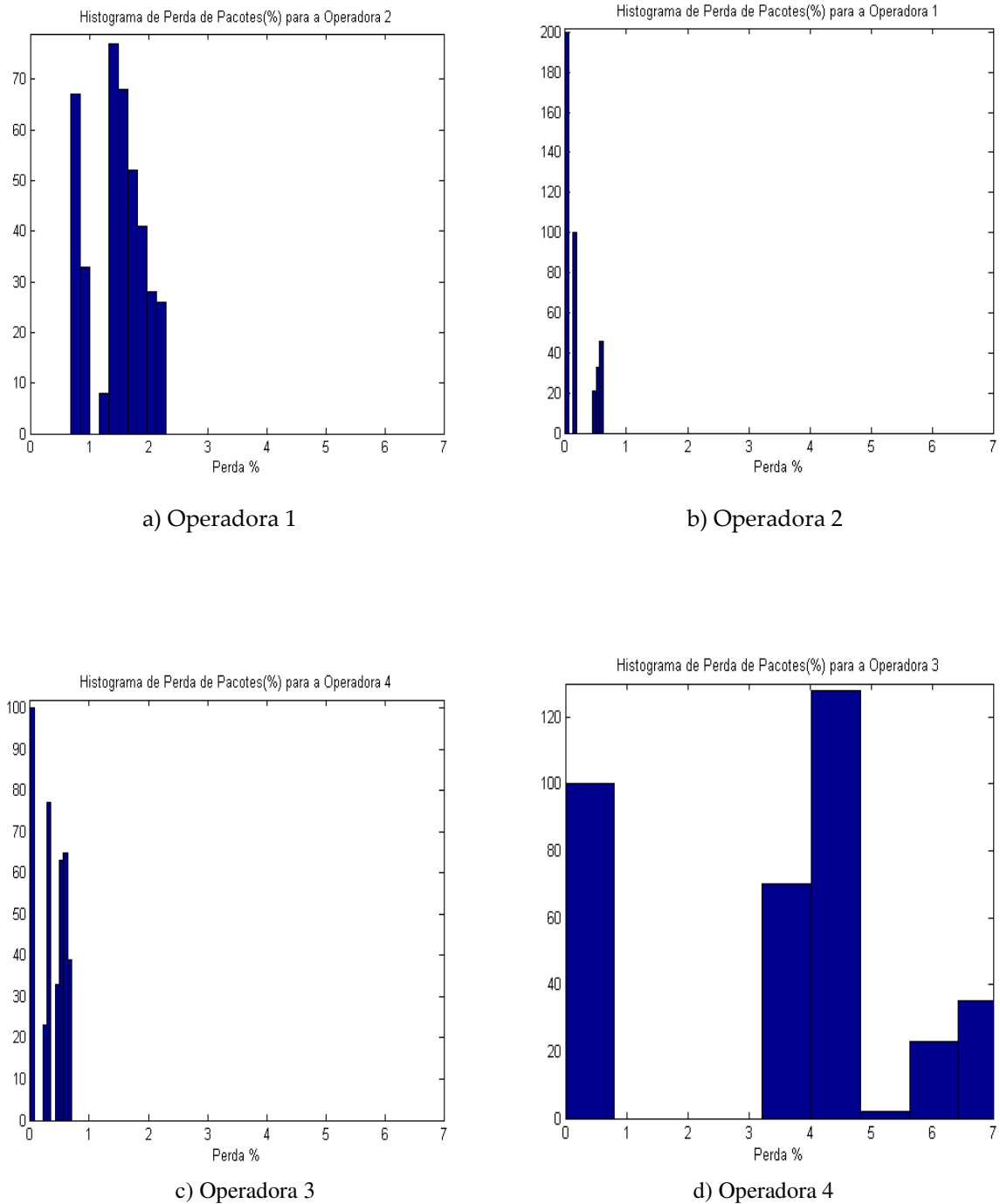


Figura 0.5 – Histogramas de perda de pacotes (%).

Observa-se nas figuras 6.5 (a) e (d) que as perdas não ultrapassam 1%. Na Figura 6.5 (b), a perda foi superior a 1%, mas não ultrapassou 3%. Já para a Figura 6.5(c), uma pequena concentração de dados apresentou perdas inferiores a 1%, e a maior concentração teve perdas maiores do que 3%.

6.2 Testes indoor com obstáculo

O segundo teste realizado foi chamado de teste *indoor* com obstáculo. Têm-se abaixo os resultados obtidos.

6.2.1 Latência

A Tabela 6.3 apresenta os valores de latência média por pacote (ms) nos experimentos feitos.

Tabela 0.4 – Latência para o teste *indoor* com obstáculo

| Operadora | <i>Latência média de pacote (ms)</i> | | | |
|--------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Experimento 1 | Experimento 2 | Experimento 3 | Experimento 4 |
| Operadora 1 | 650 | 356 | 325,4 | 531,10 |
| Operadora 2 | 1470 | 1034 | 1170,2 | 1135,09 |
| Operadora 3 | 400 | 549 | 590,8 | 530,43 |
| Operadora 4 | 410 | 296 | 350,7 | 366,56 |

A Figura 6.6 mostra o gráfico de latência para cada um dos experimentos realizados.

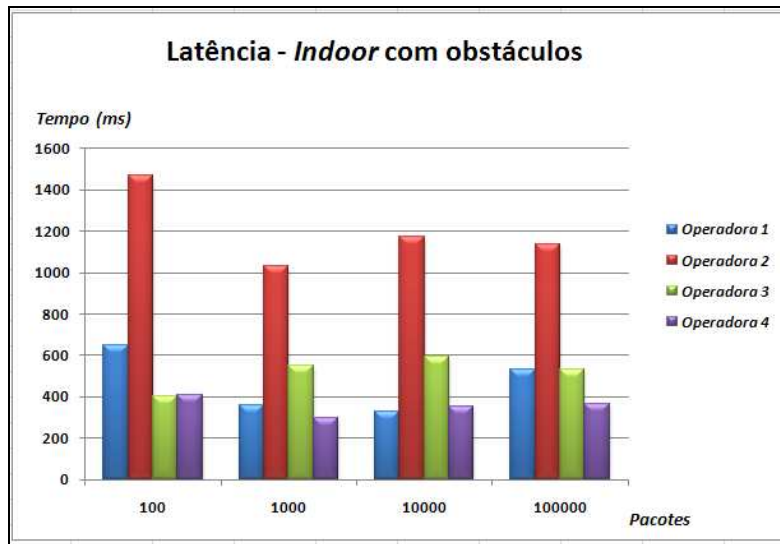
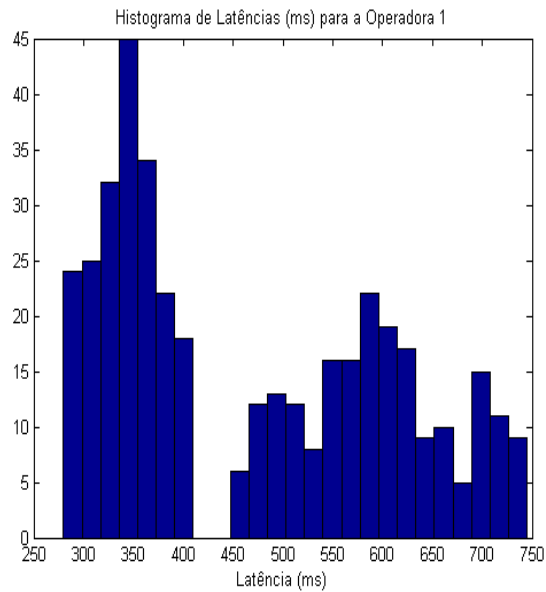
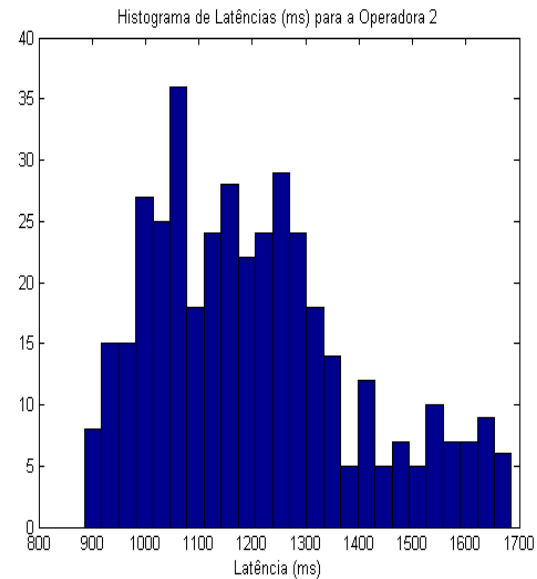


Figura 0.6 - Gráfico da latência para o teste *indoor* com obstáculo

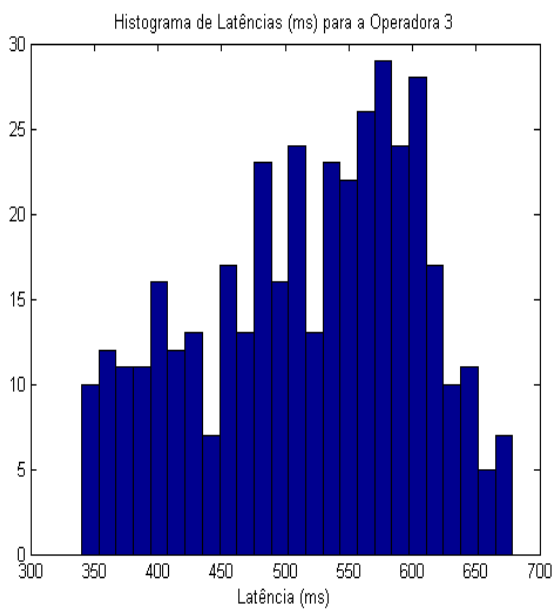
A Figura 6.7 mostra o histograma das latências (ms).



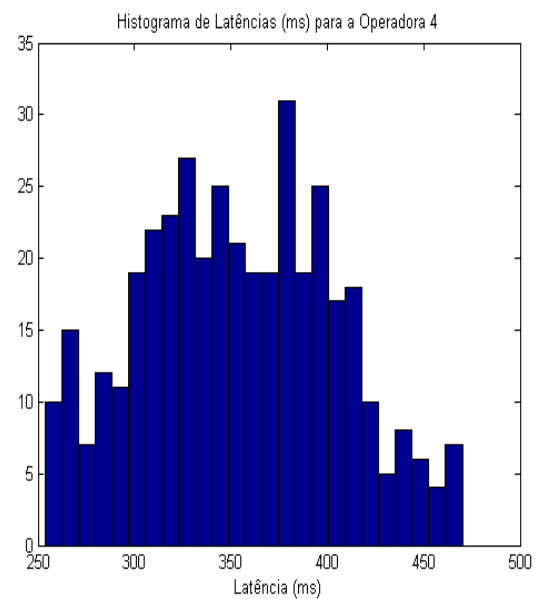
a) Operadora 1



b) Operadora 2



c) Operadora 3



d) Operadora 4

Figura 0.7- Histogramas de latências (ms)

Observa-se na Figura 6.7(a) que há uma menor concentração de dados à esquerda. Nas figuras 6.7(b), (c) e (d), a concentração ocorre ao longo de todo o histograma, aproximando-se

dessa forma de uma distribuição normal. Porém, na Figura 6.7(a) nota-se também, um comportamento de distribuição normal para os grupos de dados mais significativos (fora das anomalias).

6.2.2 Perda de pacotes

A Tabela 6.4 mostra a perda média de pacotes em cada um dos experimentos realizados para o teste *indoor* com obstáculo.

Tabela 0.5 – Perda de pacotes para o teste *indoor* com obstáculo

| Operadora | Perda de Pacotes (%) | | | |
|--------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Experimento 1 | Experimento 2 | Experimento 3 | Experimento 4 |
| Operadora 1 | 0, 000 | 0, 700 | 0, 240 | 1, 351 |
| Operadora 2 | 1, 000 | 0, 800 | 4, 860 | 44, 403 |
| Operadora 3 | 1, 000 | 1, 300 | 1, 180 | 0, 871 |
| Operadora 4 | 0, 000 | 0, 200 | 0, 850 | 1, 040 |

A Figura 6.8 mostra os valores médios de perda de pacotes para cada experimento realizado.

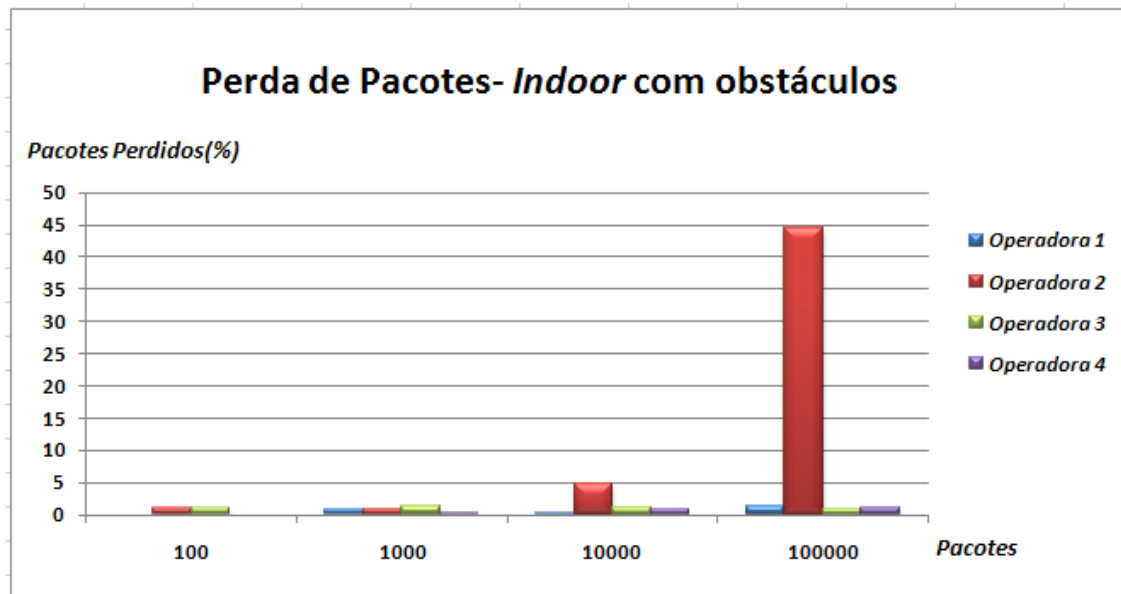
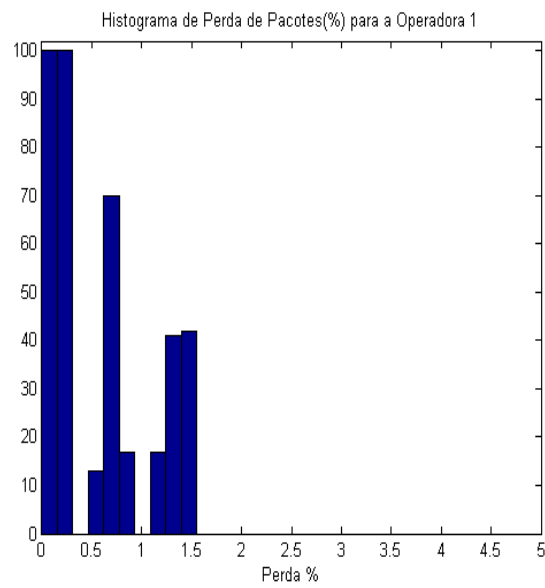
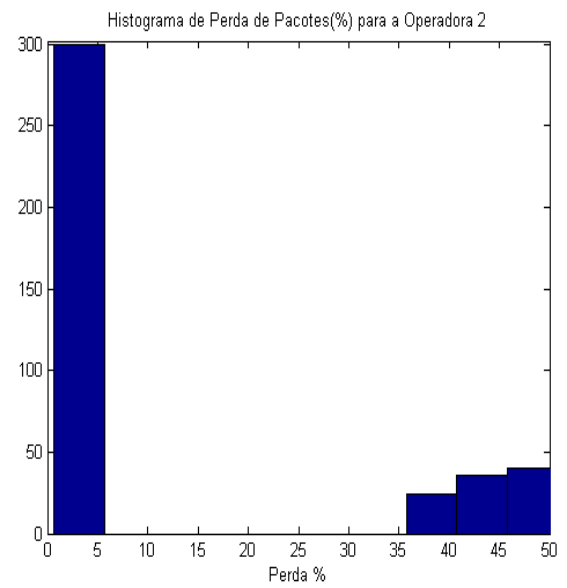


Figura 0.8 - Gráfico de perda de pacotes para testes *indoor* com obstáculo

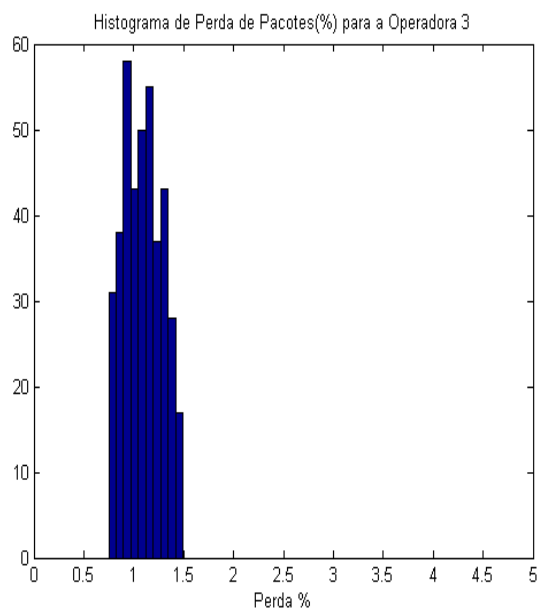
A Figura 6.9 mostra o histograma de perda de pacotes (%).



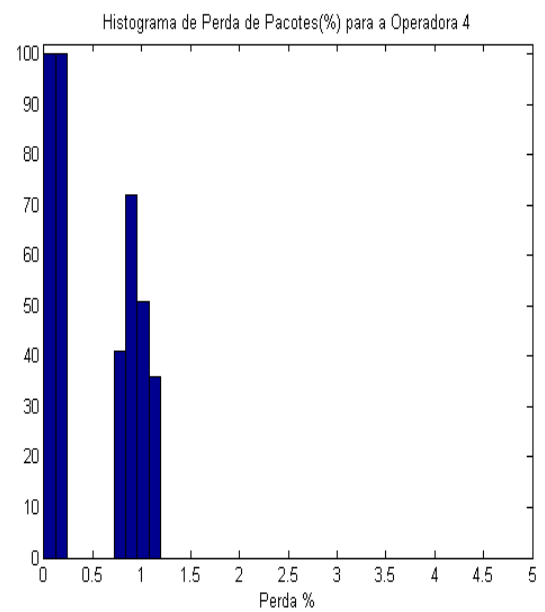
a) Operadora 1



b) Operadora 2



c) Operadora 3



d) Operadora 4

Figura 0.9- Histogramas de perda de pacotes (%).

Observa-se nas figuras 6.9(a), (c) e (d) que a perda de pacotes não supera 1.5%. Já na Figura 6.9(b) pode-se notar que uma pequena concentração tem perdas entre 1% e 5%, e uma maior concentração tem perdas acima de 35%.

6.3 Testes outdoor

6.3.1 Latência

A Tabela 6.5 apresenta os valores de latência média por pacote (ms) nos experimentos feitos.

Tabela 0.6 – Latência média para o teste *outdoor*.

| Operadora | Latência média de pacote (ms) | | | |
|--------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Experimento 1 | Experimento 2 | Experimento 3 | Experimento 4 |
| Operadora 1 | 440 | 254 | 236,9 | 281,28 |
| Operadora 2 | 1080 | 917 | 940,6 | 986,71 |
| Operadora 3 | 340 | 364 | 280,4 | 305,84 |
| Operadora 4 | 490 | 319 | 256,1 | 278,22 |

A Figura 6.10 mostra um gráfico de latência para cada um dos experimentos realizados.

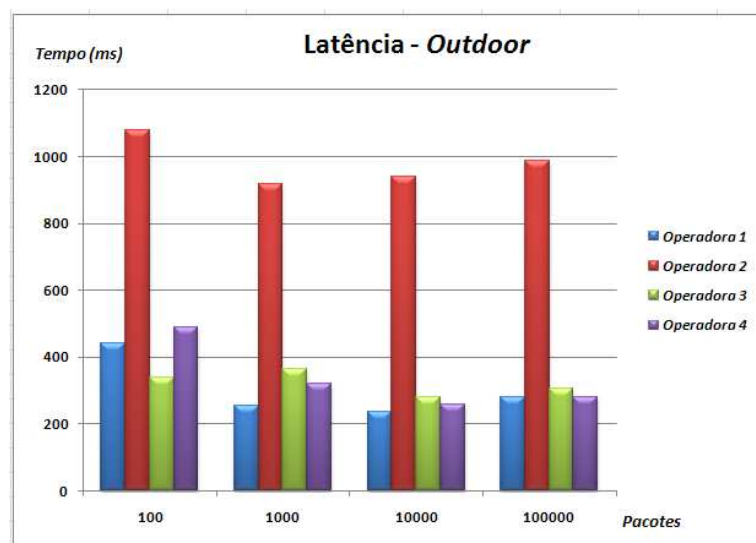
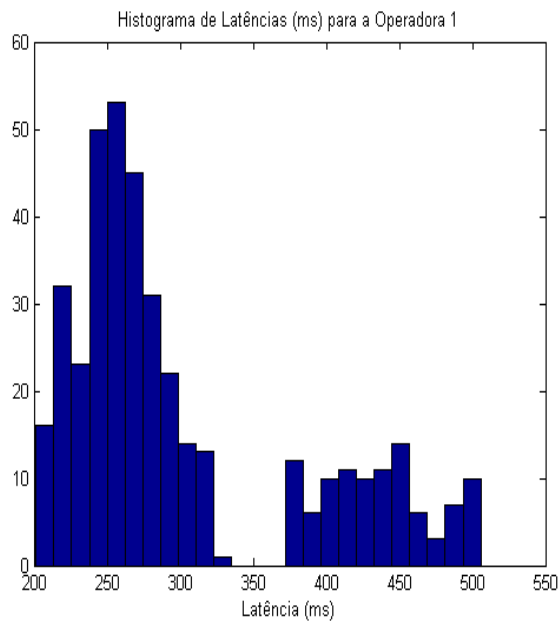
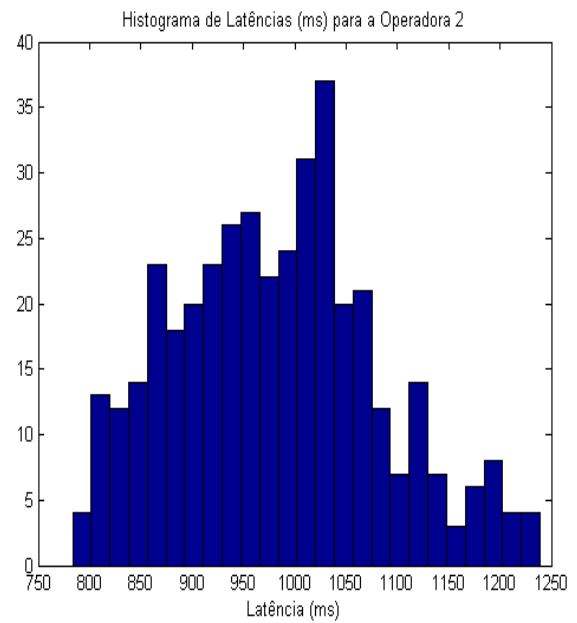


Figura 0.10 - Gráfico da latência para teste *outdoor*

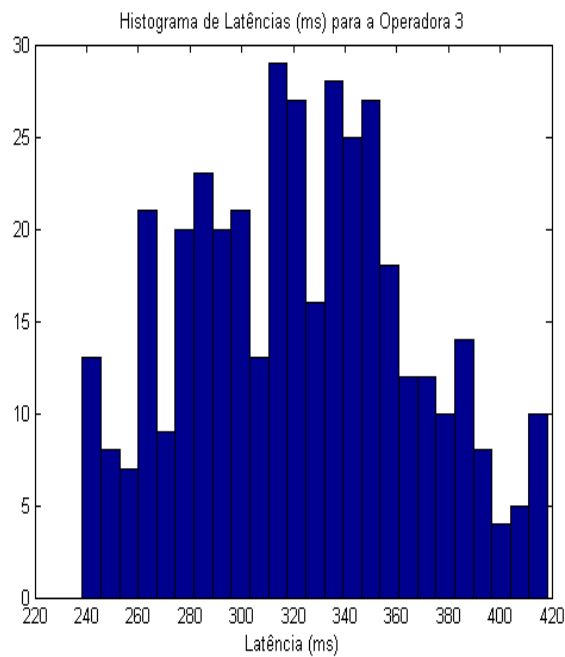
A Figura 6.11 mostra o histograma das latências (ms).



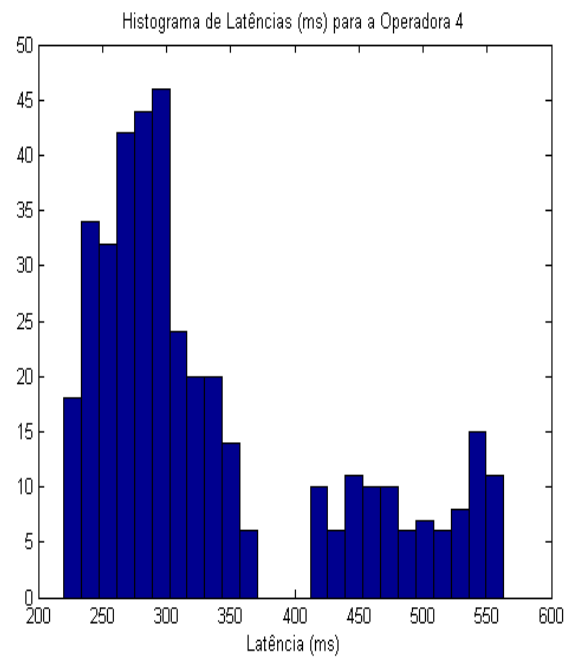
a) Operadora 1



b) Operadora 2



c) Operadora 3



d) Operadora 4

Figura 0.11 – Histogramas de latências (ms)

Observa-se nas figuras 6.11(a) e (d) que há uma menor concentração de dados à direita. Nas figuras 6.11(b) e (c) a concentração ocorre ao longo de todo o histograma aproximando-se dessa forma de uma distribuição normal. Nas figuras 6.11 (a) e (d) nota-se um comportamento de distribuição normal para os grupos de dados mais significativos (fora das anomalias).

6.3.2 Perda de Pacotes

A Tabela 6.6 mostra a perda média de pacotes em cada um dos experimentos realizados para o teste *outdoor*.

Tabela 0.7– Perda média de pacotes para o teste *outdoor*

| Operadora | Perda de Pacotes (%) | | | |
|--------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Experimento 1 | Experimento 2 | Experimento 3 | Experimento 4 |
| Operadora 1 | 0, 000 | 0, 600 | 0, 660 | 1, 017 |
| Operadora 2 | 1, 000 | 0, 800 | 1, 470 | 1, 203 |
| Operadora 3 | 0, 000 | 2, 800 | 1, 470 | 1, 792 |
| Operadora 4 | 0, 000 | 0, 900 | 1, 430 | 0, 614 |

A Figura 6.12 mostra os valores médios de perda de pacotes para cada experimento realizado.

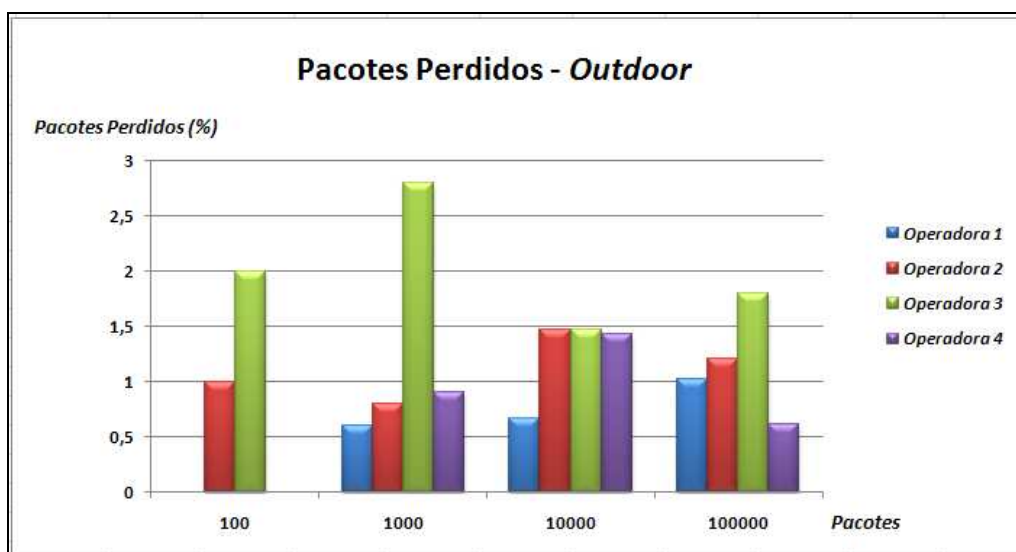
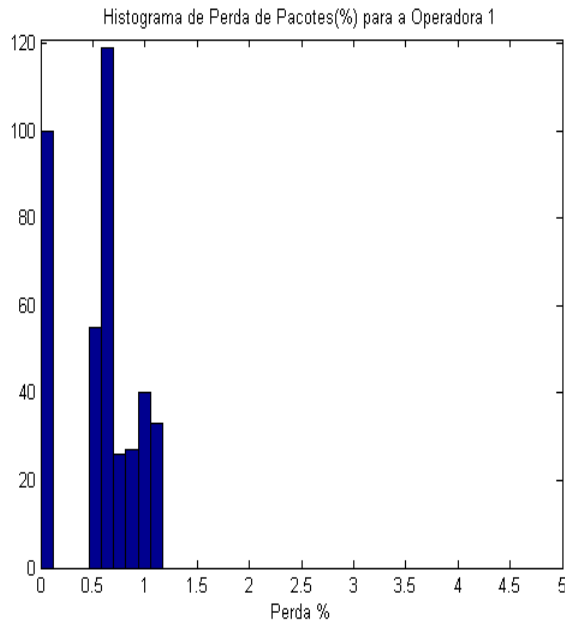
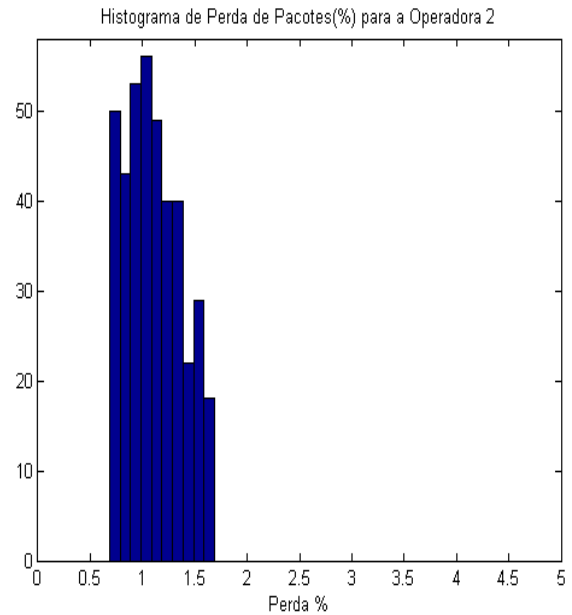


Figura 0.12 - Gráfico de perda de pacotes para testes *outdoor*

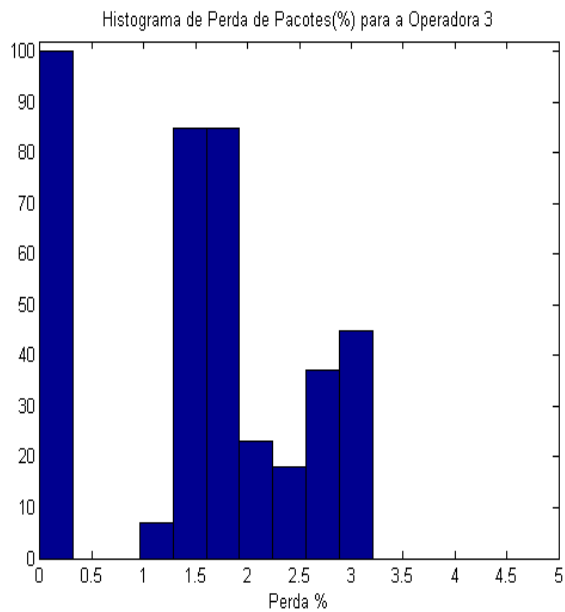
A Figura 6.13 mostra os histogramas de perda de pacotes (%).



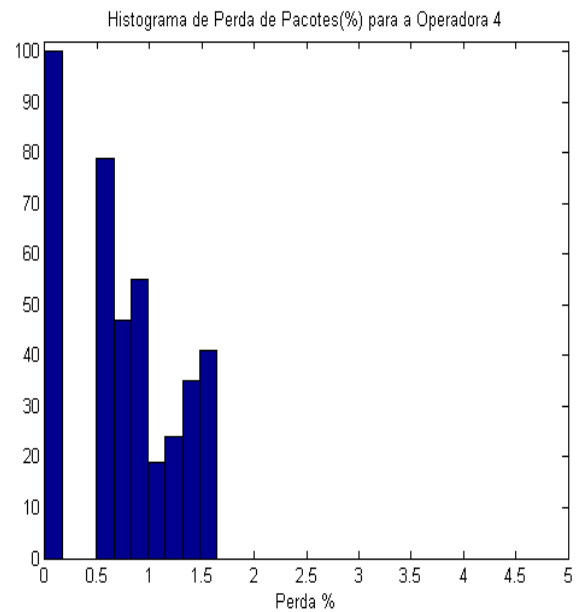
a) Operadora 1



b) Operadora 2



c) Operadora 3



d) Operadora 4

Figura 0.13 – Histogramas de perda de pacotes (%)

Observa-se nas figuras 6.13(a), (b) e (d) que a perda de pacotes não ultrapassa 2%. Já na Figura 6.13(c) há uma pequena concentração que não tem perdas e uma concentração maior onde as perdas ultrapassam 1%, chegando até a 3%.

6.4 Análise dos gráficos

A análise dos gráficos somente pelas médias, como mostram as Figura 6.2 e Figura 6.4 para o teste *indoor* sem obstáculo, Figura 6.6 e Figura 6.8 para o teste *indoor* com obstáculo e Figura 6.10 e Figura 6.12 para o teste *outdoor* é insuficiente para determinar se as operadoras oferecem serviços com qualidade para transmissão de dados visando uma estruturação do canal de retorno da TV digital brasileira. Dessa forma, foi feita também uma análise estatística dos dados coletados durante os experimentos. Os parâmetros de análise foram o $\mu \pm \Delta$ que verifica a latência da rede e a probabilidade de variação da mesma, sendo que a porcentagem de variação (erro) que pode haver na rede é representado pelo Δ . O cálculo de anomalia (CA) mostra a porcentagem de anomalias que pode haver na transmissão, nos casos onde o gráfico apresenta duas concentrações de dados, sendo que as concentrações menores são chamadas de anomalias do sistema. Sob o ponto de vista de perda de pacotes, foi feita uma análise nos gráficos para verificar quais operadoras tiveram uma perda maior do que 1%, e perdas maiores do que 5%, valores esses de referências como vistos na seção 4.6.

A Tabela 6.7 apresenta os dados da análise estatística para o teste *indoor* sem obstáculo.

Tabela 0.8 - Análise estatística para o teste *indoor* sem obstáculo.

| Operadoras | $\mu \pm \Delta(ms)$ | $\Delta(\%)$ | CA | perda de pacotes>1%(%) | perda de pacotes >5% (%) |
|-------------|----------------------|--------------|------|------------------------|--------------------------|
| Operadora 1 | 323±225 | 69,70 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |
| Operadora 2 | 393±272 | 92,50 | 0,25 | 75,00 | 0,00 |
| Operadora 3 | 568± 124 | 21,80 | - | 75,00 | 25,00 |
| Operadora 4 | 328±144 | 43,90 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |

Analisando a Tabela 6.7 referentes aos testes *indoor* sem obstáculo, observa-se que todas as operadoras têm uma latência média alta.

Para a operadora 1 observa-se que a variação da latência, ou erro pode chegar até a 69,70% do valor médio. Em valores absolutos a latência pode chegar até a 548ms. Apesar de ser um valor superior ao limite mostrado na seção 4.6, ele é aceitável para aplicações de baixa prioridade, ou seja, aplicações que não necessitem de muita interação com o servidor, como por exemplo, uma aplicação de votação. Não houve perda de pacotes. Ela pode ser usada somente para transmissão de dados.

Para a operadora 2 observa-se que a taxa de variação da latência pode chegar até a 92,50%. Em valores absolutos a latência pode chegar até a 665ms, sendo aceitável para aplicações de baixa prioridade. Nesse caso, há uma perda considerável de pacotes, onde 75% dos dados enviados tiveram uma perda superior a 1%. Ela pode ser usada somente para transmissão de dados e aplicações de baixa prioridade.

A operadora 3 apresentou a latência média mais alta entre as quatro operadoras nesse teste, e sua variação chega a 21,80% da latência média. Em valores absolutos a latência pode chegar até a 692ms. No caso de perda de pacotes, 75% dos dados transmitidos apresentam perda de pacotes superiores a 1% e 25% têm perdas superiores a 5%. Há uma perda de pacotes considerável. Devido a isso, ela não está apta a nenhum tipo de aplicação.

Para a operadora 4 observa-se que a variação da latência, ou erro pode chegar até a 43,90% do valor médio. Em valores absolutos a latência pode chegar até a 472ms. Não há perda de pacotes. Ela pode ser usada somente para transmissão de dados e aplicações de baixa prioridade.

A Tabela 6.8 apresenta os dados da análise estatística para o teste *indoor* com obstáculo.

Tabela 0.9 - Análise estatística para o teste *indoor* com obstáculo.

| Operadoras | $\mu \pm \Delta(ms)$ | $\Delta(\%)$ | CA | perda de pacotes >1%(%) | perda de pacotes >5%(%) |
|-------------|----------------------|--------------|------|-------------------------|-------------------------|
| Operadora 1 | 472±279 | 59,10 | 0,50 | 25,00 | 0,00 |
| Operadora 2 | 1200±395 | 32,90 | - | 62,50 | 34,75 |
| Operadora 3 | 520±168 | 32,30 | - | 64,00 | 0,00 |
| Operadora 4 | 355±100 | 28,16 | - | 16,50 | 0,00 |

Analisando a Tabela 6.8 referente aos testes *indoor* com obstáculo, observa-se que todas as operadoras também tiveram uma latência média alta.

Para a operadora 1 observa-se que a taxa de variação da latência pode chegar até a 59,10%. Em valores absolutos, a latência pode chegar até a 751ms. Nesse caso, há uma perda considerável de pacotes, onde 25% dos dados enviados apresentam uma perda superior a 1%. Ela pode ser usada somente para transmissão de dados e aplicações de baixa prioridade.

A operadora 2 apresenta a latência média mais alta entre as quatro operadoras nesse teste, e sua variação chega a 32,90% da latência média. Em valores absolutos a latência pode chegar até a 1595ms. No caso de perda de pacotes, 62,50% dos dados transmitidos tem perda de pacotes superiores a 1% e 34,75% têm perdas superiores a 5%. Esse sistema não está apto a nenhum tipo de aplicação proposto.

Para a operadora 3 observa-se que a taxa de variação da latência pode chegar até a 32,30%. Em valores absolutos a latência pode chegar até a 688ms. Nesse caso, há uma perda considerável de pacotes, onde 64% dos dados enviados apresentam uma perda superior a 1%. Ela pode ser usada somente para transmissão de dados e aplicações de baixa prioridade.

Para a operadora 4 observa-se que a taxa de variação da latência pode chegar até a 28,16%. Em valores absolutos a latência pode chegar até a 455ms. Nesse caso, há uma perda considerável de pacotes, onde 16,50% dos dados enviados apresentam uma perda superior a 1%. Ela pode ser usada somente para transmissão de dados e aplicações de baixa prioridade.

A Tabela 6.9 apresenta os dados da análise estatística para o teste *outdoor*.

Tabela 0.10 - Análise estatística para o teste *outdoor*.

| Operadoras | $\mu \pm \Delta(\text{ms})$ | $\Delta(\%)$ | CA | perda de pacotes >1%(%) | perda de pacotes >5%(%) |
|-------------|-----------------------------|--------------|------|-------------------------|-------------------------|
| Operadora 1 | 303±166 | 54.78 | 0.25 | 12.00 | 0.00 |
| Operadora 2 | 979±198 | 20.22 | - | 63.00 | 0.00 |
| Operadora 3 | 322±86 | 26.70 | - | 75.00 | 0.00 |
| Operadora 4 | 337±198 | 58.75 | 0.25 | 29.00 | 0.00 |

Analisando a Tabela 6.9 referentes aos testes outdoor, observa-se que todas as operadoras também apresentam uma latência média alta.

Para a operadora 1 observa-se que a taxa de variação da latência pode chegar até a 54,78%. Em valores absolutos a latência pode chegar até a 469ms. Nesse caso, há uma perda considerável de pacotes, onde 12% dos dados enviados apresentam uma perda superior a 1%. Ela pode ser usada somente para transmissão de dados e aplicações de baixa prioridade.

A operadora 2 apresenta a latência média mais alta entre as quatro operadoras nesse teste, e sua variação chega a 20,22% da latência média. Em valores absolutos a latência pode chegar até a 1177ms. No caso de perda de pacotes, 63% dos dados transmitidos apresentam perda de pacotes superiores a 1%. Esse sistema não está apto a nenhum tipo de aplicação proposta.

A operadora 3 apresenta uma taxa de variação da latência que pode chegar até a 54,78%. Em valores absolutos a latência pode chegar até a 408ms. Nesse caso, há uma perda considerável de pacotes, onde 75% dos dados enviados apresentam uma perda superior a 1%. Ela pode ser usada somente para transmissão de dados e aplicações de baixa prioridade.

Para a operadora 4 observa-se que a taxa de variação da latência pode chegar até a 58,75%. Em valores absolutos a latência pode chegar até a 535ms. Nesse caso, há uma perda considerável de pacotes, onde 29% dos dados enviados apresentam uma perda superior a 1%. Ela pode ser usada somente para transmissão de dados e aplicações de baixa prioridade.

Conclusões

Este trabalho visa analisar as operadoras 3G para uma futura estruturação do canal de retorno da TV digital brasileira. Para isso, utilizam-se *modems* que oferecem o serviço 3G no mercado para as quatro operadoras do mercado brasileiro. Dessa forma, efetuam-se testes simulando-se as condições atuais de um usuário típico a fim de se obter dados que representem como essas operadoras se comportam (estabilidade da rede) no envio de diferentes quantidades de pacotes de dados, sob o ponto de vista de latência da rede e perda de pacotes.

Verifica-se durante a realização dos testes utilizando o aplicativo em Java cliente-servidor, sendo o servidor ligado a rede cabeada e o cliente a rede 3G. Note-se também que a rede sem fio 3G apresenta algumas variações decorrentes de fatores climáticos, cobertura e potência do sinal.

Observa-se na análise dos resultados, que as Operadoras 1, 3 e 4 mantém a latência alta em todos os testes realizados, impossibilitando que as mesmas sejam utilizadas em aplicações de alta prioridade, já que para aplicações em tempo real ou aplicações de alta prioridade a latência não pode ultrapassar 150ms e a perda de pacotes não pode ultrapassar 1%, conforme a seção 4.6 deste trabalho. Essa limitação de serviços mostra que o serviço 3G disponível tem espaço para melhorar nesse aspecto, já que os valores encontrados são aceitáveis apenas para aplicações de baixa prioridade.

A operadora 2 apresenta valores de latência não aceitáveis segundo os critérios vigentes, mesmo para as aplicações de baixa prioridade. Além disso, apresenta uma alta taxa de pacotes perdidos. Assim, segundo os critérios vigentes, por enquanto esse sistema não pode ser aproveitado nem mesmo para transmissão de dados. Há portanto bastante espaço para melhora.

É importante salientar que os testes foram realizados na cidade de Campinas/SP, que é considerada uma área metropolitana importante do estado de São Paulo, mas que apresenta suas próprias particularidades em relação aos serviços oferecidos. Os testes mostram que a tecnologia 3G, ainda um sistema novo, têm muito espaço para melhorias a fim de oferecer um serviço mais rápido e com menores perdas para ser eventualmente aproveitado como canal de retorno da TV digital brasileira.

Tendo em vista que o objetivo dos testes foi analisar se a tecnologia 3G oferece um serviço de qualidade para uma futura estruturação do canal de interatividade da TV digital brasileira, levam-se em consideração os dois parâmetros, tanto a latência quanto a perda de pacotes simultaneamente. Sendo assim, as Operadoras 1, 3 e 4 oferecem com limitação um serviço 3G, que pode ser usado somente para aplicações de baixa prioridade.

Sugere-se assim uma maior atenção por parte das operadoras para que os serviços 3G oferecidos pelas mesmas possam ser disponibilizados com os critérios de qualidade necessários para englobar também as necessidades do sistema brasileiro de televisão digital.

Como trabalho futuro sugere-se testes com sinal específico de interatividade quando (e se) esses novos serviços estiverem (vierem a ser) disponibilizados pelas operadoras.

Referências Bibliográficas

- [1] Zuffo, Marcelo Knorick, TV Digital Aberta no Brasil- Políticas Estruturais para um Modelo Nacional. Acessado em 27/04/09.
- [2] Mendez, Luciano Leonel; Fasolo, Sandro Adriano, Introdução a Televisão Digital, INATEL. Acessado em 20/04/09.
- [3] Schiefler, Gustavo Henrique Carvalho, TV Digital: A Nova Ferramenta Governamental para a Inclusão Social Acessado em 26/04/09.
- [4] Mendez, Luciano Leonel; Fasolo, Sandro Adriano, Televisão Digital-Fundamentos e Padrões, INATEL.
- [5] Simões, Jefferson Elbert, (2007), OFDM, UFRJ.
http://www.gta.ufrj.br/grad/07_2/jefferson/Page5.html
- [6] Pinto, Leite Ernesto; Albuquerque, Claudio Penedo de, A técnica de Transmissão OFDM, Revista Científica Periódica- Telecomunicações, Volume 5 – Número 1- Junho de 2002.
- [7] Carvalho, Silvio Renato Messias de, Utilização da Rede SFN para Expansão da Rede de Retransmissão Regional da TV Digital Aberta Terrestre, Universidade Estadual de Campinas, Agosto de 2006.
- [8] Silva, Evair Gallardo; Miranda, Maria D., A transmissão digital em múltiplas portadoras, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Caderno de Pos-Graduação, V3, n.1, pgs 79-92,2003.
- [9] Piccolo, Lara Schibelsky Godoy, Baranaukas, Maria Cecília C., Desafios de Design para a TV Digital Interativa, Fundação CPqD, Instituto de Computação Unicamp, 22/11/2006.

- [10] Giulio, Gabriela Di, A televisão digital que vem aí, Instituto Uniemp, Novembro de 2007.
- [11] Piccolo, Lara Schibelsky Godoy; Baranaukas, Maria Cecília,Desafios de Design para a TV Digital Interativa, Universidade Estadual de Campinas, Novembro de 2006.
- [12] Henrique, Gustavo, A nova ferramenta Governamental para inclusão social, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [13] Luca, Nelson de; Lucena, Simone de, Possibilidades Interativas do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, Universidade Federal da Bahia.
- [14] Introdução a TV Digital:Funcionamento do Sistema e suas aplicações, Superior Technologies in Broadcasting.
- [15] Oliveira, Carina Teixeira de, Um estudo sobre o middleware para Televisão Digital Interativa, Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará- CEFETCE, julho de 2005.
- [16] Site Oficial do *Middleware* Ginga. URL: <http://www.ginga.org.br>. Acesso em 20/05/2009.
- [17] Damasceno, Jean Ribeiro, Middleware Ginga, Universidade Federal Fluminense.
- [18] Melo, Julio Cesar Paulino de,Araújo, Rodrigo Moreira, Os módulos NCL e NCLUA do middleware Ginga para aplicações em TV Digital Interativa, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 27 de junho de 2008.
- [19] Manhães, Marcus Aurélio Ribeiro; Shieh, Pei Jen, Canal de Interatividade: Conceitos , Potencialidades e Compromissos, 23 de agosto de 2005.
- [20] Pataca, Daniel Moutinho, Tecnologias de Interação Inovadoras:Interatividade na TV Digital, CPQD, 24 de abril de 2008.
- [21] Gomes, Fábio de Jesus Lima; Lima, José Valdeni de, O papel como interface para o t-learning, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, V 3, nº 2, novembro de 2005.
- [22] Waisman, Thais, TV Digital Interativa na Educação: Interatividade pra que?, Universidade Federal de São Paulo (USP), acessado em 26/05/2009.
- [23] Santos, Thatiane Cristina dos, Analise de Desempenho de Transmissão de Vídeo em Redes 802.11 visando a Estruturação de Canais de Retorno da TV Digital, Universidade Estadual de Campinas, 27 de novembro de 2008.

- [24] Ferreira, Débora Meyhofer, Minimização do Efeito de anomalia em redes IEEE802.11 usando SNR para controlar o CW, Universidade Estadual de Campinas, 30 de julho de 2007.
- [25] Freitag, Juliana, Provisão de Qualidade de Serviço em Redes IEEE 802.11, Universidade Estadual de Campinas, Agosto de 2004.
- [26] Bresil, Roberto, Integração entre Redes Locais sem Fio(WLANs) e Redes de Sistemas Celulares, Universidade Estadual de Campinas, Agosto de 2004.
- [27] Seo, Carlos Eduardo, Análise Comparativa Entre Protocolos de Camada MAC para Redes Ad-Hoc sem fio, Estadual de Campinas, Julho de 2007.
- [28] Albini, Fábio Luiz Pessoa, Wimax, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 28 de novembro de 2007.
- [29] Damiani, Eduardo Schobert, Wimax 802.16 como Suporte para Acesso de Banda Larga, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, novembro de 2008.
- [30] Wang, Fan; Ghosh Amitava, Móbile Wimax Systems:Performance and Evolution, IEEE, Outubro de 2008.
- [31] Shankar, Arathi R.; Hedge, Rajeshwari, Wimax on the road to Future, IEEE, acessado em 23 de junho de 2009.
- [32] Andrade, Fernando José de Almeida, Planejamento de Sistemas Fixos para Acesso Sem Fio em Faixa Larga Operando em Ambientes Abertos em Frequências entre 10 e 66 GHz, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Abril de 2006.
- [33] Lu, Kejie, Qian, Yi, Wimax Networks: From Access to Service Platform, IEEE, Maio/Junho de 2008.
- [34] Figueredo, Fabrício Lira, Fundamentos da tecnologia Wimax, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Telecomunicações(Cpqd), acessado em 20 de junho de 2009.
- [35] Lima, Luciana dos Santos, Soares, Luis Soares Gomes, Wimax: Padrão IEEE 802.16 para Banda Larga sem fio, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Setembro de 2004.
- [36] Augusto, Erico; Cabral, Leandro, OFDMA & WCDMA, Faculdade Integrada do Recife, Especialização Lato Sensu, 28 de outubro de 2006.

- [37] Ramos, Marcelo Côrrea, Desempenho da Modulação Adaptativa em enlaces WCDMA/HSPDA em Presença de Multipercursos, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Agosto de 2004.
- [38] Sverzut, José Umberto, Redes GSM,GPRS,EDGE e UMTS Evolução a Caminho da Quarta Geração(4G), Editora Érica, São Paulo 2008.
- [39]Corrêa, Rodrigo Jurema de Assis, Análise de Desempenho de Enlaces com Modulação Adaptativa Aplicada a Sistemas WCDMA/HSPDA, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, julho de 2003.
- [40] Oliveira, Roberto Batista Vereza de, Planejamento de Sistemas UMTS e Aspectos de Interoperabilidade com redes GSM/GPRS/EDGE, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Maio de 2007.
- [41] Rocha, Michelle Eliza Casagrande, Telefonia Móvel-Celulares de 3° Geração, Universidade Estadual de Londrina, agosto de 2007.
- [42] Alecrim, Paulo Dias de, Uma proposta para Provisão de QoS em Redes Backbone UMTS, Universidade Federal de Uberlândia, Abril de 2006.
- [43] Vale, Eduardo Rodrigues, Técnicas para Melhoria de Desempenho da Transmissão de Voz no Sistema UMTS, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Agosto de 2006.
- [44] www.teleco.com.br acessado em 26/05.
- [45] Sistema de TV Digital, Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, Ano 5, n. 5, p. 13-96.
- [46] Mendes, Leonel Luciano, Uma Visão sobre a TV Digital no Brasil, T&C Amazônia, Ano V, Número 12, Outubro de 2007.
- [47] Silva, Weslei Henrique de Almeida; Oliveira, Glaucia Roberta de Oliveira, HSDPA, os caminhos para a melhor escolha, 2008.
- [48] Martins, Joberto, Qualidade de Serviço (Qos) em Redes IP: Princípios Básicos, Parâmetros e Mecanismos, Universidade de Santa Cecília.
- [49] Soares, Alcenir Barbosa, Análise da Qualidade de Serviço em VPN- Redes Privadas Virtuais-Utilizando Redes sem Fio, Faculdade de Ciências Aplicadas de Minas, Uberlândia, 2004.

- [50] Dias, Kelvin Lopes; Sadok, Fauzi Hadj, Internet Móvel: Tecnologias, Aplicações e Qos, Universidade Federal de Pernambuco.
- [51] Brito, Lina Maria Pestana Leão de, Qualidade de Serviço em redes móveis: presente e futuro, Universidade da Madeira.
- [52] Soldani, David, QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems, 2006.
- [53] The International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) Recommendation G1010. “End user QoS categories”, 11/2001.
- [54] T. Szigeti; C. Hattingh. End-to-End QoS Network Design- Quality of Service in LANs, WANs, and VPNs Indianapolis- Cisco Press, 2004.
- [55]The International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) Recommendation G.114 “One-way transmission time”, 2000.
- [56]Kapov, Lea Shorin; Huljenic Darko. Analysis of End-to-End Qos for Networked Virtual Reality Services in UMTS, IEEE, Abril, 2004.
- [57]Sulaiman, Norrozila; Carrasco, Rolando. Impact of Security on Voice Quality in 3G networks, IEEE, 2008.
- [58]Dias, Jaime Souza, Qos in IP over UMTS networks, Faculdade de Engenharia Eletrica da Universidade do Porto, Maio de 2005.
- [59]Kolding, Troels E.; Frederiksen, Frank. Performance Aspects of WCDMA Systems with High Speed Downlink Packet Access (HSDPA), IEEE 2002
- [60]José, Pablo. Packet Scheduling And Quality of Service in HSDPA, University Aalborg, Outubro de 2003.
- [61] França, Guilherme Figueiredo Oliveira; Lima, Pedro Hélio Medeiros de, Qualidade de serviço em redes Wimax, Universidade de Brasília, Junho de 2008.
- [62] Megrich, Arnaldo, Televisão Digital : Principios e Tecnicas, Editora Erica, 1º Edição 2009.
- [63]Maral Gérard, Satellite Communications Systems: systems, techniques e technology. Editora Britsh, 4º Edição.
- [64] Ara, Amilton Braia; Introdução a Estatística, Editora Edgar Blucher Ltda, Edição 2001.

[65] Zimmermann, Filipi, Canal de Retorno em TV Digital: Técnicas e abordagens para efetivação da interatividade televisiva, Universidade Federal de Santa Catarina.

