



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ALLAN BARBOSA COSTA**

**AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA FEMTOCELL COMO CANAL  
DE RETORNO PARA TV DIGITAL**

**DM – 23/2013**

**UFPA/ITEC/PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém-Pará-Brasil  
2013**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA**

**ALLAN BARBOSA COSTA**

**AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA FEMTOCELL COMO CANAL  
DE RETORNO PARA TV DIGITAL**

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica como quesito a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica, com ênfase em Computação Aplicada.

**UFPA/CT/PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém-Pará-Brasil  
2013**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA**

**AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA FEMTOCELL COMO CANAL  
DE RETORNO PARA TV DIGITAL**

**AUTOR:** ALLAN BARBOSA COSTA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA COM ÊNFASE EM COMPUTAÇÃO APLICADA

**APROVADA EM** \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

---

Professor Dr. Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante

**ORIENTADOR**

---

Professor Dr. Diego Lisboa Cardoso - UFPA

**CO - ORIENTADOR**

---

Professor. Dr. Carlos Renato Lisboa Frances - UFPA

**MEMBRO DO PPGEE**

---

Professora. Dra. Jasmine Priscyla Leite de Araújo – UFPA

**MEMBRO-EXTERNO**

**Visto:**

---

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes

**COORDENADOR DO PPGEE/ITEC/UFPA**

## Agradecimentos

Gostaria primeiramente de agradecer a DEUS pelo dom da vida, e por ter me dado força para prosseguir com minha carreira acadêmica. Agradeço também a meus pais Dirce Barbosa Costa e Teófilo Costa Filho que sempre me apoiaram com seu amor e dedicação para que sempre pudesse me tornar uma pessoa de caráter e pelo suporte em todos os sentidos para a conclusão do Mestrado.

Agradeço também à minha namorada, Tássia Lisboa da Silva pelo amor, companheirismo e paciência nos momentos mais tensos que passamos durante o período do curso, seu amor foi de suma importância para meu crescimento e agradeço imensamente por cada momento compartilhado com ela.

Ao meu orientador e amigo Gervásio Protásio Cavalcante por ter me acolhido durante minha trajetória no mestrado e por sempre acreditar em mim enquanto alguns duvidavam.

À professora Jasmine Araújo pela atenção e dedicação em tirar minhas dúvidas que foram muitas durante todo o desenrolar do curso. Ao professor Renato Francês pela confiança durante o processo seletivo para o mestrado que acreditou no meu potencial. Ao meu co-orientador Diego Lisboa Cardoso pela amizade e pela dedicação na correção da dissertação abrindo ainda mais portas para a finalização dessa dissertação. Ao meu cunhado Edvar Oliveira por sempre me incentivar a continuar estudando. À minha querida irmã Thays Oliveira por sempre acreditar que eu poderia chegar até aqui, me dando força e motivação. Ao nosso cachorro Apolo também por não rosnar mais para mim e ter tido mais carinho para com minha pessoa.

Ao meu irmão Rodrigo Barbosa Costa e sua esposa Graice Costa pelo incentivo e amizade, e também agradecer a eles pela chegada do mais novo membro de nossa família, o meu afilhado Matheus, que dará continuidade ao legado de nossa família.

E por último a todos os integrantes do Laboratório de Computação e Telecomunicações que me ajudaram de tal forma que nem saberei como agradecer em todas as fases do mestrado, um agradecimento especial aos amigos: Allan dos Santos Braga, Bruno Lyra Castro, Igor Ruiz Gomes, Regina Nascimento, João Victor Carmona, Miércio Alcântara, Ramz Luiz Fraiha Lopes, Nelson Mateus (TUPAK), Bruno Correa Quadros, Helio Renato Oeiras, Walter Martins, Luan Assis, Deyvison Penha e Charllene Guerreiro.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Comunicação Sem Fio (INCT-CSF) pelo suporte prestado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro no formato de bolsa.

À Universidade Federal do Pará, pela oportunidade dada a mim para a realização desta dissertação.

Obrigado também a todos os professores do LCT e do PPGEE pelos ensinamentos não só durante a realização das disciplinas, mas também no dia a dia do laboratório e das simulações.

A todos vocês o meu muito obrigado e que DEUS possa cada vez mais iluminar o caminho de vocês e de suas famílias por todo o sempre.

## Resumo

Mensurar os impactos do tráfego de aplicações interativas para TV Digital nas redes sem fio de 4a geração em especial *WIMAX* e *femtocell* tem sido um grande desafio para pesquisadores em todo o mundo, o teste destas tecnologias se mostra promissora para a melhor qualidade de serviço prestado pelas operadoras.

Inicialmente, identificando o padrão de tráfego de rede através da aferição e caracterização de tráfego de uma aplicação interativa de TV Digital do Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD). A partir de então, as simulações são feitas sobre uma rede sem fio.

Para este estudo, a rede WiMAX foi escolhida como um de nossos estudo de caso. Um estudo dos impactos do uso desta aplicação em uma WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*) com WiMAX e também utilizando *femtocells*. Evidentemente, tecnologias sem fio apresentam uma grande variação da qualidade do sinal.

Deste modo, é necessário utilizar uma solução para reduzir essa degradação no sinal. Dentre as possíveis soluções, o uso de *femtocells* surge como alternativa viável para estas melhorias, lembrando que uso de femtocell esta diretamente ligado para áreas onde o sinal é zero ou muito baixo.

A utilização de simulações discretas através de ferramentas apropriadas como o OPNET, se mostram bastante úteis para viabilizar a utilização das tecnologias existentes, expondo-as a condições mais adversas de fluxo, carga , numero de usuários e distancias que certamente influenciam no desempenha de cada uma delas.

**Palavras - Chaves:** *Femtocell*, *Wimax*, redes sem fio, OPNET, TV digital, canal de retorno.

## **Abstract**

Traffic measurement on Digital TV interactive applications for fourth generation networks, especially WiMAX and femtocell, has been a challenge to researchers around the world.

The traffic pattern of an interactive application on the Brazilian System of Digital TV (SBTVD) was identified. Simulations on a wireless network were carried out using data obtained of traffic analysis.

In this work a WiMAX and a femtocell network were chosen to simulate the return channel of a Digital TV application on a WMAN (Wireless Metropolitan Area Network). In order to reduce signal attenuation, femtocell arises as a promising solution, reducing macrocell usage, as femtocells cover indoor environments.

The simulations in this work were executed using OPNET software. Through them it is possible to estimate the feasibility of femtocell and WiMAX technologies as return channel for Digital TV.

**Keywords** - Femtocell, WiMAX, wireless networks, OPNET, Digital TV, return channel

## Sumário

Agradecimentos.....	4
Sumário.....	8
Lista de Acrônimos.....	10
Lista de Figuras.....	13
Lista de Tabelas.....	14
Capítulo 1 – Introdução.....	15
1.2. Motivação .....	17
1.3. Objetivos.....	17
1.4. Contribuições da Dissertação.....	17
1.5. Organização da Dissertação.....	18
Capítulo2 - <i>Femtocell</i> e Tecnologias de Acesso.....	19
2.1. Considerações Iniciais:.....	19
2.2. Telefonia Móvel.....	20
2.3. <i>Femtocell</i> .....	23
2.4. WiMAX.....	27
2.5. Considerações Finais.....	29
Capítulo 3 - TV Digital.....	30
3.1. Considerações Iniciais .....	30
3.2. TV Digital.....	30
3.3. TV Digital no Brasil.....	30
3.4. Arquitetura do Sistema de Transmissão Digital .....	31
3.5 Codificação .....	31
3.6. Modulação .....	32
3.7. Modulação QPSK.....	33
3.8. Modulações QAM.....	33
3.9. PADRÕES ISDB-T E SBTVD .....	34
3.10 Canal de Retorno.....	36
3.11. Tipos de interatividade televisiva.....	37
3.12. Tipos de Aplicações Interativas .....	38
3.13. Trabalhos Correlatos .....	41
3.14. Considerações Finais .....	42
Capítulo 4 - OPNET e NS3.....	43
4.1. Considerações Iniciais .....	43
4.2. Opnet .....	44
4.3. Network Simulator 3 (ns-3).....	46
4.4 Considerações Finais.....	48
Capítulo 5 – Avaliações de Desempenho.....	49
5.1. Considerações Iniciais .....	49
5.2. Avaliação de Desempenho .....	49
5.3 Modelagens Analíticas .....	49



5.4 Modelos de simulação .....	50
5.5 Aferição .....	51
5.6 Métricas .....	51
5.7 Introdução a Cadeias de Markov .....	52
5.8 Teoria de Filas.....	53
5.9 Considerações Finais.....	55
Capítulo 6 – Resultados.....	56
6.1. Considerações Iniciais.....	56
6.2. Simulação .....	56
6.3. Topologia.....	57
6.4. Metodologia de Analise.....	57
6.5 Configurações dos Fluxos .....	59
6.6. Análises de Resultados.....	62
6.7 – Considerações Finais.....	69
Capítulo 7 – Conclusão.....	70
Referências.....	<b>Er</b>

**ro! Indicador não definido.**

## Lista de Acrônimos

**AP – Ponto de Acesso**

**ARIB – Association of Radio Industries and Businesses**

**AD-HOC-** Redes sem fio em que os computadores interligados comunicam diretamente entre si sem necessidade de um router

**ADSL - Assymmetric Digital Subscriber Line**

**ANATEL - Agencia Nacional de Telecomunicações**

**APIs - Application programming interface**

**ATSC- Advanced Television Systems Committe**

**AVC- Advanced Video Coding**

**BACKHAUL -** é a porção de uma rede hierárquica de telecomunicações responsável por fazer a ligação entre o núcleo da rede, ou backbone.

**CDMA - Code Division Multiple Access**

**CPE - Customer Premisses Equipment**

**DLL - Dynamic lybrary link**

**DSL - Digital Subscriber line**

**DVB- Digital vídeo broad casting**

**EPG - Guia Eletrônico de Programação**

**ERB - Estação Rádio Base**

**FMC - Conversão Fixo Móvel**

**GSM - Global System Mobile**

**GPRS - General Packet Radio Service**

**GUI - Graphical user interface**

**H.264 - Padrão para compressão de vídeo, baseado no MPEG-4 Part 10 ou AVC**

**HDTV- High Definition TV**

**HSPA: High Speed Packet Access**

**HSDPA- High-Speed Downlink Packet Access**

**HSUPA - High-Speed Uplink Packet Access**

**ICSI- Center for internet research**

**IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers**

**ISDB- Integrad Services Digital Broadcasting**

**ISDB-TB- Padrão de transmissão de TV Digital terrestre desenvolvido no Brasil**

**LAN - Local Área NetWork**

**LTE - Long Term Evolution**

**MIMO - Multiple Input - Multiple Output**

**MPEG-2- Padrão de codificação para vídeo digital e áudio associado**

**MPEG-4- Padrão utilizado para compressão de dados digitais de áudio e vídeo**

**NS3- Network Simulator 3**

**OFDM - Orthogonal frequency division multiplexing**

**OPEN SOURCE - Código aberto**

**OTLC - Object-oriented Tool Command Language**

**PDAs - Personal Data Assistant**

**PNAD Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio**

**POSIX- Portable operating system interface**

**PSK- Phase Shift Keying**

**PDP- Packet Data Protocol**

**PCU- Pocket Control Unit**

**QAM- Quadrature amplitude modulation**

**QPSK- Quadrature phase shift keying**

**SBTV - Sistema Brasileiro de Televisão Digital**

**SBTVD- Sistema Brasileiro de TV Digital Terrestre**

**SMC - Serviço de Comunicação Multimídia**

**T-Banking - Homebanking**

**T-Commerce - Comércio eletrônico pela TV**

**T-Gov - Transmissão Eletrônica do Governo**

**T-Health- Serviços de saúde pela TV**

**T-Learning- Serviços voltados para a educação**

**T-Mail- Serviço de correio eletrônico pela TV**

**T-Sale - Serviço de Compras Pela TV**

**UMTS - Universal Mobile Telecommunications System**

**UDP - User Datagram Protocol**

**VRML- Virtual Reality Modeling Language**

**WIDE - Expandir**

**WIFI - Wireless Fidelity**

**WIMAX – World wide Interoperability for Microwave Access**

**WIRELESS - Redes sem Fio**

**WLAN - Wireless Local Area Network**

**WMAN - Wireless Metropolitan Área Network**

**3G - Terceira Geração de Telefonia Móvel**

**3GPP -Third Generation Partnership Project**

**4G - Quarta Geração de Telefonia Móvel**

## Lista de Figuras

Fig. 1.1. Utilização do Serviço Móvel na Europa .....	16
Fig. 2.1. Arquitetura Rede GPRS.....	21
Fig. 2.2. Tráfego de downlink por tipo de serviço .....	22
Fig. 2.3. Relação entre coberturas de células de redes moveis .....	23
Fig. 2.4. Funcionalidades da tecnologia <i>femtocell</i> . .....	24
Fig. 2.5. Arquitetura Rede Femtocell Indoor .....	25
Fig. 2.6. Classificação das Redes sem Fio .....	28
Fig. 3.1. Conjunto de Padrões em um sistema de TV Digital para difusão terrestre.....	31
Fig. 3.2. Sistema de Transmissão Digital.....	31
Fig. 3.3. Exemplo com Tribits.....	33
Fig. 3.5 Constelação de um sinal 16 QAM.....	34
Fig. 3.6 Sistema de TV Digital com o Canal de Retorno .....	37
Fig. 3.7. Guia Eletrônico de Programação da SKY.....	39
Fig. 3.8. Aplicação T-GOV Desenvolvida pela DATAPREV .....	40
Fig. 4.1. Ambiente de Desenvolvimento.....	45
Fig. 4.2. Gráficos que demonstram alguns resultados da simulação- Pacotes/segundo e <i>Delay</i> .....	45
Fig. 4.3. Estrutura do ns-3 .....	48
Fig. 6.1. Topologia da Simulação .....	57
Fig. 6.2. Cenário com 7 usuários e 1 <i>Femtocell</i> .....	58
Fig. 6.3. Cenário montado no OPNET WiMAX + <i>femtocell</i> com 4 usuários .....	59
Fig. 6.4. Aplicativo TVD-Educ 2.0 durante uma conversa no <i>chat</i> . .....	60
Fig.6.5. Média do trafego enviado e recebido FTP, TVD, vídeo e voz dos usuários <i>background 0</i> . 63	
Fig.6.6 Média do trafego enviado e recebido FTP, TVD, vídeo e voz dos usuários <i>background 1</i> .. 64	
Fig.6.7 Média do trafego enviado e recebido FTP, TVD, vídeo e voz dos usuários <i>Background 3</i> .. 65	
Fig.6.8 Média do trafego enviado e recebido FTP, TVD, Vídeo e Voz dos usuários <i>Background 5</i> .66	

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Características das Tecnologias <i>Femtocell</i> e Wifi.....	26
Tabela 2 - Características base das femtocells Huawei (3G/HSDPA) e Ericsson (2G) .....	26
Tabela 3 - Comparação entre os Padrões da Família 802.16 .....	29
Tabela 4 - Configuração do Aplicativo TVD-Educ 2.0.....	60
Tabela 5 - Parâmetros de Configuração do FTP.....	60
Tabela 6 - Parâmetros de Configuração de Vídeo .....	61
Tabela 7 - Parâmetros de Configuração de Voz .....	61
Tabela 8 - Configurações dos Usuários.....	61
Tabela 9. Configurações dos Rádios WiMAX.....	62
Tabela 7 - Médias <i>femtocell</i> dos tráfegos enviados e recebidos.....	66
Tabela 8 - atraso médio da <i>femtocell</i> .....	67
Tabela 9 - media do tempo de resposta de paginas http.....	67
Tabela 10 - atraso de pacotes ponto a ponto do vídeo. ....	67
Tabela 11 - <i>Jitter</i> médio do fluxo de voz. ....	68
Tabela 12 - Média do atraso de pacotes ponto a ponto de voz.....	68
Tabela 13 - Média das Conexões Canceladas. ....	68

## Capítulo 1 - Introdução

A televisão aberta atinge hoje a maioria dos lares brasileiros [1] e, através da televisão digital aberta e gratuita, almeja-se disponibilizar a todas as classes sociais o acesso à informação. Este é dificultado para quem tem dificuldade ou simplesmente não possui acesso a um computador ou dispositivo com acesso à internet. Nesse contexto, A TV Digital pode auxiliar na disseminação de informação em larga escala, tal como a TV Analógica, porém com a possibilidade de diversas aplicações. Segundo o IBGE, a TV Digital aberta chega a mais de 45% dos brasileiros já em 2011[2].

Já em relação aos números referentes ao acesso à internet, o PNAD (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio) informou que de 2009 a 2011, cresceu em 14,7% a quantidade de brasileiros com, 10 anos de idade ou mais, que declararam ter usado a web nos últimos três meses anteriores à sua entrevista, atingindo a marca de 77,7 milhões. A região Centro-Oeste registrou o maior aumento no contingente de usuários da web, com 17,2% em relação a 2009. [2]

Com o desenvolvimento das tecnologias de comunicação de dados e o desenvolvimento da internet, a sociedade evoluiu para uma comunidade baseada no acesso às informações. Com o advento da TV Digital, a interatividade se faz uma questão necessária, não só no que diz respeito à televisão, mas também com relação à mobilidade, onde a mesma interatividade pode ter sua inserção em tecnologias móveis bastante conhecidas nessa nova era tecnológica, a exemplo os *smartphones* e *tablets* [3].

Historicamente os serviços de voz têm representado a maior percentagem de todo o tráfego nas redes móveis. Nos últimos anos, devido ao incremento dos débitos suportados nas redes móveis, à disponibilização em massa de modems USB (3G/HSPA/HSPA+) e à comercialização/disponibilização de serviços cada vez mais apelativos, o tráfego de dados tem assumido uma preponderância cada vez maior para os operadores de rede móvel. Essas informações podem ser visualizadas na Fig. 1.1.

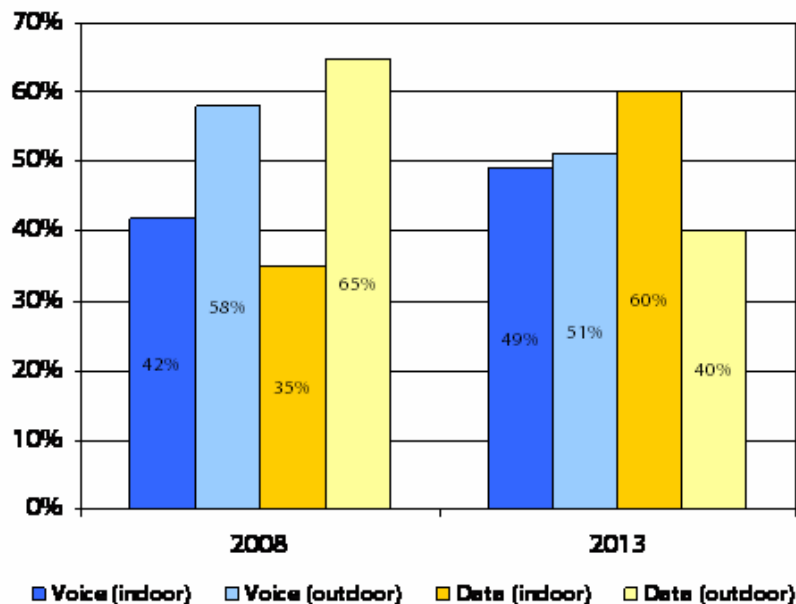


Fig. 1.1. Utilização do Serviço Móvel na Europa [4]

O estudo das tecnologias que podem servir como base para o canal de retorno em TV Digital ganhou destaque, pois, em determinadas localidades, essa tecnologia pode ser fundamental para que os usuários possam ter o mínimo de qualidade de acesso, além de um baixo custo para tornar a implantação viável [5].

O entendimento de tecnologias sem fio de 4ª geração é importante devido ao planejamento de escalabilidade do serviço, levando em conta a qualidade do serviço prestado e os requisitos mínimos que a aplicação necessita na rede [6].

Como um exemplo de uma dessas tecnologias de 4ª geração, pode-se ressaltar o uso de *femtocell* como uma alternativa para preencher uma das lacunas pendentes quando o canal de retorno for definitivamente colocado em funcionamento. Para isso, se faz necessário o estudo da tecnologia para medir a sua viabilidade na utilização do serviço. É importante ressaltar que em áreas onde a cobertura é baixa ou zero, a utilização de *femtocell* melhoraria a qualidade do serviço oferecido.

Inicialmente, identifica-se o padrão de tráfego de rede através da aferição e caracterização de tráfego de aplicações interativas de TV Digital do Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD). Após a identificação, simulações são feitas sob uma rede sem fio. No caso do presente trabalho, adotou-se uma rede WiMAX para efetuar as simulações. Após a etapa de simulações, é realizado um estudo dos impactos do uso destas aplicações em uma WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*) através da tecnologia WiMAX, e também



utilizando um arranjo no software simulador OPNET com a tecnologia *femtocells* para efeito de comparação.

## 1.2. Motivação

A preocupação com a qualidade do serviço de TV Digital cresceu de tal forma que as emissoras de TV estão investindo cada vez mais na qualidade do sinal. Isto significa uma melhor qualidade de serviço, e se faz necessário o uso de tecnologias que possam acompanhar este crescimento. Na região amazônica, uma das maiores preocupações para o bom funcionamento das TVs Digitais é o canal de retorno. A interatividade é um ponto fundamental para essa nova linha de estudo que se abriu. Dessa forma, o estudo de meios de acesso que possam prover esta interatividade se faz necessário, não só para garantir uma resposta mais imediata de como esta sendo prestado o serviço, mas também para aumentar a interação entre o telespectador e a emissora.

O uso de *femtocell* como canal de retorno se mostra uma alternativa promissora para sanar as lacunas em aberto, uma vez que as tecnologias 4G são robustas o suficiente para comportar estes recursos de informação e comunicação.

## 1.3. Objetivos

Essa dissertação tem como objetivo demonstrar através de simulações, o desempenho da tecnologia *femtocell* como alternativa para prover uma melhoria nos serviços que compõem um canal de retorno para TV digital. Para o estudo, foi feita uma adaptação dos módulos wifi no OPNET e no NS3 (*Network Simulator 3*), outro software simulador, de tal forma que as características de uma *femtocell* pudessem ser representadas. Os resultados obtidos demonstram que a utilização de uma *femtocell* se mostrou satisfatório para ser utilizada em conjunto com outras tecnologias de última milha.

## 1.4. Contribuições da Dissertação

Como principais contribuições desta dissertação, destacam-se:

O uso promissor da tecnologia *femtocell* para ser uma alternativa de melhoria no sinal para prover canal de retorno para TV Digital.

- A utilização de *femtocell* se mostrou satisfatória no quesito de experiência do usuário possuir uma banda garantida, e isto influencia de forma decisiva na qualidade percebida pelo usuário, afetando positivamente também na usabilidade

do aplicativo, pois este oferece respostas mais rápidas, além de evitar *outage* que seria a interrupção durante o uso.

- Uso de projetos *femtocell* melhora a qualidade de conexões em situações em que existe uma quantidade elevada de usuários conectados não só no mesmo serviço, mas também em serviços diferentes.

### **1.5. Organização da Dissertação**

Esta dissertação está dividida em 7 capítulos, cuja organização é mostrada a seguir:

\* No capítulo 1 será introduzido os temas básicos a foco da dissertação.

\* No capítulo 2 são abordados os conceitos sobre *femtocell* e WiMAX.

\* No capítulo 3 são descrito uma abordagem sobre os conceitos de TV Digital e Canal de Retorno.

\* No capítulo 4 são explicadas as ferramentas utilizadas para a obtenção dos resultados, os simuladores *OPNET* e *NS3*.

\*No capítulo 5 são apresentados as métricas e conceitos sobre avaliação de desempenho.

No capítulo 6 são apresentados os resultados obtidos através das simulações e da metodologia empregada.

\* No capítulo 7 são apresentados as conclusões obtidas apartir dos resultados das simulações

## Capítulo 2 - *Femtocell* e Tecnologias de Acesso

### 2.1. Considerações Iniciais:

Canal de retorno, é a forma como usuário final irá interligar seu dispositivo conectado à Internet, seja este dispositivo um computador, um celular ou mesmo uma televisão. Neste caso, alguns autores também denominam tecnologia de acesso como “primeira milha”, já que se refere ao trecho primário de acesso, entre usuário e provedor.

Existem diversas formas de tecnologias de acesso, agrupadas em duas classes básicas: redes cabeadas e redes sem fio. Redes cabeadas, como o nome indica, são criadas a partir de uma infraestrutura com fio e o material utilizado no cabeamento, muitas vezes, dita a vazão que pode ser alcançada pelo usuário final.

A classe sem fio representa tecnologias com ausência da conexão física e está gradualmente emergindo como um padrão para aplicações de primeira milha, produzindo uma gama de disponibilidades de largura de banda, dependendo da qualidade da rede sem fio, caracterizada, por exemplo, pela interferência de ruídos e pela distância do usuário para a estação base.

Exemplos de redes cabeadas: xDSL (*Digital Subscriber Line*), fibra óptica (para acesso e não para *backbone*), PLC (*Power Line Communications*), *Cable network* e *The Public Switched Telephone Network* (PSTN); Exemplos de redes sem fio (Wireless): sistemas celulares, infrared e WiMAX.

As tecnologias cabeadas possuem o meio físico para transmissão de dados, isso diminui a interferência de elementos externos. Sua desvantagem se deve ao alto custo de implantação e baixa capilaridade. Nesse sentido, as tecnologias sem fio se destacam devido a necessidade de menores investimentos em infraestrutura, manutenção simplificada, altos alcances e boa largura de banda. Desta forma, entre as diversas redes de acesso sem fio citadas, optou-se pelo detalhamento de três tecnologias, são elas: WiMAX, redes celulares e *femtocells*.

Esta escolha foi embasada na possibilidade de testes nas dependências da Universidade Federal do Pará (UFPA), mais especificamente no Laboratório de Computação e Telecomunicações (LCT) da Faculdade de Computação e Telecomunicações (FCT) onde foram implantados os testbeds usados na análise realizada nesta pesquisa. Além disso, estas

tecnologias representam de forma satisfatória a realidade de acesso de diversas regiões do Brasil, e ao mesmo tempo, possuem grande relevância nas literaturas científicas da área.

Neste capítulo serão apontadas as principais características destas tecnologias, as quais serão usadas posteriormente. Além disso, serão elencadas vantagens e desvantagens das mesmas, sempre direcionado ao foco deste trabalho, que é sua utilização como canal de retorno para o Sistema Brasileiro de TV Digital - SBTVD.

## **2.2. Telefonia Móvel**

Segundo [7], boa parte do território nacional possui cobertura de sinal de telefonia móvel, seja ele de segunda ou terceira geração. Dados preliminares da Anatel indicam que o Brasil terminou Jun/13 com 265,7 milhões de celulares e 134,35 celulares para cada 100 habitantes. Tais números mostram a capacidade dessa tecnologia em alcance e capilaridade.

Na telefonia móvel, as ERBs (Estações Radio Base), são as responsáveis em prover o serviço de telefonia celular. Além de transmissão de voz, o serviço mais comum em telefonia móvel, aplicações em automação comercial, indústria e também gerenciamento de distribuição, seja ele de energia elétrica, gás e água. [8]

Com o avanço dos sistemas de comunicação e de telefonia móvel, uma das formas de viabilizar o aumento do número de usuários é e garantir uma melhor qualidade no serviço prestado pelas operadoras. Para isso, determinadas áreas geográficas são divididas em “células” e são agrupadas em clusters.[9]

Cada célula é servida pelo seu próprio conjunto de radiotransmissores e radio receptores, assim reduz-se a potência necessária nas interfaces de Radio Frequência (RF). Dessa forma, em locais com grande densidade de usuários, se faz necessário projetar células menores e transmissores de menor potência, para que os canais possam ser reutilizados, aumentando assim a capacidade de usuários do sistema. [8]

No que diz respeito à arquitetura e infraestrutura, a rede celular é composta por diversos elementos, que são interligados entre si através de um canal de comunicação. Cada elemento dessa arquitetura tem uma função distinta e fundamental dentro do cenário, como, por exemplo, enviar o sinal de rádio frequência até uma estação móvel (celular) ou até mesmo buscar em uma base de dados se o usuário que solicitou a chamada e se tem permissão ou não de realizá-la. [9]

Em especial, uma rede GPRS (*General Packet Radio Service*), uma evolução da rede GSM (*Global System Mobile*), utiliza recursos da rede GSM com o acréscimo de alguns

equipamentos em sua infraestrutura para suportar os novos serviços de dados e posteriormente testar a implantação de novas tecnologias como a 3G. A rede GPRS possui a seguinte arquitetura segundo a Fig.2.1.

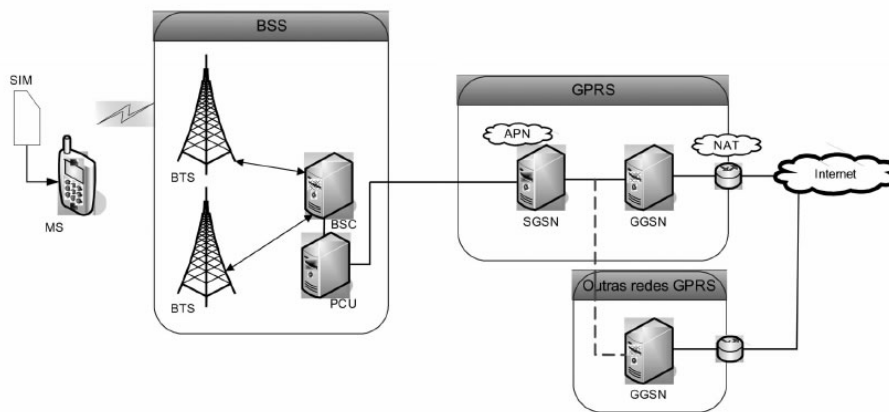


Fig. 2.1. Arquitetura Rede GPRS. [9]

As principais modificações na rede GSM para o funcionamento da GPRS são descritas abaixo [10]:

- PCU (*Pocket Control Unit*): responsável pelas interfaces lógicas e físicas para o tráfego de dados.
- SGSN (*Serving GPRS Support Node*): responsável em entregar os pacotes de dados para estações móveis dentro de sua área de serviço.
- GGSN (*Gateway GPRS Support Node*): atua como uma interface com a rede externa de pacotes (Internet). Ele converte os pacotes GPRS vindos do SGSN para o formato PDP (*Packet Data Protocol*) adequado e os envia para a rede externa correspondente.

Todavia esta infraestrutura, apesar de possuir uma grande capacidade, tem apresentado problemas devido ao aumento exponencial no número de usuários e pela mudança no perfil dos clientes existentes. Apesar do tráfego de voz continuar a crescer, o tráfego de dados merece destaque, pois possui um crescimento mais acentuado, algo que atualmente se verifica pela demanda dos serviços. Nos próximos 5 anos, os dados representarão mais de 90% de todo o tráfego usado nas redes móveis. A Fig. 2.2, apresenta previsões *downlink* para o período 2008-2015, onde são mostrados os serviços de maior acesso dentro das redes [11].

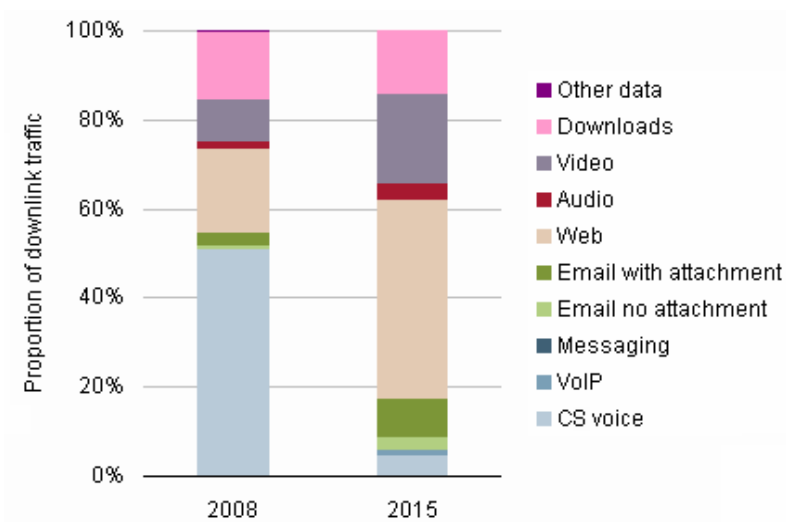


Fig. 2.2. Tráfego de downlink por tipo de serviço [11]

Outro ponto que merece destaque é que, apesar da alta capilaridade, em grande parte dos casos, a cobertura é deficiente, devido à maioria das conexões de dados serem realizadas em ambientes *indoor*, onde o sinal propagado pelas redes macro não consegue chegar com os níveis exigidos para prestação de serviços com qualidade [11].

Estudos indicam que, na Europa, entre 30% e 40% de todo o tráfego efetuado nas redes móveis é realizado quando os usuários se encontram no interior de casas e edifícios. Em sua maioria, estes serviços são suportados por Macro-Celulas, normalmente instaladas em ambientes *outdoor*, no topo de edifícios ou mastros, para garantir uma cobertura de rede mais abrangente de forma a aperfeiçoar a utilização dos recursos rádio atribuídos aos operadores [4].

Nesse sentido, as empresas de telefonia tem investido em alternativas tecnológicas focadas principalmente na melhoria do sinal para ambientes *indoor*. Estas são conhecidas como *femtocells* e serão abordadas na próxima seção. Atualmente as *femtocells* são um produto de ponta da indústria e reúnem a atenção de muitos operadores de telefonia móvel a nível mundial existindo vários experimentos em desenvolvimento.

Segundo informação disponibilizada nos sites de alguns operadores de rede móvel e nos fóruns dedicados à análise da evolução da tecnologia (*Femto Forum* [12] e *Think Femtocell* [12], apenas 4 operadores lançaram comercialmente soluções baseadas em *femtocells*. Nos Estados Unidos da América, a Sprint lançou o “*Airave*” e a *Verizon Wireless* [13] lançou o “*Verizon Network Extender*” (ambas as ofertas baseadas em *femtocells* 2G), em Singapura a *StarHub* [14] lançou a oferta “*StarHub Home Zone*”, baseada em *femtocells*

3G e, na Europa, a *Vodafone UK* [15] prepara-se para disponibilizar o serviço “*Vodafone Access Gateway*”, baseado em femtocells 3G.

### 2.3. Femtocell

*Femtocell* é o termo utilizado para um sistema de uso de Estações Rádio-Base (ERB) celular de baixa potência [16] para uma aplicação indoor, ou seja, um ponto de comunicação para redes celulares que serão utilizados dentro de uma residência ou empresa de pequeno porte [6]. Opera em frequências das tecnologias 3G, CDMA (*Code Division Multiple Access*), GSM (*System for Mobile Communications*), WiMAX (*World wide Interoperability for Microwave Access*) ou LTE (*Long Term Evolution*) (as duas últimas consideradas como 4G), com a finalidade de potencializar o sinal em uma área reduzida (pode variar de 10 a 40 m) [17].

Funcionando no mesmo espectro de frequências dependendo da configuração das restantes células de rede móvel (macro, micro, pico), as femtocells garantem a total compatibilidade com os terminais que os clientes já possuem (2G ou 3G), suportando todas as funcionalidades/serviços das restantes células (macro, micro, pico). As potências de emissão utilizadas são muito inferiores às utilizadas nas células de rede Macro, entre os 20 mW e os 100 mW, pelo que estão claramente disponibilizadas para garantir a cobertura de pequenos espaços, que podem ser visualizados na Fig. 2.3.

A comunicação do PA (Ponto de Acesso) com a operadora de rede celular é feita através de uma conexão de banda larga residencial (DSL, cabo, etc.). Isso fatalmente contribui para as operadoras, visto que seu uso melhora a capacidade da rede e diminui o número de usuários utilizando as macro-células, fazendo com que o usuário final, tenha melhores taxas para transferência de dados e possibilite o uso de novos serviços que possuem requisitos diferenciados [6]. Algumas funcionalidades da tecnologia podem ser visto conforme a Fig. 2.4.

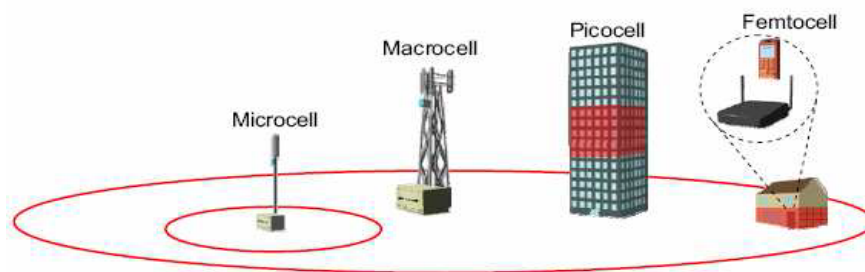


Fig. 2.3. Relação entre coberturas de células de redes moveis [18]

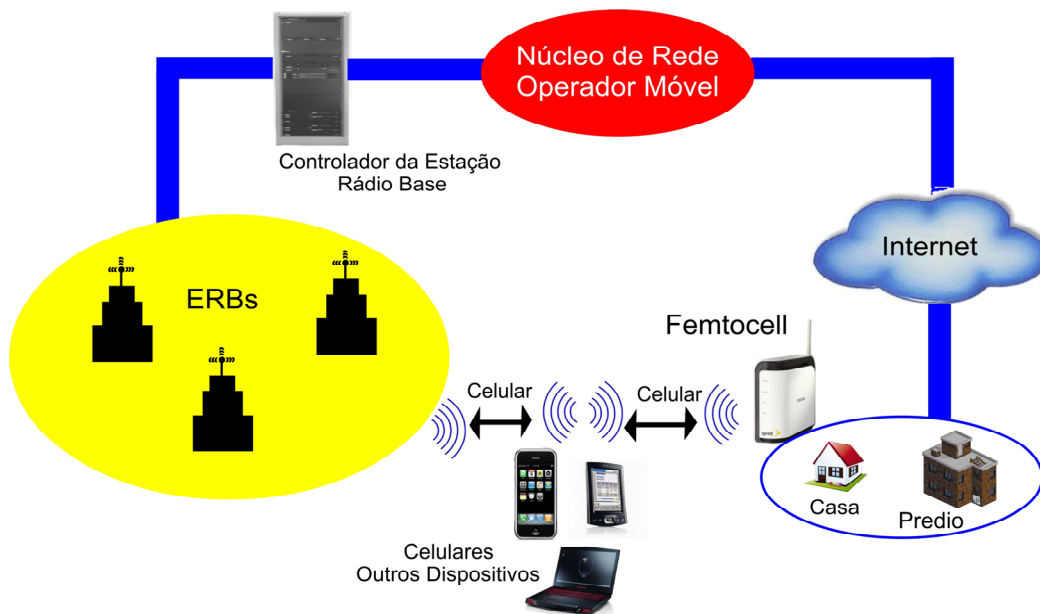


Fig. 2.4. Funcionalidades da tecnologia *femtocell* .

O uso das *femtocells* ainda se depara com problemas de aumento de interferência co-canal com a macro-celula, pois as mesmas devem possuir uma capacidade de co-existência com a macro-celula [19].

As *femtocells* serão comercializadas pelas operadoras móveis, já que utilizam a mesma radiofrequências de uma específica operadora, cada operadora irá fornecer uma *femtocell*, onde o usuário não precisará configurá-la. A configuração já estará feita ao adquirir o equipamento.

Um grande ponto a ser levantado é quando o usuário possuir mais de uma operadora em seus aparelhos [20]. Até o presente estudo não se tem notícias de *femtocell* que trabalhe com 2 operadoras, uma vez que estudos revelam que duas *femtocells* interferem no sinal entre elas.

Do ponto de vista do usuário, instalar uma *femtocell* em casa traz uma série de vantagens: mais cobertura, melhor qualidade de serviço, alta velocidade de transferência de dados e conexão de baixa latência. Em um longo prazo, pode-se mesmo obter ligações de voz de alta fidelidade e utilizar o celular como uma espécie de controle remoto para sistemas de entretenimento domésticos, com as *femtocells* agindo como um *hub* que permite ao usuário transferir arquivos de música e imagem por computadores, aparelhos de TV e outros dispositivos [12].



Sendo uma solução promissora, vários fabricantes já estão produzindo para o mercado e para isso se faz necessário um conjunto de normas para definir a forma como essa tecnologia vai se comportar e trabalhar com as tecnologias já existentes [11].

As normas focam em quatro áreas da tecnologia que são: arquitetura de rede *indoor*, aspectos rádio e interferência, gestão e segurança. Em nível de arquitetura de redes, as *femtocells* utilizam os protocolos do 3GPP UMTS, utilizados para necessidades emergentes devido ao aumento da quantidade de *femtocells*, essa arquitetura pode ser vista na Fig.2.5.

*Femtocell* e *Wifi* são comumente confundidos devido aos seus aparelhos terem aparência semelhante, contudo para cada uma delas existe uma arquitetura e protocolos diferentes. As redes *Wifi* independem da comunicação entre operadoras e os equipamentos podem ser adquiridos e configurados sem maiores problemas pelos usuários. No geral a *Wifi* tem como objetivo ampliar o final da internet, ampliando de forma satisfatória a área de alcance. Já as *femtocells* são disponibilizadas preferencialmente pelas operadoras de telefonia móvel, podendo inclusive ser vendidas, como são hoje em dia, os telefones celulares, e já vêm configuradas para trabalhar nas mesmas condições que as ERBS da operadora.

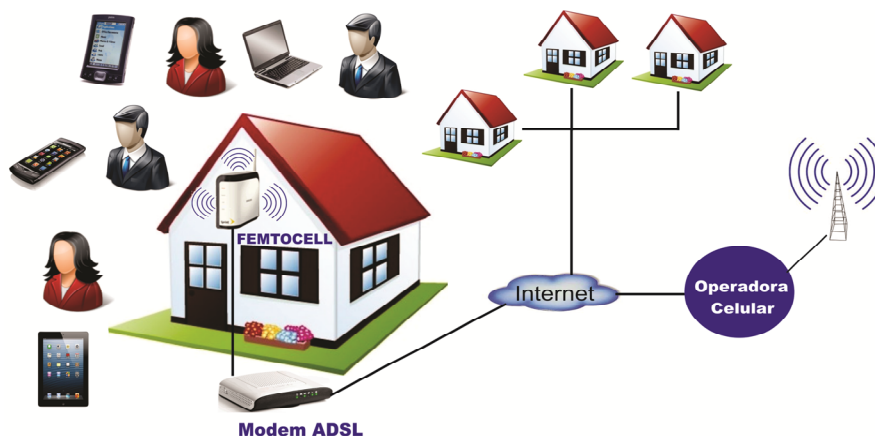


Fig. 2.5. Arquitetura Rede Femtocell Indoor

Algumas características como potencia, frequência, alcance e números de usuários que cada uma delas usa e atende pode ser visualizada conforme Tabela 1.

**Tabela 1 - Características das Tecnologias *Femtocell* e *Wifi***

	<b>Femtocell</b>	<b>WiFi</b>
<b>Espectro</b>	Licenciada (Operador atribuído)	Sem licença
<b>Frequência</b>	1,9 GHz a 2,6 GHz	2,4 GHz a 5GHz
<b>Potência</b>	10 mW a 100 mW	100 mW a 200 mW
<b>Alcance</b>	20 m a "30 m	100 m a "200 m
<b>Backhaul</b>	Rede IP	Rede IP
<b>Taxas de dados</b>	7,2 Mbps a 14,4 Mbps	11 Mbps a 54 Mbps
<b>Número de celulares ativos</b>	1-4	Escalável
<b>Desvantagens</b>	RF Interferência com macrocelula Custo do ponto de acesso	Dual-mode aparelho requerido

Alguns fabricantes na Europa disponibilizam as características de seus equipamentos, na Tabela 2, pode – se observara as especificações fornecidas pelas empresas: *Huawei* (3G/ HSPA) e *Ericsson* (2G) [21].

**Tabela 2 - Características básicas das *femtocells Huawei* (3G/HSDPA) e *Ericsson* (2G) [21].**

	<b>2G</b>	<b>3G/HPSA</b>	
		<i>Residencial</i>	<i>Empresarial</i>
<b>Espectro de frequências</b>	UL: 1805-1880MHz DL: 1710-1785MHz	UL: 1920-1980MHz DL: 2110-2170MHz	UL: 1920-1980MHz DL: 2110-2170MHz
<b>Potencia Máxima de Emissão</b>	100 mW	20 mW	100 mW
<b>Taxas</b>	GPRS	HSPA até 7,2Mbps HSUPA até 1,44Mbps	HSPA até 7,2Mbps HSUPA até 1,44Mbps
<b>N.º de usuários simultâneo</b>	2	4	16
<b>Consumo de Energia</b>	6W	17W	17W

Com pode ser observado, a *femtocell* é uma tecnologia de baixo custo que fornece conexão e capacidade, onde e quando ela é mais necessária. Assim, os operadores podem

fornecer serviços melhores a custos inferiores, o que significa pacotes a preços competitivos. Ao contrário das grandes redes e seus custosos processos de construção, nas *femtocells*, o investimento das operadoras está diretamente ligado à demanda dos assinantes, aos contratos e à receita de cada uma delas.

Dentre as vantagens do uso de *femtocells*, destacam-se:

- Utilizam as frequências licenciadas destinadas à telefonia celular. Assim sendo, a operadora tem, em teoria, controle sobre o uso do espectro.
- Proporcionam redução de custos de *Opex* (Custos e Despesas Operacionais) para a operadora, já que o custo de *backhaul* é pago pelo usuário (conexão de banda larga da residência).
- Serviços fixos e móveis integrados pelas operadoras (serviço 3G com banda larga fixa).
- Melhora a cobertura do serviço 3G no interior das residências. Como a *femtocell* suporta 2 a 4 usuários (8 a 16 no modelo corporativo) simultâneos, melhora o serviço para vários membros da família que utilizam celulares da mesma operadora.
- Pode-se oferecer tarifas diferenciadas de serviço quando o usuário utilizar o telefone celular dentro de sua residência (acessando a *femtocell*) ou a rede celular convencional.

## 2.4. WiMAX

Desenvolvido e certificado pelo IEEE, este padrão tem como finalidade garantir um acesso a redes com altas taxas de transferência, podendo enviar uma grande quantidade de dados e mais estabilidade que as desfrutadas pelas redes atuais [22].

A tecnologia WiMAX, se destaca pela alta capacidade de transmissão e distância de acesso entre o usuário e a base de propagação de sinal. Trata-se de uma versão desenvolvida do Wifi (*Wireless Fidelity*) que opera em faixas que não necessitam de licença para instalação e/ou operação, tendo um alcance de até 50 km. As taxas de dados compartilhadas variam entre 1 Mbps e 75 Mbps [22].

O raio típico de uma Estação Radio-Base (ERB) WiMAX para manter um desempenho adequado é de 5 a 8 km. Por permitir cobertura sem linha de visada direta e ser uma tecnologia mais robusta para soluções completas de voz, dados e vídeo (*streaming*)

com QoS (*Quality of Service*) e segurança intrínsecas (autenticação com certificados x.509 e criptografia de dados utilizando DES-*Data Encryption Standard*), é complementar ou até substituirá o ADSL e o acesso Wi-Fi, e será concorrente das tecnologias 3G para celular, como GPRS/EDGE, UMTS e CDMA-1xEV-DO. Estes fatores as tornam atrativas, no entanto, para uso comercial no Brasil é necessária licença da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) [23].

A classificação destas redes sem fio pode ser visualizada conforme Fig. 2.6.

Uma das grandes vantagens da utilização do WiMAX é a não necessidade da utilização de um enlace físico para conexão. Além disso, o WiMAX apresenta boas taxas de transmissão e grande alcance.

Sua estrutura é composta basicamente de duas partes: A ERB, que é responsável por fornecer o acesso pelo gerenciamento das estações clientes, e as próprias estações clientes, que são os equipamentos que permitem o acesso às redes WiMAX aos assinantes.

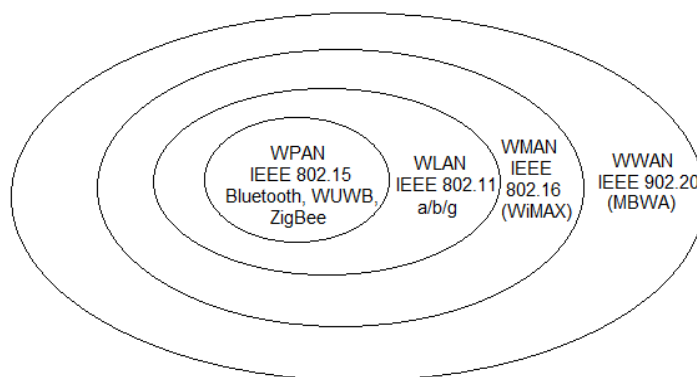


Fig. 2.6. Classificação das Redes sem Fio [24].

O WiMAX pode ser dividido em duas normas padrões: o IEEE 802.16-2004 (IEEE 802.16 d), oferecendo um suporte fixo para comunicações sem fio, e o padrão IEEE 802.16-2005 (IEEE 802.16 e) [25], que é resultado de uma melhoria do padrão antigo, incluindo suporte para o acesso móvel e suporte para a tecnologia de antenas MIMO (*Multiple Input - Multiple Output*).

O padrão 802.16 possui versões que vieram a corrigir erros anteriores, dentre essas versões as que mais se destacam são: IEEE 802.16a, IEEE 802.16b, IEEE 802.16c, IEEE 802.16d, IEEE 802.16e. A Tabela 3. Abaixo apresenta uma comparação das características de versões WiMAX.

**Tabela 3 - Comparação entre os Padrões da Família 802.16 [24]**

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

A utilização da tecnologia WIMAX tem sido tão intensa que existem diversas companhias que participam do fórum WiMAX, incluindo operadoras e fabricantes, tais como: Alcatel, Ericsson, Lucent, Motorola, Nortel e Siemens, que fazem fortes investimentos para extrair o máximo de qualidade que a tecnologia oferece. Os serviços que a mesma pode hospedar tem sido de grande ajuda não só para encurtar distancias, mas também proporcionar uma melhor qualidade em um serviço que requer uma transmissão robusta e confiável.

## **2.5. Considerações Finais**

Neste capítulo foram apresentadas algumas características das redes *femtocell*, redes celulares e WiMAX onde se pode perceber as características de cada uma delas como, por exemplo, a frequência, largura de banda e alcance que cada uma delas trabalham. Foi comentado também sobre a regulamentação das *femtocells* pela ANATEL. Os fabricantes estão desenvolvendo equipamentos para operar com cada uma destas tecnologias trazendo também alguns exemplos na Europa do uso das *femtocells* no mercado. Já no capítulo seguinte, será abordado a histórias e as características do sistema adotado pelo Brasil para o seu sistema de TV Digital.

## Capítulo 3 - TV Digital

### 3.1. Considerações Iniciais

A televisão, bem como outras mídias ou veículos de comunicação, também está envolvida em um constante processo evolutivo e de adaptação das novas tecnologias e necessidades da sociedade. A principal característica da televisão diz respeito à maneira como o conteúdo é difundido pelas empresas que o transmitem. Nesse capítulo serão abordadas de forma resumida às características da TV Digital, assim como seus padrões, codificações, modulação e canal de retorno.

### 3.2. TV Digital

A televisão digital teve seu início por volta de 1970, mais precisamente no Japão, por um grupo formado por cerca de 100 estações de televisão local, que começaram a fazer pesquisas para o desenvolvimento de uma TV de alta qualidade com imagem de alta definição ou HDTV (*High Definition TV*). O grande objetivo deste estudo era de proporcionar ao espectador mais realismo e proximidade no que diz respeito a som e imagem. O objetivo era tentar aproximar estas imagens à definição presenciada nas salas de exibições dos grandes cinemas no formato “*Wide*” padrão este que é utilizado nos cinemas desde a década de 50.

### 3.3. TV Digital no Brasil

O Brasil foi o único país emergente em que as emissoras e indústrias que produzem os equipamentos para televisão financiaram parte dos inúmeros testes feitos em laboratório e os testes de campo para mensurar a eficiência dos três padrões disponíveis para transmissão e recepção dos sinais. Desde 1994, 17 emissoras e pouco mais de uma dezena de empresas interessadas criaram um grupo chamado SET/Abert. Juntamente com a Universidade Mackenzie, passaram a pesquisar os três sistemas de transmissão de Televisão Digital: o modelo norte-americano *Advanced Television Systems Committee (ATSC)*, o modelo europeu *Digital Video Broadcasting (DVB)* e por último o modelo japonês *Integrad Services Digital Broadcasting (ISDB)*.

No Brasil, a definição do padrão adotado dependeu da harmonização de um modelo e de diferentes sistemas que englobam tecnologias de *software* e *hardware*. Neste caso deve-se ressaltar que a legislação brasileira se mostrou bastante flexível com relação a essa

portabilidade TV analógica para a TV Digital, permitindo assim a sua utilização nos mais variados tipos de dispositivos.

O governo do Brasil definiu um padrão em junho de 2006, baseado no padrão japonês. Este padrão é conhecido como ISDB-TB (padrão Brasil), oferece inúmeros diferenciais em relação aos sistemas de TV digital atualmente em funcionamento no mundo. Os diferenciais estão no “casamento” entre a estrutura técnica de transmissão do sistema japonês com os padrões de compressão digital de áudio e de vídeo introduzidos pelo Brasil, que são mais modernos e robustos do que adotados por outros padrões.

O padrão de um sistema de televisão digital pode ser visualizado conforme Fig. 3.1.

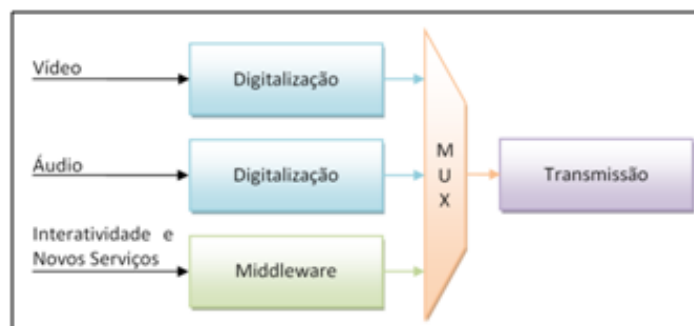


Fig. 3.1. Conjunto de Padrões em um sistema de TV Digital para difusão terrestre [26].

### 3.4. Arquitetura do Sistema de Transmissão Digital

Os sinais digitais passam por inúmeras etapas de processamento, essas etapas podem ser ilustradas conforme a Fig. 3.2.

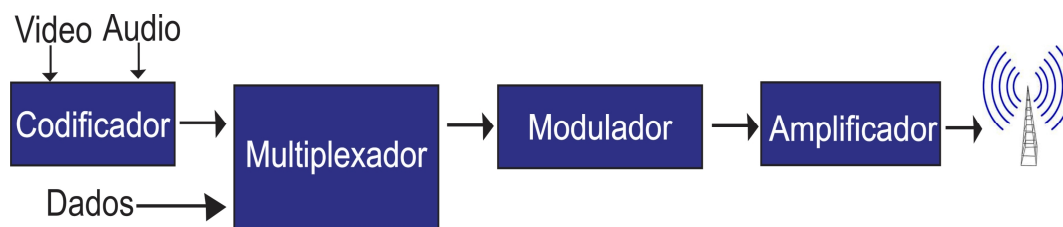


Fig. 3.2. Sistema de Transmissão Digital

### 3.5 Codificação

Existem três padrões de codificação que são: *Moving Picture Experts Group* (MPEG-2), MPEG-4 e h-264.

A transmissão digital usa a compressão MPEG-2 que utiliza algoritmos que exploram a percepção visual humana sem prejudicar a qualidade do vídeo que está sendo transmitido pelo canal. As vantagens do MPEG-2 consistem principalmente na menor necessidade de espaço para armazenamento em uma largura de banda de um ponto a outro.

O formato MPEG-4, incorpora as características dos formatos MPEG-1 e MPEG-2 e agrega a eles outros recursos como *Virtual Reality Modeling Language* (VRML). Esta linguagem dá suporte a recursos 3D possibilitando inúmeros recursos de interatividade como, por exemplo, a realidade aumentada utilizada para desenvolver simulações em ambientes 100% virtuais

O MPEG-4 é dividido em 23 partes, das quais, a parte 2 é o codificador de dados visuais e a 10 é o codificador de sinais de vídeo.

Já o padrão H-264 foi desenvolvido para a reprodução de vídeos em alta definição, oferecendo um maior poder de compressão. Informações neste formato ocupam metade do espaço que seriam ocupados com dados no formato MPEG-2, já que os algoritmos de compressão tem uma maior eficiência no tratamento destes dados que são transmitidos.

### **3.6. Modulação**

A modulação utilizada na TVD para o padrão brasileiro é o OFDM, que consiste em transmissão paralela em diversas subportadoras com modulação QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) ou *Phase Shift Keying* (PSK) e taxas de transmissão para subportadoras tão baixas quanto maior o número destas empregadas.

A portadora do sinal OFDM é a soma de outras subportadoras, moduladas em QAM ou QPSK, esse sinal de banda é comumente usado para modular sinais de rádio nas frequências principais.

A modulação é baseada nas técnicas de amplitude e fase. Ao longo da linha de transmissão através da portadora são transmitidos sinais que variam em amplitude e fase. Cada uma dessas variações em amplitude e fase traduz um conjunto de bits (2 a 8 bits). Assim a economia de largura de banda é muito maior do que na modulação PSK com dibits e quadribits, pois para a mesma mudança de fase pode haver duas ou mais amplitudes diferentes o que implica quadribits diferentes. Um exemplo com tri bits é mostrado na Fig. 3.3, onde para a mesma mudança de fase existem duas amplitudes diferentes, que conseqüentemente traduzem tribits diferentes.



amplitude relativa	desvio de fase (graus)	bits transmitidos	valor correspondente
1	45	0 0 0	"0"
1	135	0 0 1	"1"
1	225	0 1 0	"2"
1	315	0 1 1	"3"
2	45	1 0 0	"4"
2	135	1 0 1	"5"
2	225	1 1 0	"6"
2	315	1 1 1	"7"

Fig. 3.3. Exemplo com Tribits

### 3.7. Modulação QPSK.

A modulação QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), é uma técnica derivada do PSK, que para modular o sinal de informação capta parâmetros de fases e quadraturas de ondas portadoras. Com isso se torna possível mais tipos de símbolos nesta constelação, permitindo mais bits por símbolo. Pode ser visualizado na Fig. 3.4, no diagrama de fase e quadratura (IQ) os 4 possíveis símbolos gerados em modulação QPSK utilizando 2 bits por símbolo.

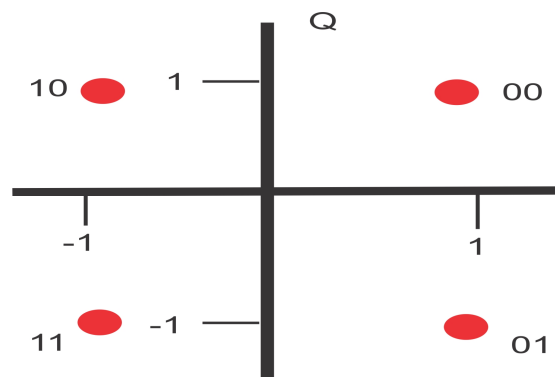


Fig. 3.4. Constelação de um sinal QPSK.

### 3.8. Modulações QAM

A QAM modifica a amplitude da onda portadora, de forma que esta transmita os dados desejados. A técnica consiste em combinar dois sinais de AM (amplitude Modular) em somente um canal, dobrando o efetivo da largura de banda. Nos sistemas digitais, a modulação QAM é utilizada como uma espécie de pulso de amplitude modular, principalmente em aplicações de comunicação sem fio.

O esquema de modulação QAM esta dividido em: 16QAM, 32QAM, 64QAM indo ate 2056QAM. Os valores que precedem a modulação indicam a quantidade de símbolos transmitidos em cada um dos modelos, temos como exemplo 16 QAM transmite 16 símbolos, uma vez que cada um representa 4 bits, 64 QAM transmite 64 símbolos, sendo que cada um representa 6 bits. O esquema de 16 QAM pode ser visualizado na Fig.3.5 ilustrada abaixo:

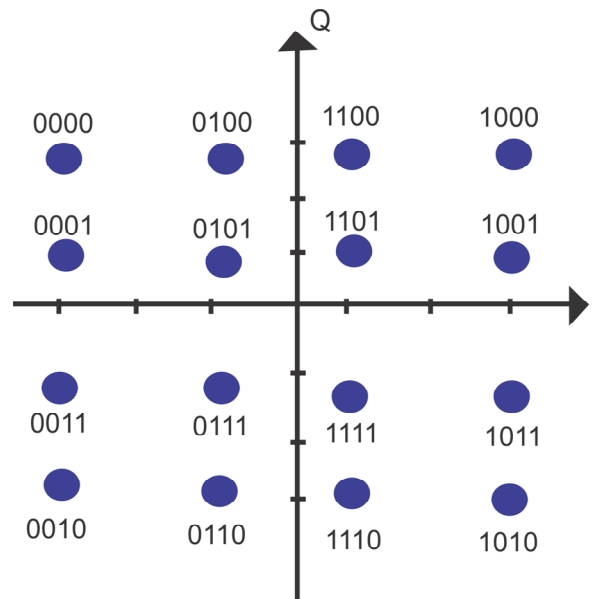


Fig. 3.5 Constelação de um sinal 16 QAM.

### 3.9. PADRÕES ISDB-T E SBTVD

Existem diversos padrões de televisão digital em uso: Americano (ATSC - *American Television System Committee*), Europeu (DVB - *Digital Video Broadcasting*) e Japonês (ISDB - *Integrated Services Digital Broadcasting*), sendo que cada um busca finalidades específicas, tais como (exemplificando): transmissão em HDTV (TV em alta definição), facilidade de recepção e mobilidade, recepção interna e externa, integração com sistemas multimídia, mobilidade, HDTV, respectivamente.

O ISDB-T (T de terrestre - terrestre), que será dado ênfase por ter embasado o padrão brasileiro, foi criado em 1999 por várias empresas e operadoras de televisão, sendo o padrão de transmissão terrestre japonês. Utiliza na modulação o COFDM (*Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*), com algumas variações e possui uma taxa de transferência que varia entre 3,65 à 23,23 Mbits/s e uma largura de banda de 6, 7 ou 8 MHz.

Entre suas maiores vantagens, pode-se destacar a grande flexibilidade de operação e potencial para transmissões móveis e portáteis. A multiplexação e codificação de vídeo são

realizadas em MPEG-2. A codificação de áudio utiliza o MPEG2 ACC áudio. O *middleware* padrão é o ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*).

No Brasil, especificamente, após diversos estudos realizados, o SBTVD, foi instituído em 23 de novembro de 2003, pelo então Presidente da República, a partir do decreto nº 4.901. Tem como principal finalidade, segundo o decreto, “promover a inclusão social, a diversidade cultural do País e a língua pátria por meio do acesso à tecnologia digital, visando à democratização da informação” [27].

Na versão brasileira foram acrescentadas tecnologias desenvolvidas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Essa especificidade do sistema brasileiro possibilita a transmissão de conteúdo de altíssima qualidade, tanto em termos de imagem como de som, permitindo ao mesmo tempo a recepção móvel e portátil dos sinais de TV digital. Para oferecer esses diferenciais, o SBTVD adotou o padrão MPEG-4, também conhecido como H.264, para codificação de vídeo, e o HE-AAC v2 para o áudio [28].

Outros importantes diferenciais do SBTVD são a mobilidade e a interatividade. No caso da mobilidade, é possível percebê-la na prática, uma vez que já estão à disposição dos consumidores brasileiros diversos dispositivos móveis por meio dos quais se pode assistir à TV digital, como celulares, mini-televisores e receptores USB para micros.

De forma resumida, o modelo adotado pelo Brasil visa a agrupar as melhores funcionalidades de cada padrão. O SBTVD deixa claro que esse avanço tecnológico não se restringirá a uma simples troca de equipamentos para atender a interesses mercadológicos e/ou econômicos. O decreto nº 5.820 demonstra o interesse com o desenvolvimento da indústria nacional e com a inclusão digital/social, por intermédio da TV, que tende a tornar-se uma ferramenta com finalidades sociais, com a criação de canais destinados ao poder executivo, cidadania, educação e cultura. [29]

Para que o SBTVD possa alcançar os objetivos supracitados, são necessários estudos que viabilizem a interatividade com a programação pretendida. Tal interatividade pode ser feita de forma local, quando a aplicação já vem no carrossel de dados, ou plena, quando o usuário possui seu aparelho receptor (*set-top box*) ligado a um canal de retorno.

Conforme dito, uma das principais vantagens da interatividade é levar os serviços digitais aos lares dos brasileiros, tais como: a criação de uma rede universal de educação à

distância, informações governamentais a serviço da comunidade, ampliação de acesso a determinados serviços de saúde, coleta de dados em tempo real minimizando a necessidade de sensores para dimensionar determinados problemas, comunicação de voz, transmissão de vídeo sob demanda via canal de retorno.

### 3.10 Canal de Retorno

Define-se canal de retorno como o uso de qualquer tecnologia de rede de telecomunicações que estabeleça a comunicação entre o usuário e a provedora de interatividade no sentido inverso, ou seja, promovendo um meio de interatividade em tempo real ao usuário em direção à origem da interatividade [30].

Existem diversas tecnologias que podem se aplicar neste tipo de contexto. A aplicação destas à TV Digital é de suma importância, pois assim se pode atingir um nível considerável de interatividade, uma vez que com ela o usuário pode interferir na programação transmitida, seja por uma simples enquete ou mesmo na escolha da programação.

Com este nível de interatividade, se torna possível usar as funções primárias de um computador em um aparelho televisor, como, por exemplo, a leitura de e-mail e algumas transações como compras na internet, rotinas bancárias e cursos a distância.

Tendo em vista as possibilidades existentes, a escolha da tecnologia deste tipo de canal de retorno se torna uma decisão de cada emissora ou rádio difusora.

O Sistema Brasileiro de TV Digital prevê o uso de diversas tecnologias para prover o Canal de Retorno, porém duas geram um maior interesse que são a 3G HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*) e a banda larga cabeada.

No Brasil, o maior desafio para a implementação do canal de interatividade é encontrar uma solução de custo viável, eficiente e flexível à diversidade do cenário geográfico brasileiro.

Nos últimos anos diversos autores trabalham em alternativas que atendam a essas necessidades, por exemplo, o uso de uma rede Ad-Hoc [30], ou o uso do WiMAX (*World wide Interoperability for Microwave Access*)[31]-Este trabalho sugere uma solução com o uso de uma rede baseada em *femtocells*, onde seu baixo custo de implantação e eficiência dos equipamentos são um grande atrativo para o uso em função do canal de retorno brasileiro.

Atualmente existem diversos testes e projetos pilotos para testar inúmeras tecnologias que podem ser aplicadas neste cenário. A sua aplicação na TV Digital é fundamental para se conseguir atingir um nível total de interatividade.

Na Fig. 3.6, uma idéia do sistema de TV Digital com a inserção do canal de retorno é apresentada.

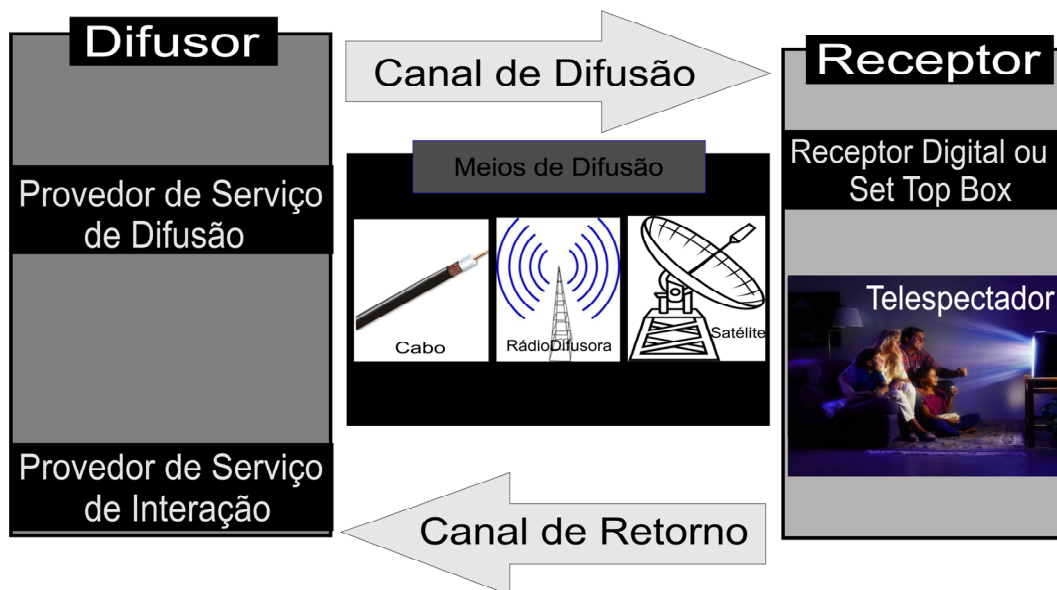


Fig. 3.6 Sistema de TV Digital com o Canal de Retorno

### 3.11. Tipos de interatividade televisiva

A interatividade não se resume simplesmente ao aumento da comodidade das partes envolvidas na transmissão, envolve também alguns aspectos financeiros, ao aumentar a quantidade e a qualidade dos serviços que são oferecidos. Dentro desses serviços pode-se destacar o comércio televisivo, onde o telespectador passa a ter a oportunidade de adquirir produtos anunciados diretamente pela TV, sem a necessidade de acessar o site da empresa anunciante ou até mesmo se deslocar a uma de suas lojas. Além disso, possibilitam serviços como o de *t-health*, que pode melhorar a qualidade de vida das pessoas.

Esses serviços adicionais são possíveis graças ao *datacasting*, ou transmissão de dados multiplexados com o sinal audiovisual. O *datacasting* permite a comunicação do transmissor com o telespectador através do envio de dados, geralmente em forma de texto, dando início à interatividade. O próximo passo, talvez o mais importante, já que o antecessor já está consolidado, é a reação de quem assiste, podendo, por sua vez, interagir em determinado instante da transmissão.

Na Interatividade local se pode ter a configuração de legendas, jogos residentes, guia de programação eletrônica, etc. enquanto na interatividade remota se pode ter o comércio eletrônico, acesso a contas bancárias, bate-papo, serviços de saúde, aplicações para educação à distância, etc.

A interatividade remota pode ser dividida em dois subgrupos: intermitente, onde se pode realizar votação e pesquisa de opinião, por exemplo; e permanente, onde se tem a navegação na internet, e-mail, chat, competições interativas (jogos multiusuários em tempo real), compras, home banking, EAD, comunicação entre os usuários, etc.

A interatividade se divide em 3 classes:

Interatividade tipo 1 ou interatividade local - nesta classe existe interatividade entre usuário e a TV mas não existe interatividade entre o usuário e a emissora. Isto significa que o conteúdo sendo exibido pode sofrer a interferência do telespectador, mas o conteúdo transmitido não para todos os usuários .

Interatividade tipo 2 ou interatividade intermitente – nesta classe já existe a comunicação usuário-emissora, ou seja, o usuário pode interferir diretamente no conteúdo sendo transmitido. Este tipo exige a utilização do canal de retorno para que as informações possam ser enviadas do usuário para a emissora, porém essa conexão existe somente durante o tempo necessário para que as informações cheguem ao seu destino.

Interatividade tipo 3 ou interatividade permanente – difere-se da interatividade intermitente por necessitar de uma conexão contínua com a emissora via canal de retorno. Nesta classe, o telespectador muda do papel de receptor-colaborador para produtor e emissor de conteúdo, ou seja, a resposta do usuário faz parte do conteúdo transmitido para a TV.

Aplicações que encaixam nesta categoria ainda são consideradas de difícil adoção num período inicial devido ao seu alto custo e pela própria cultura de uso da TV afinal o usuário ainda não se adaptou em poder participar de forma mais intensa de participação.

Além dos tipos supracitados, ainda pode-se considerar a interatividade tipo 0, ou a ausência de interatividade, onde se encaixam os programas de TV como conhecemos atualmente. Nesta configuração, não há interação entre usuário e emissora, seja por falta de necessidade, seja por falta de interesse da emissora.

### **3.12. Tipos de Aplicações Interativas**

Uma das principais características da TV Digital é o desenvolvimento de aplicações que podem ser residentes em um dispositivo receptor ou serem enviadas juntamente com um

programa televisivo. Essas aplicações computacionais que executam sobre um dispositivo físico permitem o surgimento de inúmeros serviços. Alguns desses serviços são descritos abaixo:

EPG (Guia Eletrônico de Programação): Interface gráfica que possibilita a navegação pelas múltiplas possibilidades de programação que o usuário encontrará na TV Digital, que nada mais é do que os guias e os horários de televisão que são publicados nos jornais de circulação normais ou até mesmo em forma digital conforme Fig. 3.7 abaixo:



Fig. 3.7. Guia Eletrônico de Programação da SKY [32].

T-Gov: Esse tipo de aplicação representa visualizar programas de governo via transmissão televisiva. Diferencia-se dos programas atuais, por se tratar de assuntos específicos dos órgãos públicos onde o usuário tem acesso a informação pela introdução da interatividade com canal de retorno, o que torna possível a identificação da demanda proveniente do cidadão. Essa aplicação pode ser vista conforme a Fig.3.8.

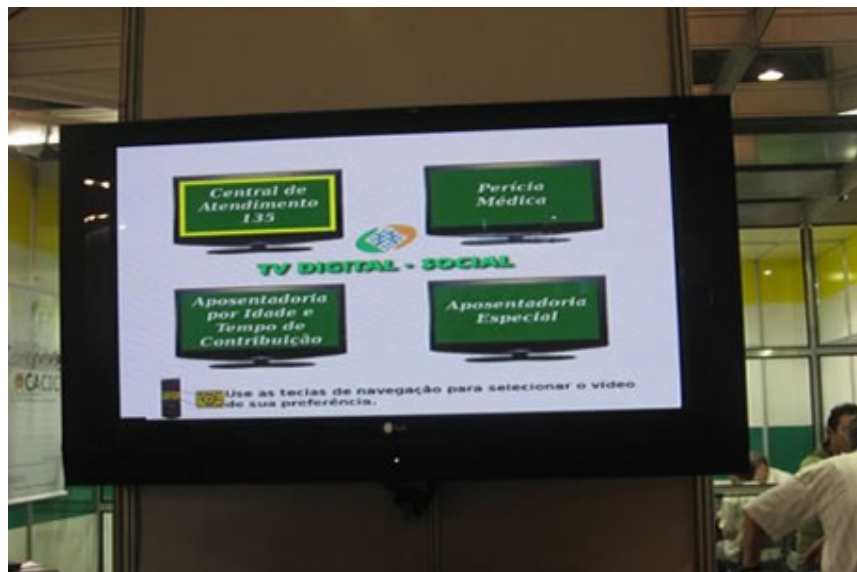


Fig. 3.8. Aplicação T-GOV Desenvolvida pela DATAPREV. [33]

*T-Commerce*: Comércio eletrônico pela TV. Explora atividades comerciais de varejo via transmissão televisiva. O que torna possível a conclusão de uma transação comercial por meio da operação de um controle remoto.

*T-Learning*: São serviços voltados para a educação, independentemente do grau. Estes serviços comportam aplicações de ensino a distância (EAD) e de suporte ao ensino e educação, vale ressaltar também que o EAD é uma linha de constante crescimento na atualidade e recursos que envolvam este tipo de aplicação se fazem necessários não só para o suporte educacional, mas sim para encurtar as distancias geográficas na educação.

*T-Health*: Serviços de saúde pela TV. São aplicações de interesse da comunidade que podem minimizar as imensas filas que se formam em postos e instituições de saúde. Consiste em programas que informem serviços oferecidos por hospitais e postos, marcação de consultas, programas de imunização, campanhas de esclarecimento, campanhas de vacinações, consulta de índices de Glicemia, índices de IMC(Índice de Massa Corpórea) e outros serviços que por uma certa particularidade não se faça necessário a ida a um profissional médico para se ter um pré-diagnóstico.

*T-Banking*: É o chamado home banking, hoje disponível pelo computador através da internet. Esse serviço também será possível através da TV Digital, onde através do controle remoto o usuário poderá acessar informações sobre sua conta bancária, emitir extratos, saldos e fazer transferências.



*T-Mail*: Análogo ao e-mail, o serviço de correio eletrônico pela TV, visa a atingir grande parte da população sem acesso à Internet, e complementa a possibilidade de aplicações em EAD, Governo eletrônico, comércio e saúde pela televisão.

*T-Sale*: São aplicações onde o usuário poderá comprar uma determinada peça do vestuário ou imóvel do programa o qual está sendo exibido. Ex.: em uma telenovela, uma usuária telespectadora poderia comprar o vestido que a atriz principal esteja usando, assim como seu chapéu.

### 3.13. Trabalhos Correlatos

Segundo [34], acesso aberto é uma das opções de acesso para redes *femtocell*, onde as estações estão autorizadas a fazer *hand-off* para as estações de base de *femtocell* (FBSS) na sua vizinhança. Neste artigo várias métricas de desempenho e *trade-offs*, que são relacionados à implantação de redes *femtocell* de acesso aberto, são apresentados através de simulações de computador em softwares, dentre os quais se destacam o *OPNET*. Com ele é analisado o impacto de um método de seleção baseado na capacidade da célula, ao invés de uma seleção de célula que se baseia a qualidade da ligação, na capacidade da macro-célula. São estudadas então, as funções de distribuição cumulativa (CDF) da capacidade de *femtocells*, macro-células e usuários em *femtocell* de acesso livre.

Estudos realizados por [19] mostram que *femtocells* têm sido apontados pela indústria como uma boa solução não só para superar o problema de cobertura indoor, mas também para lidar com o crescimento do tráfego dentro macro-células. No entanto, a implantação de uma nova camada de *femtocell* pode ter um impacto indesejado sobre o desempenho da camada de macro-células existente. A alocação de recursos de espectro e necessidade de evitar interferências eletromagnéticas são alguns dos desafios encontrados pelas operadoras que desejam implantar esta tecnologia. Uma cobertura e análise da interferência baseada em um cenário realista contendo macro e *femtocell* utilizando OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) são fornecidas, bem como algumas orientações sobre como a atribuição do espectro e os problemas de interferência podem ser abordados nestas redes. É dada especial atenção ao uso de técnicas de auto-configuração e auto-otimização para evitar a interferência.

Em artigo publicado por [35], *femtocells* são estações de baixa potência operacional que operam em espectro licenciado, instaladas tipicamente dentro de residências, pequenos escritórios, ou em edifícios comerciais por usuários finais. Devem fornecer acesso exclusivo

ou preferencial a um grupo designado de usuários, conforme configurado pelo assinante *femtocell* e/ou o provedor de acesso.

*Femtocells* ganharam muita atenção recentemente devido a suas vantagens em termos de economia de custos na infraestrutura e melhoria da experiência em ambientes *indoor*. Vários consórcios de padronização, como o 3GPP, WiMAX Fórum e IEEE 802.16, começaram a desenvolver um soluções para permitir e otimizar a operação de *femtocells* dentro destas tecnologias. No entanto, existem alguns desafios técnicos a serem superados para o sucesso de tecnologias que pretendem utilizar *femtocell*, antes que eles possam ser implantados em grande escala.

Em resumo, o uso de *femtocells* é apontado como uma solução para o tráfego crescente que a implantação de TV Digital deve gerar. As simulações realizadas conseguem medir a escalabilidade das redes WIMAX, para que se possa avaliar a viabilidade da implantação das mesmas como canal de retorno para TV Digital.

### **3.14. Considerações Finais**

Ao final deste capítulo, foi mostrada a história da TV Digital no Brasil e em outras regiões do mundo, também se observou aspectos de suma importância como o sistema escolhido para a implantação tais como: modulação, frequências e codificações.

O canal de retorno por sua vez tem um papel importante, dentro da interatividade que é um grande diferencial a todas as demais aplicações implantadas nos outros países que usam essa tecnologia.

É importante ressaltar que independente do modelo escolhido, a iniciativa foi ousada, uma vez que o País passava por inúmeras transformações de ordem política. Esse passo foi comentado por diversos autores como um dos passos que alavancou o crescimento do País, levando o Brasil que estava no nível de subdesenvolvido para o grupo de países emergentes ou em desenvolvimento.

## Capítulo 4 - OPNET e NS3

### 4.1. Considerações Iniciais

Segundo [36] existem três técnicas para avaliação de desempenho de um determinado sistema, são elas a modelagem analítica, simulação e medidas de um sistema real (aferição). A seleção da técnica correta depende do tempo e recursos disponíveis para solucionar o problema e o nível desejado de precisão. Juntamente com a técnica de avaliação faz-se a escolha da ferramenta a ser utilizada na modelagem. Para simulação, por exemplo, utiliza-se um pacote de simulação disponível ou a linguagem de programação para desenvolvimento de um simulador próprio. Na medição do sistema real utilizam-se ferramentas de monitoração do sistema.

A simulação utiliza recursos matemáticos e computacionais para modelar o funcionamento de um conjunto de operações ou processos existentes no mundo real, a simulação pode avaliar um sistema que ainda não está disponível, prevendo seu desempenho ou comparando alternativas [3].

Alguns dos fatores que justificam o uso de técnicas de simulação são: Possibilidade de atingir níveis de detalhes às vezes não permitidos em um sistema real; Economia de tempo e recursos financeiros, trazendo ganhos de produtividade e qualidade; Permitir obter respostas a eventos que não ocorrem naturalmente e com frequência no sistema real.

Atualmente, há uma variedade de simuladores de rede, que vão desde as aplicações mais simples às mais complexas. No mínimo, um simulador de rede deve permitir que os usuários simulem uma topologia de rede, definindo os cenários, especificando os nós da rede, as ligações entre os nós e o tráfego entre os nós. Sistemas mais complexos podem permitir que o usuário realize modificações profundas nos protocolos utilizados para processar o tráfego de rede.

Existem diversos tipos de simuladores, os dotados de interface gráfica que permitem aos usuários visualizar facilmente o funcionamento do seu ambiente simulado. Alguns deles são baseados em linhas de código e podem fornecer uma interface visual ou menos intuitiva, mas podem permitir formas avançadas de personalização. Outros podem ser de programação orientada a objeto e podem fornecer uma estrutura de programação que permite que os usuários criem um aplicativo que simula o ambiente de rede para testes.

Dentre os diversos simuladores existentes, serão abordados apenas dois neste capítulo. Estes foram escolhidos devido ao fato de serem citados largamente na literatura. Um deles o OPNET, é um software proprietário e o outro, chamado NS3 tem código aberto e seu desenvolvimento dá-se via linguagem C++ e sem interface gráfica, já o OPNET possui ambiente gráfico e para muitos o melhor ambiente para as simulações. Ambos serão abordados brevemente neste capítulo.

## **4.2. Opnet**

O OPNET [37] foi desenvolvido pela RIVERBED, uma empresa Norte Americana. É largamente utilizado como instrumento para modelagem de redes de telecomunicações. Seu ambiente de trabalho permite criar uma rede a partir de uma biblioteca de modelos e definir parâmetros não só do ambiente, como também de cada objeto que a compõe, e os impactos de suas variações.

O OPNET é um ambiente de software também chamado de modelador. É especializada em investigação e desenvolvimento de redes. Ele pode ser usado para estudar de forma flexível redes de comunicação, dispositivos, protocolos e aplicações. Por se tratar de um software comercial, o OPNET oferece relativamente muito apoio visual ou gráfico para os usuários. A interface do editor gráfico pode ser usada para construir a topologia da rede e as entidades da camada de aplicação para a camada física. É um ambiente orientado a objetos que se utiliza desta técnica de programação para criar o mapeamento do designer gráfico para a implementação dos sistemas de reais.

Um exemplo da Guia gráfica da OPNET pode ser visto na Fig. 4.1 Pode-se observar todos os resultados da topologia, configuração e simulação podem ser apresentados de forma intuitiva e muito melhor de se visualizar como demonstrado na Fig. 4.2. Os parâmetros também podem ser ajustados e os experimentos podem ser repetidos facilmente através de fácil operação através da GUIA que nada mais é do que um ambiente com todos os parâmetros que se julgue necessário para a realização de cada umas das simulações.

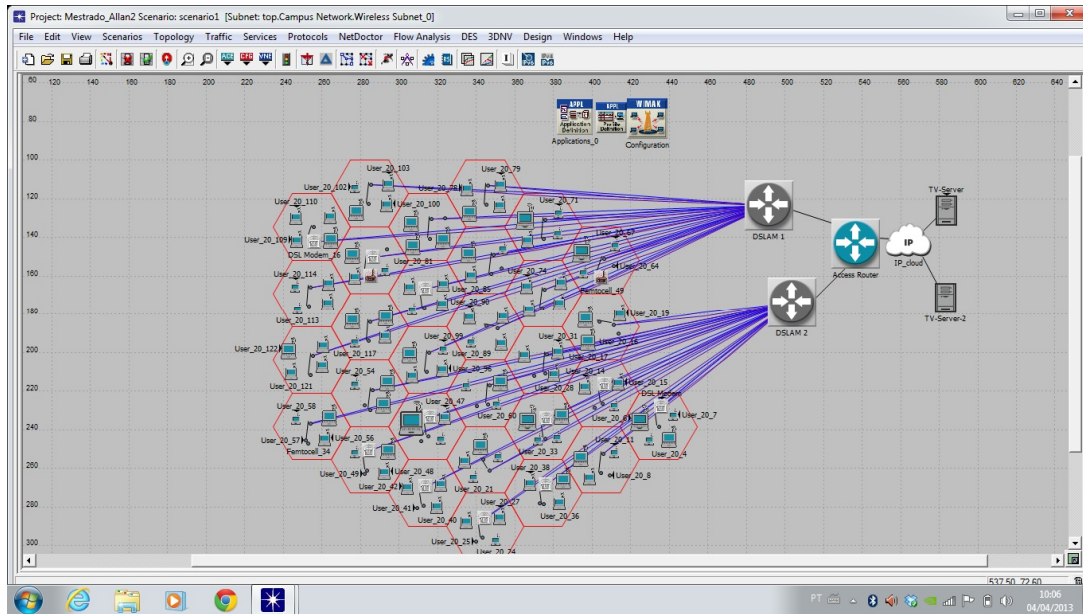


Fig. 4.1. Ambiente de Desenvolvimento.

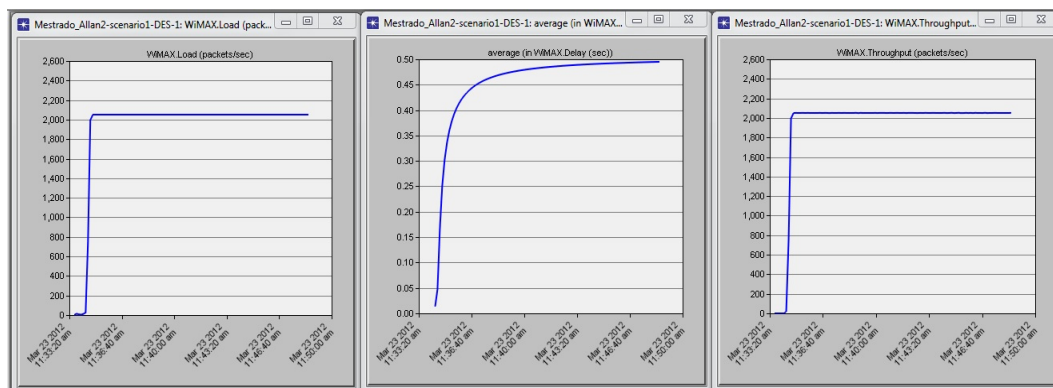


Fig. 4.2. Gráficos que demonstram alguns resultados da simulação- Pacotes/segundo e Delay

OPNET tem três funções principais: modelagem, simulação e análise. Para a modelagem, proporciona ambiente gráfico intuitivo para criar todos os tipos de modelos de protocolos. Para simular, ele usa três diferentes tecnologias e simulações avançadas e pode ser usado para tratar uma ampla gama de estudos. Para a análise, os resultados da simulação e os dados podem ser analisados e exibidos de forma facilitada.

Algumas destas características são citadas abaixo:

- Simulação rápida de eventos discretos
- Biblioteca de componentes com código fonte
- Modelagem orientada a objetos
- Ambiente de modelagem hierárquica

- Escaláveis simulações sem fio oferecem suporte
- 32-bit e 64-bit interface gráfica do usuário
- Modelagem sem fio personalizadas
- Eventos discretos, *Hybrid*, e simulação Analítica
- Simulação de *kernel* de 32 bits e de 64 bits em paralelo
- Suporte de computação em alto desempenho
- Depuração baseada em GUIA e análise
- Interface aberta para a integração de bibliotecas de componentes externos.

Por fim a escolha de se utilizar o OPNET, foi em detrimento da facilidade em manusear seus componentes e na exportação de seus dados para o devido tratamento, já que o mesmo possuindo uma interface gráfica torna o trabalho mais agradável para se trabalhar.

#### 4.3. Network Simulator 3 (ns-3)

O *Network Simulator 3* (ns-3) é um simulador de rede que pretende ser uma nova alternativa ao popular *Network Simulator 2* (ns-2). O ns-3 é um software gratuito, distribuído sob a licença GNU GPLv2 e que é disponibilizado gratuitamente para investigação, desenvolvimento e utilização.

O projeto *ns-3* é financiado por várias instituições como a Universidade de Washington, o *Geórgia Institute of Technology* e o *ICSI Center for Internet Research*, tendo ainda o suporte do *Planète research group* do INRIA Sophia-Antipolis. O ns-3 é escrito em C++ e Python e esta disponível para vários sistemas operacionais como Linux, OS X e Windows através utilização do Cygwin, Cygwin é um ambiente Linux para Windows. Ele consiste de uma DLL (cygwin1.dll) que age como uma camada de emulação fornecendo um sistema POSIX (*Portable Operating System Interface*) substancial com funcionalidades e uma coleção de ferramentas no estilo e no visual do Linux. Em outras palavras, ele auxilia os desenvolvedores na migração de aplicativos do UNIX/Linux para a plataforma Windows.

O ns-3 é totalmente novo e não suporta as APIs da versão anterior. Algumas funcionalidades do ns-2 já foram portadas para o ns-3. O projeto continuará mantendo o ns-2 enquanto o ns-3 estiver em fase de desenvolvimento e formas de integração e transição estão em estudo. O ns-3 é código aberto e existe um grande esforço para manter um

ambiente aberto para pesquisadores que queiram contribuir e compartilhar software com o projeto.

O simulador oferece suporte à simulação de um grande número de tecnologias de rede (com e sem fio), diferentes cenários baseados nos protocolos TCP e UDP, diversos escalonadores de fila, caracterização de tráfego com diversas distribuições estatísticas.

No ns-3, o simulador é escrito em C++ com suporte opcional a Python. Desta forma, os códigos de simulação podem ser escritos somente em C++ ou Python. O motivo para se utilizar duas linguagens de programação baseia-se em duas diferentes necessidades. De um lado existe a necessidade de uma linguagem mais robusta para a manipulação de bytes, pacotes e para programar algoritmos que rodem um grande conjunto de dados. De outro, é necessária a utilização de ferramentas para que se possa compilar os arquivos fontes e gerar os executáveis, neste contexto a ferramenta mais conhecida é o *make*. Porém, esta tarefa, através do *make*, torna-se árdua. Por este motivo, muitas alternativas foram desenvolvidas, utilizando principalmente a linguagem *python*.

O C++, é uma linguagem compilada e de uso tradicional, mostrou-se a ferramenta mais eficaz para a construção de topologias, pois, durante o processo de simulação, ajustes são necessários com certa frequência.

O Waf é utilizado para gerar os binários no projeto ns-3. Ele faz parte da nova geração de sistemas de compilação e construção baseados em Python.

O ns-3 fornece um conjunto de modelos de simulação de rede implementados como objetos C++ e envolto por *python*.

Os usuários normalmente interagem com esta biblioteca, escrevendo um código ou um aplicativo *python* que instancia um conjunto de modelos de simulação para configurar o cenário de simulação de interesse. A entrada se dá no *main loop* simulação, e tem-se a saída quando a simulação é concluída na Fig. 4.3 pode-se observar como esta dividida essa estrutura dentro do simulador.

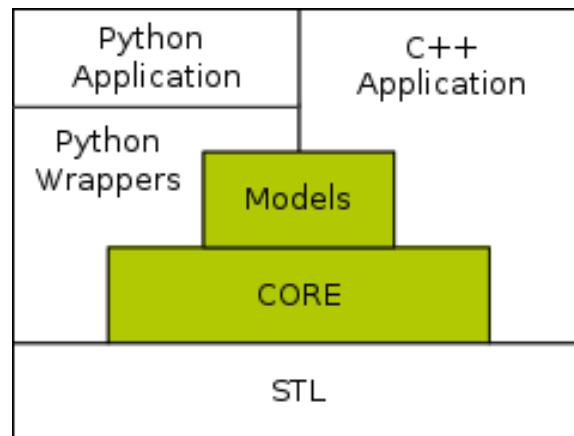


Fig. 4.3. Estrutura do ns-3 [25]

#### 4.4 Considerações Finais

Neste capítulo foi abordado algumas ferramentas disponíveis para o estudo do desempenho de redes, dentre elas o OPNET e o NS-3, sendo a primeira uma ferramenta proprietária, já a segunda um simulador de código aberto, que em comum possuem como linguagem de programação C ou C++. O OPNET por possuir uma interface gráfica facilita o trabalho ao contrario do NS-3 que é desenvolvido via linhas de código ou como é mais conhecido via terminal.



## Capítulo 5 – Avaliações de Desempenho

### 5.1. Considerações Iniciais

Neste capítulo, será abordado os conceitos de avaliação de desempenho, assim como as métricas que regem este estudo, a terminologia, modelagem analítica, técnicas de desempenho, modelos de simulações, aferições, introdução sobre teoria de fila e cadeias de Markov.

### 5.2. Avaliação de Desempenho

Segundo [38] desempenho é o critério “chave”, desenvolvimento e uso de sistemas de TI. Atingir o maior objetivo da análise de desempenho, ou seja, alcançar o maior equilíbrio entre desempenho e custo. Estes conceitos básicos e objetivos das métricas e técnicas utilizadas para avaliação do desempenho de redes de computadores. Melhorias no desempenho que é um dos objetivos tanto na fase de projeto como nas atualizações das redes de computadores. Para atingir tal objetivo é necessária uma análise criteriosa do sistema a ser implementado.

Adotando "desempenho" como sendo: a medida da "capacidade de resposta" de um sistema, e ainda: A estratégia que, a partir de métricas ou técnicas, apresenta diagnósticos sobre o comportamento do sistema ao longo do tempo. Podemos analisar o desempenho de um sistema em dois passos:

- Selecionando as técnicas de desempenho.
- Seleção de métricas de desempenho.

há 3 técnicas para avaliar de performance de um sistema são elas:

- Medição ( aferição)
- Análise quantitativa (modelagem analítica).
- Simulação.

### 5.3 Modelagens Analíticas

Devido à facilidade de utilizá-las e ao seu baixo custo, este tipo de técnica vem sendo cada vez mais utilizada para modelar sistemas paralelos.

Usa Modelos determinísticos (análise de limites de valores médios) e Modelos probabilísticos (processos estocásticos, modelos de filas). Que são um conjunto de fórmulas

e/ou algoritmos que determinam as medidas de desempenho (métricas) em função de um conjunto de parâmetros de carga (as entradas).

A escolha dos parâmetros corretos e importantes para análise vão determinar a precisão dos resultados do modelo.

Alguns exemplos interessantes sobre utilizações desta técnica, são apresentados a seguir.

O primeiro deles trata-se do modelo BSP, que utiliza alguns parâmetros na sua especificação. Além deste, também relata sobre o modelo LogP, que faz uso de quatro parâmetros (latência, overhead, gap e número de processadores) para caracterizar um sistema paralelo [39].

Pode ser usada em qualquer estágio do sistema. Fornece resultados rápidos com baixo custo. Facilita projeto e configuração do sistema por meio da melhora o conhecimento sobre o sistema da avaliação dos compromissos entre vários parâmetros e do impacto de cada parâmetro. Responde perguntas do tipo E se... ( what if).Captura aspectos mais gerais do funcionamento do sistema mas, não captura aspectos do funcionamento. Uma representação destas técnicas pode ser observada conforme figura 5.1

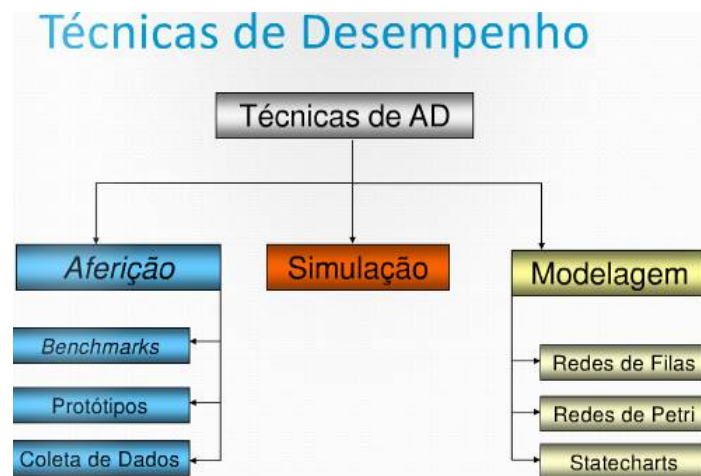


Figura 5.1: Técnicas de Desempenho

## 5.4 Modelos de simulação

Simuladores são muito importantes respondem questões como. qual a política de replicação de base de dados que resulta em maior chance de sucesso?. Ou Qual o tempo de resposta de um banco de dados de transações varia com a taxa de transações? Qual o impacto no tempo de resposta de um upgrade de CPU? de disco?

Custo mais elevado sendo que a simulação deve cobrir vários estados, sendo necessárias várias execuções. Por isso requer maior tempo para implementação, capturando detalhes do funcionamento do sistema, possibilita uma excelente pesquisa quanto a melhor combinação de valores de parâmetros, entretanto não traduz claramente a real interação entre os mesmos. Responde perguntas do tipo what if.

Modelos de simulação são programas de computador nos quais a operação de um sistema e sua carga são descritas por meio de algoritmos apropriados. As linguagens de programação Oferece suporte para a implementação da simulação exemplos são: SIMSCRIPT (eventos) e GPSS, SIMULA (processos)[40].

Ainda Pacotes de uso específico voltados a um ou mais domínios de aplicação pouco flexíveis um exemplos: NS-2, PeerSim

## 5.5 Aferição

Aferição responde questões como. Quais os principais componentes do tempo de resposta em um servidor web?. Qual o impacto de uma invasão do tipo DDOS no desempenho de servidores web tradicionais, tem uma alta complexidade, e muitas variáveis: alto custo [41]. Entretanto possui uma maior credibilidade.

Sendo muito difícil avaliar impacto de fatores isolados como a falta de controle. Tem alta precisão somente se for realizada corretamente, pois somente assim poderá determinar com maior precisão os resultados do modelo.

Suas técnicas são:

- Instrumentação
- Monitoração
- Benchmarks

## 5.6 Métricas

Critério usado para qualificar a performance de um sistema exemplos de métricas geralmente usadas:

- Utilização: ( Recursos tipo memória e processador).

- Sistemas tipo pedágio: Vazão (thoroughput): visão dos servidores e administradores de rede. É medido em termos de mensagens, chamadas, transações ou sessões operadas num determinado período de tempo.
- Tempo de resposta: É definido como o intervalo entre a requisição do usuário e a resposta do sistema
- Vazão: É definida como a taxa em que as requisições podem ser atendidas pelo sistema, permite determinar a velocidade com que as requisições são atendidas e, portanto, como o servidor esta tratando as diversas solicitações do serviço.
- Taxa de Custo / Desempenho: É uma métrica interessante para se comparar dois sistemas, o custo inclui hardware, software, instalação e manutenção em um número de anos. O desempenho é medido em termos da sua vazão, considerando uma dada restrição de tempo de resposta.
- Confiabilidade: É medida pela probabilidade de erros ou o intervalo de tempo entre os erros, também com frequência especificada com segundos livres de erros. Através deste indicativo, pode-se comparar serviços diferentes e indicar o maior tempo possível.
- Disponibilidade: É a fração de tempo que o sistema esta disponível para atender as requisições do usuário, o tempo em que o sistema não esta disponível é chamado de *downtime*, e o tempo que esta ativo é chamado de *uptime*.

A qualidade dos serviços oferecidos aos clientes. É a medida da quantidade de tempo necessário para a realização do serviço. Geralmente é medido em termos médios, por exemplo, número médio de clientes na fila de uma agencia bancária.

## 5.7 Introdução a Cadeias de Markov

Os estudos introduzidos por A.Markov são de grande utilidade na avaliação de desempenho de sistemas.

Uma Cadeia de Markov trata-se de um conjunto de estados e transições entre estes estados. Estas transições são modeladas por processos estocásticos, e possuem uma probabilidade associada (quando tratam-se de processos de tempo discreto) ou uma taxa (no caso de processos de tempo contínuo). Cadeias de Markov de tempo contínuo permitem que as transições possam ocorrer em qualquer instante de tempo, enquanto as de tempo discreto (como o próprio nome diz) ocorrem em pontos discretos de tempo [42].

Nesta modelagem, um estado da cadeia pode representar diversas condições de interesse para o sistema modelado, tais como quantidade de trabalho aguardando para utilizar determinado recurso, número de componentes falhos, número de tarefas concorrentes sendo executadas, além de inúmeras possibilidades. Quando encontra-se em

determinado estado na Cadeia de Markov, a ocorrência de uma transição, podendo ser um evento no sistema, faz com que a cadeia altere seu estado, de acordo com as definições de cada transição.

Na figura 5.2 podemos analisar uma Cadeia de Markov (simples) os nodos (desenhados graficamente por círculos) representam os estados e os arcos (contendo suas respectivas taxas ou probabilidades) representando as transições. As mudanças de estados não dependem de estados passados, mas sim somente do estado atual do modelo, o que se chama memoryless (sem memória) conforme MARSAN. Os estados que virão futuramente podem já ter sido encontrados anteriormente, ou podem ser estados novos.

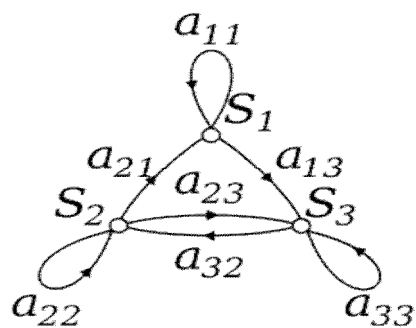


Figura 5.2 Cadeia de Markov [42]

## 5.8 Teoria de Filas

As filas assim como a Cadeia Cadeias de Markov fazem parte de técnicas de análise de desempenho mais precisamente no processo de análise quantitativa (modelagem analítica).

Teoria de Filas é o estudo das filas de espera. As pessoas já estão familiarizadas com o conceito de filas.

Uma fila trata-se de um sistema no qual um clientes chegam para receber ou realizar algum determinado tipo de serviço. Assim, Se todos os servidores estão ocupados quando um cliente chega e não pode ser atendido, este será colocado em um *buffer* (assumindo que há espaço) e espera para ser atendido. Aguardando até que os clientes que entraram antes no sistema concluam seus serviços e lhe permitam a utilização, entretanto, todo cliente que chega na fila somente pode sair dela quando lhe for fornecido o serviço solicitado. Neste contexto, apresenta-se uma base para o entendimento das notações e utilização deste tipo de modelagem, vastamente difundida para a análise de desempenho de sistemas.

Conforme exemplificado por JAIN, existem seis parâmetros (características) necessários para especificar um sistema de filas.

Banco com quatro caixas, assim as seguintes considerações podem ser feitas:

- Qual o tempo médio de espera na fila
- Qual o tempo de atendimento total
- Tempo de atendimento/na fila encontrasse em um patamar desejado
- Qual a conseqüência em se diminuir um caixa(servidor)
- A fila e o tempo de atendimento diminuirá substancialmente aumentando
- Quantos caixas devem ser abertos para trazer o sistema para próximo ao ponto A

A teoria de filas foi desenvolvida no campo da engenharia de tráfego de telefones, os três principais conceitos em teoria de filas são: os clientes, a fila e o servidor. Em geral, os clientes para o sistema são gerados por uma entrada origem (*input source*), que entram na fila para receberem algum recurso oferecido pelo servidor, permanecendo por algum tempo caso ele esteja ocupado.

A entrada de clientes é organizada de acordo com uma distribuição estatística, pela qual descreve seu intervalo de tempo (*interarrival time*), assim, o tempo entre as entradas dos clientes. O servidor seleciona o clientes para serem atendidos (*service mechanism*). A disciplina de serviço ou atendimento define a organização na qual os clientes são selecionados define (*queue discipline*). Após serem servidos os clientes deixam o sistema. Considerando o exemplo, então os sistemas de computadores, poderia ser entendidos como um pacote na comunicação de rede, uma tarefa ou um processo do sistema operacional, uma requisição ao banco de dados ou requisições I/O, que a partir de agora será referido como eventos. [43]

Modelos baseados em filas são úteis para a análise de sistemas nos quais conflitos ocorrem quando diversas entidades tentam acessar simultaneamente o mesmo recurso, para isso se faz necessário o uso de disciplinas de serviço para gerenciar estes recursos, esse gerenciamento pode ser observado pelas regras abaixo:

- **FIFO** (*First In First Out*) ou **FCFS** (*First Come First Served*) – O primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido.
- **RR** (*Round Robin*) – Um evento é atendido por um tempo máximo pré-definido, caso não termine seu atendimento, o evento volta para o final da fila.
- **LCFS** (*Last Come First Served*) – O último a chegar é o primeiro a ser atendido.

## **5.9 Considerações Finais**

Neste capítulo observamos como as métricas de desempenho pode ajudar na boa utilização dos recursos de redes, outra característica importante, é com a grande quantidade de dados, é possível fazer uma previsão de como esses podem se comportar no caso de espera, aliado a teoria de filas e as cadeias de markov.

Cada sistema apresenta sua própria métrica e dependendo da sua aplicação, tem as suas vantagens e desvantagens, o importante é ter em conta que é preciso ser capaz de lidar com essa grande quantidade de informação, tomando o devido cuidado de não deixar o sistema lento e garantindo a confiabilidade e a integridade da informação.

## Capítulo 6 - Resultados

### 6.1. Considerações Iniciais.

O objetivo deste capítulo é fornecer um panorama geral do que vem a ser a simulação do estudo. Inicia-se com algumas definições, procurando mostrar a ampla gama de conceitos e opiniões envolvidas no tema. Em seguida, discute-se sobre os motivos que levam pesquisadores e analistas a empregarem esta técnica no encaminhamento da solução de seus problemas. Nos dois tópicos seguintes, apresentam-se alguns conceitos associados a simulações e topologia, tema central de toda a discussão envolvendo simulação estatísticas. Na seqüência, os resultados obtidos durante o estudo da proposta da dissertação, dificuldades encontradas e estudos futuros.

### 6.2. Simulação

A simulação permite ao analista realizar estudos sobre os correspondentes estudos para responder questões do tipo “O que aconteceria se?”. O principal apelo ao uso desta técnica, é que tais questões podem ser respondidas sem que a problemática que esta sendo investigada sofra qualquer perturbação, uma vez que os estudos são de forma empírica [44]. Vale a pena ressaltar que a simulação em si não é empírica e sim estatística, o empírico fica por conta do estudo a ser realizado.

A simulação tem sido cada vez mais, aceita e empregada como uma técnica que permite que analistas, dos mais diversos segmentos (administradores, engenheiros, biólogos, técnicos em informática, etc.), verifiquem ou encaminhem soluções, com a profundidade desejada, aos problemas com os quais lidam diariamente.

A simulação computacional tem sido empregada amplamente. O crescimento do uso desta ferramenta deve-se, sobretudo, à atual facilidade de uso e sofisticação dos ambientes de desenvolvimento de modelos computacionais, aliadas ao crescente poder de processamento das estações de trabalho. Contando com interfaces gráficas cada vez mais



amigáveis, destinadas às mais diversas plataformas e, principalmente, fazendo intenso uso da animação dos sistemas que estão sendo simulados, a simulação deixou para trás o estigma de ser utilizada apenas quando tudo mais já foi tentado.[45]

### 6.3. Topologia

Ao se iniciar o cenário de nossas simulações, se faz necessário a criação da topologia que se vai utilizar no problema em questão, na Fig. 6.1 é mostrado a topologia proposta para a realização de nossas simulações, onde se caracterizam: um servidor, um canal de acesso, um DNS , uma *femtocell* e sete usuários conectados a essa *femtocell* fornecendo os seguintes serviços:

- FTP
- HTTP
- VOIP
- VIDEO

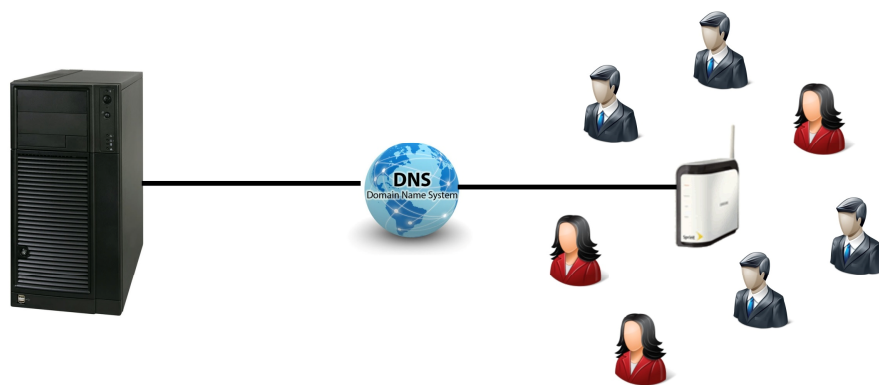


Fig. 6.1. Topologia da Simulação

### 6.4. Metodologia de Análise

Para realizar a situação do ambiente simulado, se faz necessário o aumento da carga na rede para saturar o desempenho da *femtocell*, esse aumento de carga se justifica em detrimento de que com isso podemos stressar a *femtocell* até seu limite para poder verificar até que pontos os serviços serão prejudicados com esse aumento da carga concorrente. Para isso quatro cenários foram simulados (*Background0*, *Background1*, *Background3* e

*Background5*), com diferentes níveis de carga concorrente (0mb, 1mb, 3mb e 5mb respectivamente).

A topologia utilizada neste trabalho é composta por várias células com:

- 1 Estação Radio Base.
- 7 Usuários.
- 1 *Femtocell*.
- 30 Metros de raio em cada célula.
- 1 Conexão ADSL.
- Distancia de 3 km do modem para a estação base
- 10 MB de downlink
- 1 MB de uplink

Na Fig. 6.2. é mostrado uma célula com as características citadas anteriormente.

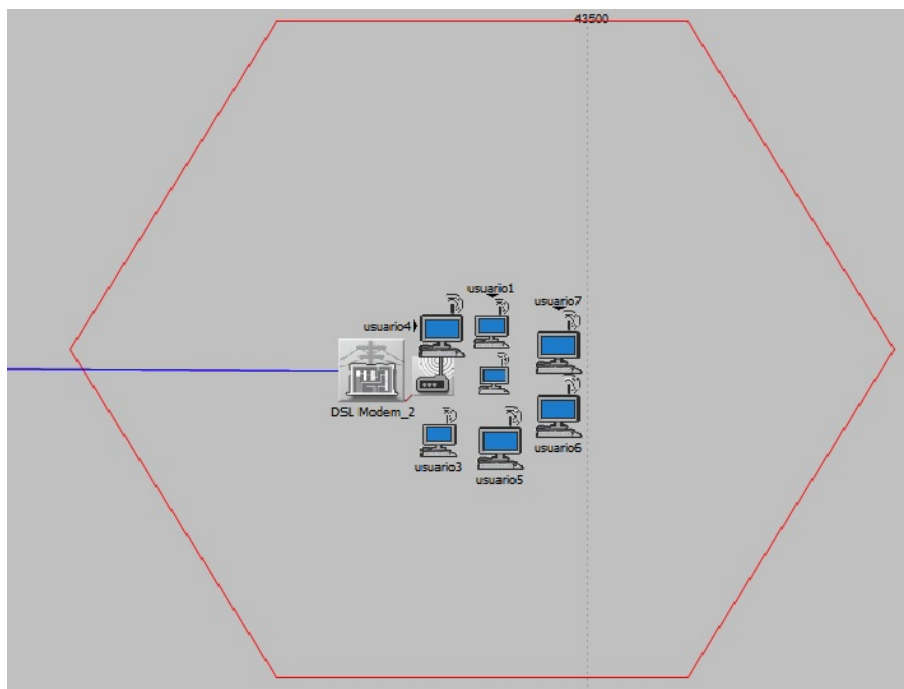


Fig. 6.2. Cenário com 7 usuários e 1 *Femtocell*

O cenário original para os testes, era composto da combinação WiMAX + *femtocell* onde observamos 1 célula *femtocell* com 4 usuários onde cada um deles utiliza somente um serviço se dos anteriormente citados sem tráfego concorrente, cenário esse que pode ser observado na Fig. 6.3.

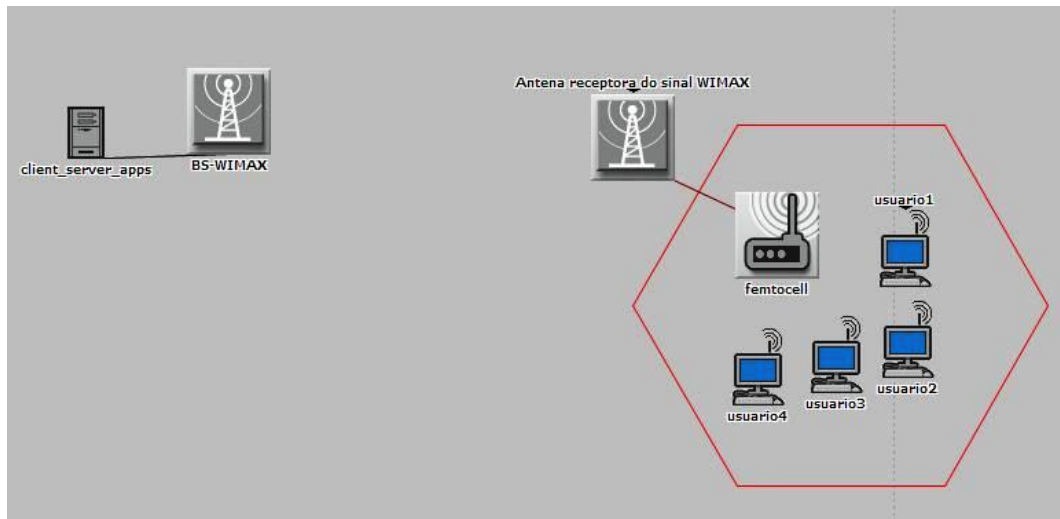


Fig. 6.3. Cenário montado no OPNET contendo a combinação WiMAX + *femtocell* com 4 usuários [46]

No cenário acima, observamos o arranjo WiMAX + *femtocell* e alguns resultados relevantes como atraso e vazão podem ser observados em [47].

## 6.5 Configurações dos Fluxos

Para a realização do trabalho proposto são necessários alguns dados relativos à aplicação utilizada, a configuração de redes WiMAX e, posteriormente, a realização da simulação propriamente dita.

Este trabalho começa com a estimação de uso de canal de retorno por parte de uma aplicação educacional para TV Digital. A aplicação utilizada é denominada TVD-Educ 2.0. Para a estimação de uso de canal de retorno, foi feito um teste real onde dois usuários permaneceram por 10 minutos trocando mensagens através do chat disponibilizado pela aplicação.

A Fig.6.4 mostra a tela da aplicação sendo executada no Open Ginga (emulador da plataforma Ginga) durante uma conversa. O aplicativo mostra o histórico das mensagens trocadas entre os participantes do *chat*, durante uma programação televisiva, que pode inclusive ser uma aula.

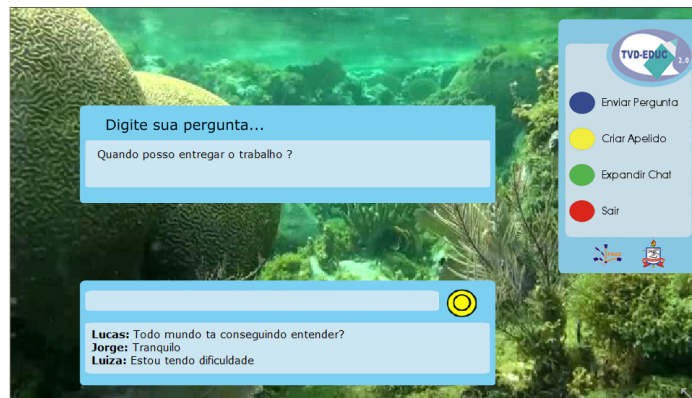


Fig 6.4. Aplicativo TVD-Educ 2.0 durante uma conversa no chat [48].

Após esta etapa foi adotada a ferramenta de tratamento estatístico *EasyFit 5.5*[49] versão *trial*, onde foi obtido a caracterização do intervalo de tempo entre os pacotes e do tamanho dos pacotes. As configurações das aplicações utilizadas nas simulações que são HTTP, FTP, Vídeo, Voz e as configurações dos usuários e rádios WiMAX, são descritas nas Tabelas 4 – 9 respectivamente.

**Tabela 4 - Configuração do Aplicativo TVD-Educ 2.0 [48]**

Parâmetro	Valor
Pacotes Transmitidos	575
HTTP Especificação	HTTP 1.1
Intervalo entre chegadas de Páginas	Weibull (0.30419, 0.1139)
Propriedades de Página	Lognormal (4.2996, 0.25489)
<i>Type of Service</i>	<i>Best Effort (0)</i>

**Tabela 5 - Parâmetros de Configuração do FTP**

Parâmetro	Valor
Command Mix (Get/Total)	100%
Inter-Request Time (sec)	Exponential (1)
File Size (bytes)	Pareto (83333.33,1.5)
Type of Service	Best Effort (0)

**Tabela 6 - Parâmetros de Configuração de Vídeo**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
<i>Frame Interarrival Time (sec)</i>	<i>Constant (0.1)</i>
<i>Frame Size (bytes)</i>	<i>Exponential (15625)</i>
<i>Type of Service</i>	<i>Best Effort (0)</i>

**Tabela 7 - Parâmetros de Configuração de Voz**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
<i>Silence Length (sec)</i>	<i>Exponential (0.65)</i>
<i>Talk Spurt Length (sec)</i>	<i>Exponential (0.352)</i>
<i>Encoder Scheme</i>	<i>GSM (silence)</i>
<i>Voice Frames per Packet</i>	1
<i>Type of Service</i>	<i>Best effort (0)</i>

As configurações das estações-base de clientes *femtocells*, podem ser visualizadas conforme tabela 8.

**Tabela 8 - Configurações dos Usuários [50]**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Modelo de Propagação	Indoor
Modelo da Antena	Ominidirecional
Ganho da Transmissão	2 dB
Potência de Transmissão	0.63 watts
Potência Total	20 dbm
Duração do Frame	20 ms
Tamanho do Pacote	1024 bytes
Duração da Simulação	5 min

As configurações dos rádios WiMAX, podem ser observadas na tabela 9.

**Tabela 9. Configurações dos Rádios WiMAX [51]**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Frequência	5 GHz
Largura de Banda	5 MHz
Modelo de Propagação	HATA
Modelo da Antena	Ominidirecional
Ganho da Antena	2 dB
Potência de Transmissão	0.125 watts
Potência Total	23 dbm
Altura	1 metro
Duração da Simulação	5 min

### **6.6. Análises de Resultados.**

Os resultados dos testes executados, com diferentes valores para o tráfego concorrente (0mb, 1mb, 3mb e 5mb) dos serviços FTP, TVD, Vídeo e Voz respectivamente, na topologia adotada são mostradas nas figuras 5.5 - 5.8.

Na figura 5.5 estão representados os serviços de FTP, TVD, vídeo e voz para 7 usuários que utilizam os serviços simultaneamente com nenhum tipo de tráfego concorrente, e percebe-se que se é possível oferecer o serviço normalmente, destaque para, o tráfego de voz que teve um comportamento melhor que os demais serviços onde dos 7000 bites enviados nos testes foram recebidos 5000 durante os 5 minutos da simulação. O FTP e vídeos apresentaram os piores resultados em detrimento dos mesmos alocarem uma maior concentração da banda disponível em especial o vídeo por trabalhar com o protocolo UDP (*User Datagram Protocol*), protocolo esse não confiável e não orientado a conexão.

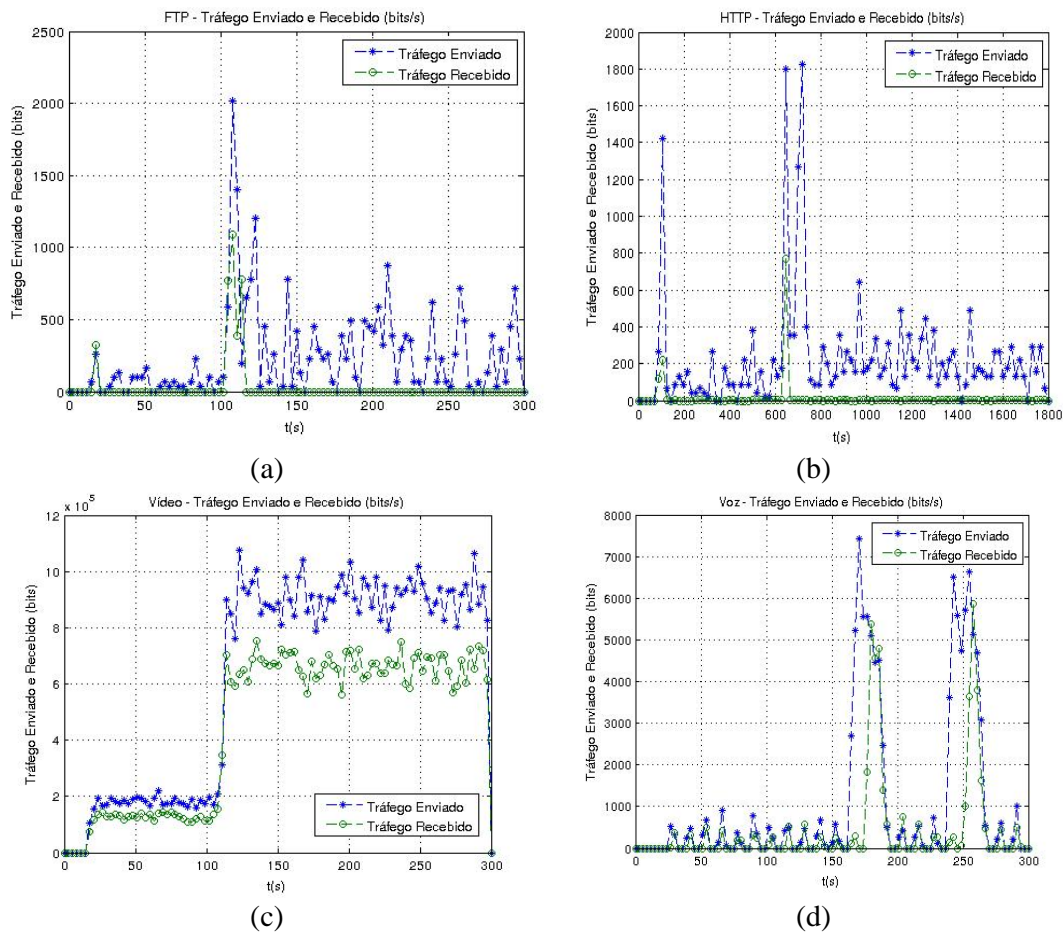


Fig.6.5. Média do trafego enviado e recebido FTP, TVD, vídeo e voz dos usuários *background 0*.

Na figura 6.6 estão representados os serviços de FTP, TVD, vídeo e voz para 7 usuários que utilizam os serviços simultaneamente com um trafego concorrente de 1 mb, tráfego essa adicionado as simulações para causar o maior stress possível a rede, novamente a voz se mostrou com o melhor resultado enviando cerca de 7.500 bits e recebido cerca de 6.000 bits, já os demais serviços tiveram seus desempenhos fragilizados com o aumento do fluxo concorrente na rede, o FTP por exemplo dos 2.500 bits enviados, houve um recebimento de 1.000bits no período da simulação.

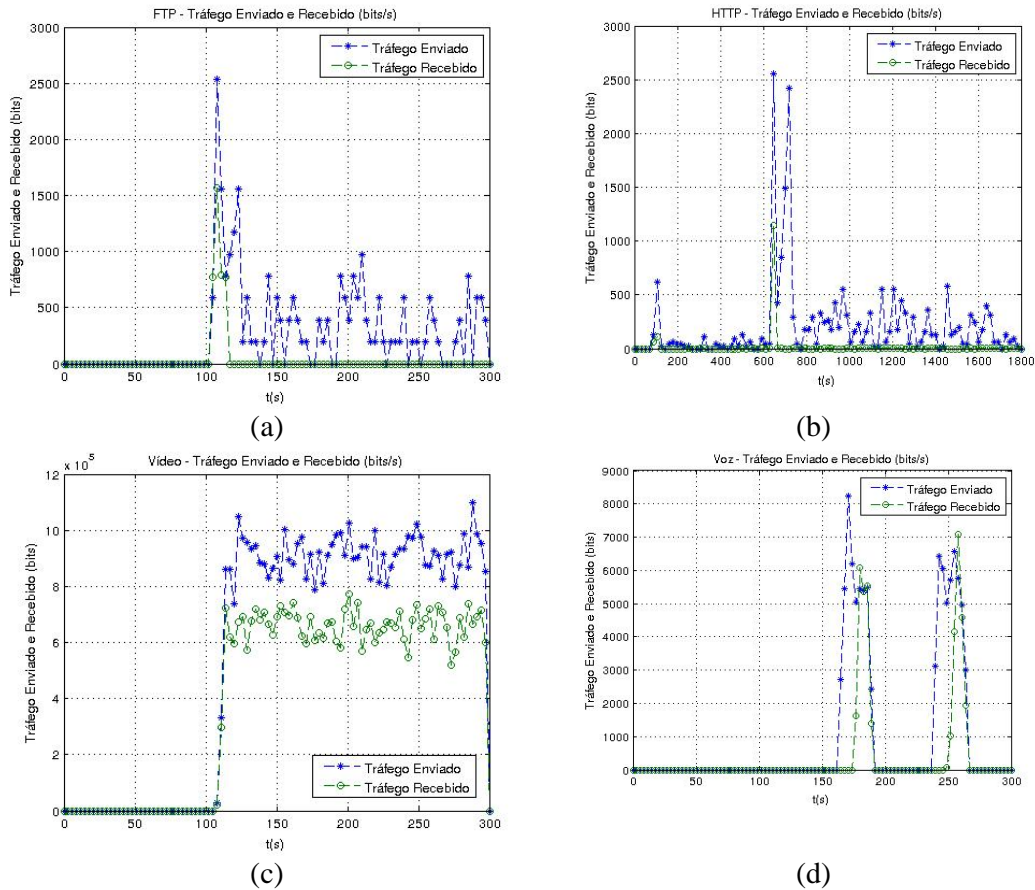


Fig.6.6 Média do trafego enviado e recebido FTP, TVD, vídeo e voz dos usuários *background 1*

Na figura 6.7, o cenário conta agora com um tráfego concorrente de 3mb para os 7 usuários, neste caso agora se observa que o tráfego de voz começa a demonstrar dificuldades para se estabilizar, inclusive mostrando alguma inatividade durante os testes, mesmo assim ainda continua com os melhores resultados na simulação, o FTP se mostrou pouco eficiente com essa nova carga na rede, onde os bits enviados superam consideravelmente os bits recebidos, o HTTP se comportou de modo satisfatório já que trabalha em conjunto com o protocolo TCP (Transmission Control Protocol) que é um protocolo confiável orientado a conexão.



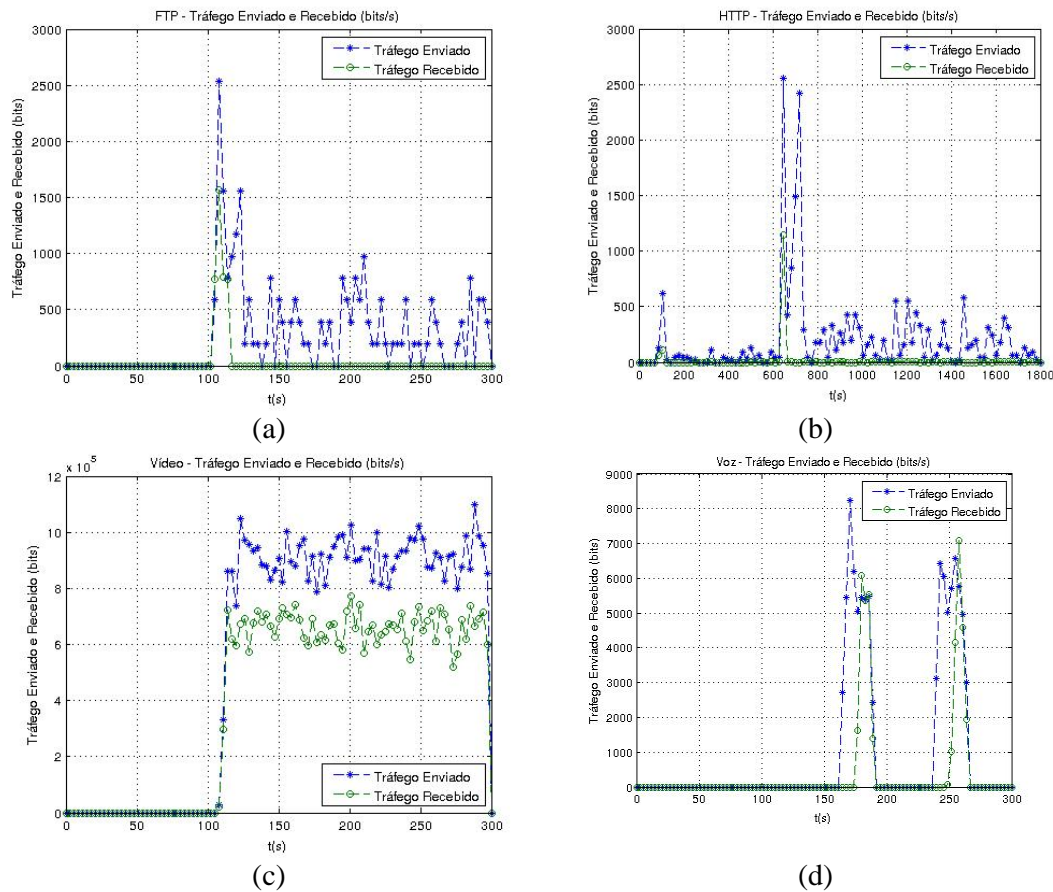


Fig.6.7 Média do tráfego enviado e recebido FTP, TVD, vídeo e voz dos usuários *Background 3*

Já na figura 6.8 o cenário de simulação, agora conta com um tráfego concorrente de 5mb que compete com as demais aplicações, pode-se observar que os resultados não diferem dos apresentados na figura 6.7, onde o tráfego de voz continua obtendo os melhores resultados nas simulações já os vídeos, FTP e HTTP permanecem iguais aos do gráfico anterior.

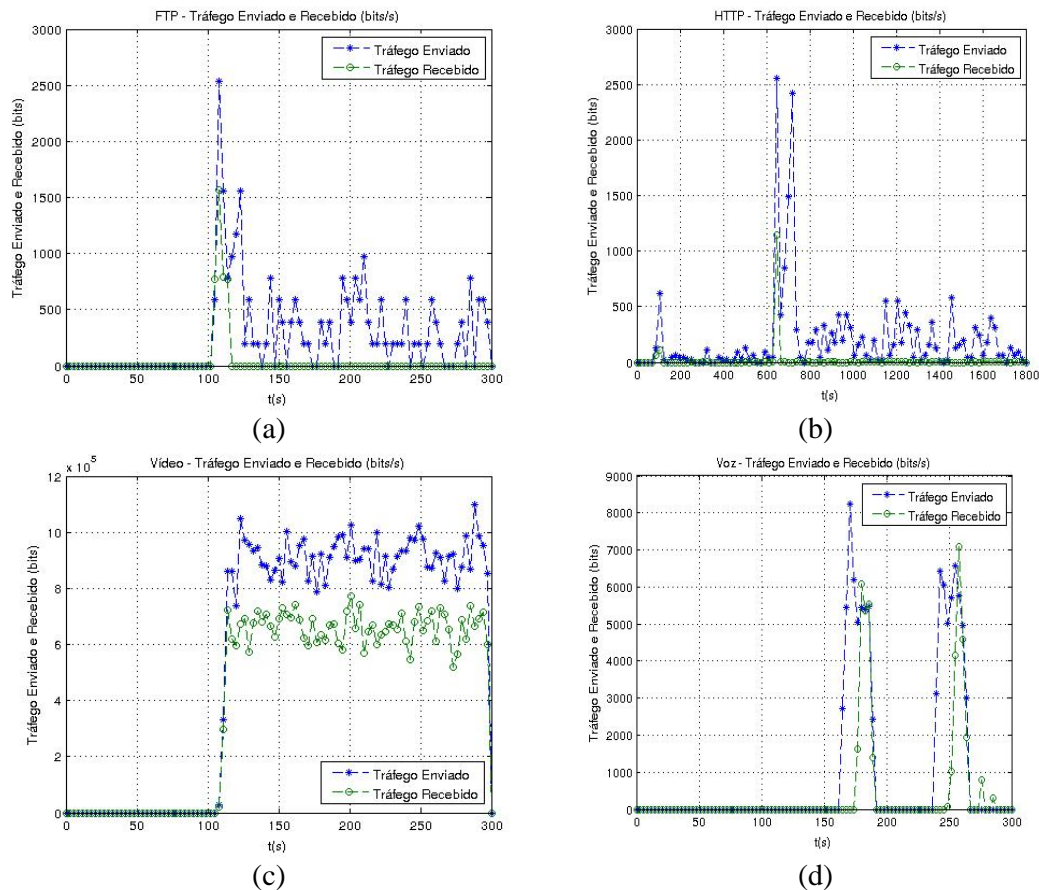


Fig.6.8 Média do tráfego enviado e recebido FTP, TVD, Vídeo e Voz dos usuários *Background 5*.

Após a análise dos tráfegos enviados e recebidos dos serviços acima, se faz necessário, analisar a média dos tráfegos dentro da *femtocell*, informação essa que pode ser visualizada segundo a tabela 7.

**Tabela 7 – Médias dos tráfegos enviados e recebidos (*femtocell*)**

<i>Femtocell</i>	Trafego Enviado	Trafego Recebido
BackGround 0	326,56 kbits/s	214,25kbits/s
BackGround 1	407,74 kbits/s	265,44 kbits/s
BackGround 3	407,74 kbits/s	265,44 kbits/s
BackGround 5	407,74 kbits/s	265,44 kbits/s

A seguir, na tabela 8 podemos observar o atraso médio na *femtocell*, com os diferentes tráfegos concorrentes nas aplicações, neste ponto foi constatado que com trafego acima de 1mb, o atraso médio teve uma variação que não chega a comprometer de forma drástica o oferecimento do serviço das aplicações envolvidas.

**Tabela 8 - Atraso médio da femtocell**

<i>Femtocell</i>	<b>Atraso</b>
BackGround 0	61,6 ms
BackGround 1	75,5 ms
BackGround 3	75,5 ms
BackGround 5	76,2 ms

A tabela 9 expõe a media do tempo de resposta de paginas HTTP nas aplicações com seus respectivos tráfegos concorrentes, observa-se que o tempo de resposta se estabiliza apartir do trafego de 1mb para os demais cenários, essa variação foi considerada discreta uma vez que nos outros serviços com o aumento do trafego tiveram resultados mais discrepantes entre eles.

**Tabela 9 - Media do tempo de resposta de paginas HTTP**

<i>HTTP</i>	<b>Tempo de Resposta de Páginas</b>
BackGround 0	5,6 ms
BackGround 1	7,32 ms
BackGround 3	7,32 ms
BackGround 5	7,32 ms

A tabela 10 mostra o atraso de pacotes ponto a ponto do vídeo, atraso esse que pode se observar que permanece constante nas aplicações com um trafego concorrente apartir de 1mb.

**Tabela 10 - Atraso de pacotes ponto a ponto do vídeo.**

<b>VIDEO</b>	<b>Atraso de Pacotes Ponto a Ponto</b>
<i>BackGround 0</i>	125,7 ms
<i>BackGround 1</i>	117,6 ms
<i>BackGround 3</i>	117,6 ms
<i>BackGround 5</i>	117,6 ms

A seguir temos na tabela 11 o *Jitter* médio do fluxo de voz, que se mostrou condizente aos resultados das tabelas anteriores, onde se estabilizou apartir da utilização de trafego concorrente apartir de 1mb.

**Tabela 11 - Jitter médio do fluxo de voz.**

<b>VOZ</b>	<b>Jitter</b>
<i>BackGround 0</i>	39,04 *10 <sup>-6</sup>
<i>BackGround 1</i>	65,64*10 <sup>-6</sup>
<i>BackGround 3</i>	65,64*10 <sup>-6</sup>
<i>BackGround 5</i>	65,64*10 <sup>-6</sup>

Na tabela 12 temos a média do atraso de pacotes ponto a ponto de voz, observa-se que com tráfego de voz teve um atraso menor nos pacotes com tráfego a partir de 1mb em detrimento do aumento da carga concorrente, o número de pacotes enviados foi menor o que comprova a diminuição do tempo de atraso entre os pacotes enviados e recebidos.

**Tabela 12 - Média do atraso de pacotes ponto a ponto de voz.**

<b>VOZ</b>	<b>Atraso de Pacotes Ponto a Ponto</b>
<i>BackGround 0</i>	15,7 ms
<i>BackGround 1</i>	12,1 ms
<i>BackGround 3</i>	12,1 ms
<i>BackGround 5</i>	12,1 ms

Na tabela 13 temos a média das conexões canceladas, e se pode perceber que o número de conexões canceladas com o aumento da carga se caracteriza devido ao baixo envio de requisições pela rede fazendo que menos usuários acessem determinado serviço ou mesmo tentem acessá-los, causando assim a queda de cancelamento de suas conexões.

**Tabela 13 - Média das Conexões Canceladas.**

<b>TVD</b>	<b>Conexões</b>
<i>BackGround 0</i>	948,14
<i>BackGround 1</i>	460,57
<i>BackGround 3</i>	460,57
<i>BackGround 5</i>	460,57

## 6.7 – Considerações Finais

Neste capítulo foi explicado as configurações dos rádios Wimax, as configurações de fluxo de cada uma das aplicações utilizadas na simulação, e as configurações do arranjo *femtocell* na ferramenta de simulação.

Após as simulações foram obtidos os dados para confecção dos gráficos e tabelas utilizados para as comparações entre as combinações Wimax + *femtocell* e ADSL + *femtocell* esses resultados foram tratados posteriormente e representados em forma de tabelas para uma melhor visualização do desempenho de cada serviço com o aumento do tráfego concorrente em cada um dos cenários simulados.

## Capítulo 7 - Conclusão

O presente trabalho teve como foco um estudo sobre a viabilidade do uso da tecnologia *femtocell* como uma interface para aperfeiçoar a cobertura e qualidade de experiência em ambientes *indoor*, com foco em televisão digital.

Para tal estudo, simulações discretas foram realizadas com auxílio do simulador *OPNET MODELER* com as combinações *femtocell* + WiMAX e *femtocell* + ADSL com diferentes cargas de fluxo concorrentes.

Os resultados obtidos foram primeiramente tratados, a fim de eliminar as inconsistências dos dados, e posteriormente representados através de médias, dessa forma os valores encontrados expressam de maneira mais precisa o comportamento da tecnologia *femtocell* combinada com a tecnologia de acesso escolhida.

O arranjo *femtocell* + ADSL não apresentou um desempenho satisfatório, apesar de o mesmo ser capaz de fornecer o serviço de TVD. Diferentemente do arranjo *femtocell* + WiMAX, que se mostrou mais apropriado para as aplicações usadas no estudo, especialmente a aplicação de TVD.

Os dados obtidos nos voltam às seguintes considerações, dentro da combinação Wimax + ADSL, foram analisadas as seguintes métricas: atraso (seg) médio 2,9, atraso máximo: 6,1 e atraso mínimo: 0,08 já com relação a vazão os seguintes resultados foram obtido: vazão (bist/seg) médio de  $8,4 \times 10^3$ , vazão máxima de  $12,1 \times 10^3$  e vazão mínima de 0.

Já os dados obtidos na combinação Wimax + *femtocell*, nos mostram os seguintes resultados: atraso (seg) médio 0,124, atraso máximo 0,129 e atraso mínimo de 0,07. Ao analisar a vazão para essa combinação os resultados mostram uma vazão (bits/seg) médio de  $31,37 \times 10^3$  já na vazão máxima foi obtido o valor de  $37,1 \times 10^3$  e por fim uma vazão mínima de 0.

Portanto, o uso de estações *femtocell* como interface de comunicação para TVD pode fornecer resultados satisfatórios, mesmo sem um planejamento prévio de técnicas de *QoS*, quando combinada com a tecnologia WiMAX.

Para trabalhos futuros, espera-se realizar simulações com outras tecnologias de acesso como, por exemplo, LTE assim como utilizar outros simuladores como o NS-3 para melhorar a análise dos resultados.

## Referências

- [1] IBGE. “PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios”, 2009. Disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica%20-%20populacao/trabalho\\_e\\_rendimento/pnad2009/default.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica%20-%20populacao/trabalho_e_rendimento/pnad2009/default.shtm)
- [2] Sítio visitado *Network Extender* da *Verizon Wireless* disponível em: <http://www.verizonwireless.com/b2c/store/accessory?action=gotoFemtocell>. Acesso em 24 de Junho de 2013.
- [3] Rong, L. Et. al, “Performance Evaluation of Cellular Networks Offering TV Services” in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2011. DOI=<http://dx.doi.org/10.1109/TVT.2010.2091657>.
- [4] “*Global Mobile M&A: Analysis of the changing telecoms investment landscape*”, Informa Telecoms and Media, Agosto de 2008.
- [5] Margalho, M., Francês, C. R. L., Costa, J. W. A., “Return Path in Brazilian Digital Television with Interactivity Based on Continuous Signalization Mechanism and QoS Bandwidth Control” in *IEEE Latin America Transactions*, 2007.
- [6] Margalho, Mauro Frances, Renato; Weyl, Joao; “Return Path in Brazilian Digital Television with Interactivity Based on Continuous Signalization Machanism and QoS Bandwidth Control”. *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, Sept. 2007
- [7] ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações - Resolução n.º 303, de 2 de julho de 2002. <http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/17-2002/128-resolucao-303>. Accessed 02/04/2013.
- [8] Haiman Cai; Zhuocheng Jiang; Feng Wan; Wenyu Li; Yu Liu; Lin Zhang. “Interference And Performance Analysis Of Coexistence Between Femtocells And Td-Scdma Hsdp”, *Proceedings of IC-BNMr2010 978-1-4244-6769-3/10/2010 IEEE*.
- [9] Pareit; Daan; Lannoo; Bart; Moerman; Ingrid; Demeester; Piet; “The History of WiMAX: A Complete Survey of the Evolution in Certification and Standardization for IEEE 802.16 and WiMAX”, *Ieee Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 14, No. 4, Fourth Quarter 2012.

- [10] BRASIL. Decreto-lei n 4.901, 26 de novembro de 2003. Institui o Sistema Brasileiro de Televisão Digital. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Decreto/2003/D4901.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto/2003/D4901.htm)>. Acesso em: 11 Julho. 2013.
- [11] Dr. Alastair Brydon, “*Wireless network traffic 2008–2015: forecasts and analysis*”, Analysys Mason, Novembro de 2008.
- [12] Sítio do *Femto Fórum* disponível em <http://www.femtoforum.org/femto/index.php>. Acesso em 24 de Junho 2013.
- [13] Sítio do *Think Femtocell* disponível em <http://www.thinkfemtocell.com/>. Acesso em 24 de Junho 2013.
- [14] Notícia disponível em: <http://www.wavereport.com/1999%20Wave%20issues/wave9034.html#anchor214093>. Acesso em 24 de junho 2013.
- [15] Machado, Victor A. et. al, “Cross layer model to predict performance parameters on OFDM-Based wireless networks”, no International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC), 2011.
- [16] Kim, Ronny Y.; Kwak, S. and Etemad, K., “WiMAX Femtocell: Requirements, challenges, and solutions”, IEEE Communications Magazine, 2009.
- [17] Claussen, H., Ho, L. T. W., Samuel, L. G., “An Overview of the Femtocell Concept” in Bell Labs Technical Journal, 2008.
- [18] Disponível em <http://www.totaltele.com/view.aspx?ID=446640&mail=31>. Acesso em 25 de Junho de 2013.
- [19] Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Workshops (PIMRC Workshops), 2010 IEEE 21st International Symposium.
- [20] Notícias disponível em: [www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/acessoainternet/comentarios.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/acessoainternet/comentarios.pdf). Acesso em 07 de Julho de 2013.
- [21] Sítio visitado <http://www.nsnam.org/overview/key-technologies/>. Acesso em 25 de Junho de 2013.
- [22] Technical Briefing – Femtocell Concepts”, Wray Castle, Agosto de 2008.
- [23] PEREIRA, Luís, Análise de desempenho da tecnologia WiMAX (IEEE 802.16d), Relatório de PFC, ISEL, Lisboa, 2007.



- [24] Sítio da oferta *Airave* da *Sprint* disponível em: <http://www.nextel.com/en/services/airave/index.shtml>. Acesso em 24 de Junho de 2013.
- [25] Teo, K., Tao, Z. e Zhang, J., 2007. “The Mobile Broadband Wi-MAX Standard”. IEEE Signal Processing Magazine, Volume 24, Issue 5, Page(s):144 – 148.
- [26] GRACIOSA, H.M.M., Tutorial TV Digital no Brasil. Tecnical report, Disponível em [www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtv2/default.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtv2/default.asp), acesso em Março (2013).
- [27] “*Mobile and WiFi Phones and Subscribers*”, Infonetics Research, Janeiro de 2007.
- [28] Meloni, Luis Geraldo P., “Return Channel for the Brazilian Digital Television System-Terrestrial”, Journal of the Brazilian Computer Society, 2007.
- [29] Roberta Wiggins, “*Finding a Femto Future*”, Yankee Group, Junho de 2008.
- [30] López-Pérez, D. Et. al, “OFDMA Femtocells: A Roadmap on Interference Avoidance” in IEEE Communications Magazine, 2009.
- [31] Campista, M. E. M. et. al, “The Ad Hoc Return Channel: A Low-Cost Solution for Brazilian Interactive Digital TV” in IEEE Communications Magazine, 2007. DOI=<http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2007.284549>.
- [32] <http://www.sky.com.br/servicos/GuiadaTv/GravacaoDistancia.aspx>, acessado em Abril (2013), às 13:47 PM.
- [33] Disponível em <http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/17-2002/128-resolucao-303>. Acesso em 08 de Julho de 2013.
- [34] Mendes, Luciano Leonel e Silveira, Adonias Costa, “Abordagem educacional para estudo de redes de computadores utilizando OPNET”, 2003.
- [35] Demirdogem, I.; Guvenç, I. e Arslan, H., “A simulation study of performance trade-offs in open access femtocell networks”, 2010 IEEE 21st International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Workshops (PIMRC Workshops).
- [36] Disponível em <http://portal.dataprev.gov.br/tag/tv-digital/>, Acesso em 12 de Julho de 2013.
- [37] Disponível em: <http://www.opnet.com/>. Acesso em 08 de Agosto de 2013.
- [38] Jain, R. The Art of Computer Systems Performance Analysis – Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation e Modeling. s.l, John Wiley e Sons Inc, 1991

- [39] Averill Law, W. David Kelton, Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill Science, 3rd Ed, 1999.
- [40] Menasce D.; ALMEIDA, V. A. F. ; Dowdy, L. . Performance by Design: Computer Capacity Planning by Example. 1. ed. .: Prentice Hall Professional Technical Reference, 2004.
- [41] Michael Pidd, Computer Simulation in Management Science, 5nd ed., Wiley, 2004.
- [42] G. Bolch, S. Greiner, H. de Meer, K.S. Trivedi Queuing Networks and Markov Chains: Modeling and Performance Evaluation with Computer Science Applications. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA, 1998.
- [43] PEDROSO, Carlos Marcelo, “Modelagem e avaliação de Desempenho, UFPR.
- [44] Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAet0AL/capitulo-1-modelagem-simulacao-sistemas>. Acesso em 3 de Agosto de 2013
- [45] BRASIL. Decreto-lei Nº 5.820, 29 de junho de 2006. **Implantação do SBTVD-T.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5820.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5820.htm)>. Acesso em: 11 de Julho de 2013
- [46] COSTA, A. B. ; SILVA, C. N. ; SILVA, C. P. A. ; Araujo.Jasmine ; Fraiha.Ramz ; SANTOS, N. M. P. ; MACHADO, V. A. ; FRANCES, C. R. L. ; CAVALCANTE, G. P. S. . The Femtocell as Return Channel: a Proposal for Brazilian Amazon Region Interactive Digital TV. In: NGMAST, 2012, Paris- France. NGMAST.
- [47] COSTA, A. B. ; SILVA, C. N. ; SILVA, C. P. A. ; Araujo.Jasmine ; Fraiha.Ramz ; SANTOS, N. M. P. ; MACHADO, V. A. ; FRANCES, C. R. L. ; CAVALCANTE, G. P. S. . Avaliação de Desempenho da Tecnologia Femtocell como Canal de Retorno para TV Digital: MOMAG, 2012, João Pessoa- PB.
- [48] Monteiro, Flávia Pessoa et. al, “TVD-Educ 2.0: Um estudo de caso de aplicação interativa para TV Digital”, IADIS International Conference WWW/Internet, 2011.
- [49] SVERZUT, José Umberto. Redes GSM, GPRS,EDGE e UMTS. São Paulo: Editora Afiliada, 2005.
- [50] Revista Liberato, Novo Hamburgo, v.9,n12, p.81-89,jan./jun. 2009
- [51] MISHRA, Amitabh. Performance and Architecture of SGSN and GGSN of General Packet Radio Service (GPRS). Blacksburg,VA: Virginia Polytechnic Institute and State University, s.d.