



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

RODRIGO FLAVIO DE OLIVEIRA MEDEIROS

WIMAX INTEROPERABILIDADE MUNDIAL PARA ACESSO DE  
MICROONDAS

Guaratinguetá  
2011

RODRIGO FLÁVIO OLIVEIRA DE MEDEIROS

WiMAX INTEROPERABILIDADE MUNDIAL PARA  
ACESSO DE MICROONDAS

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. José Feliciano Adami

Guaratinguetá

2011

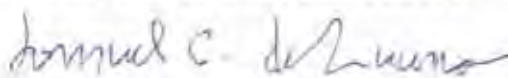
M488w	<p>Medeiros, Rodrigo Flávio Oliveira de WiMAX interoperabilidade mundial para acesso de microondas / Rodrigo Flávio Oliveira de Medeiros – Guaratinguetá : [s.n], 2011. 112 f : il. Bibliografia: f. 111-112</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011. Orientador: Prof Dr. José Feliciano Adami</p> <p>1. Sistemas de comunicação em banda larga I. Título</p> <p>CDU 621.39</p>
-------	---

**WIMAX INTEROPERABILIDADE MUNDIAL PARA ACESSO DE  
MICROONDAS**

**RODRIGO FLÁVIO DE OLIVEIRA DE MEDEIROS**

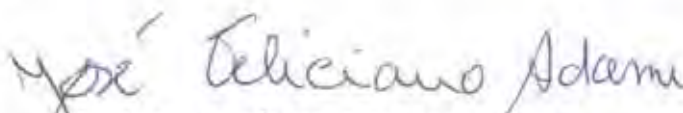
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
"GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

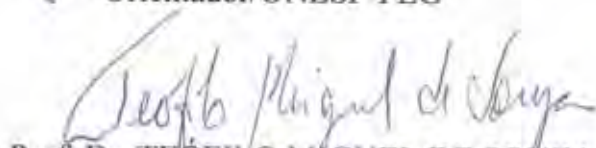


Prof. Dr. SAMUEL EUZÉDICE DE LUCENA  
Coordenador


BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. JOSÉ FELICIANO ADAMI  
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA  
UNESP-FEG



Prof. Dr. LEONARDO MESQUITA  
UNESP-FEG

Dezembro de 2011

## **DADOS CURRICULARES**

### **RODRIGO FLÁVIO OLIVEIRA DE MEDEIROS**

NASCIMENTO	31.01.1984 – TRÊS LAGOAS/MS
FILIAÇÃO	Ramiro Ferreira Medeiros Ademy Aparecida de Oliveira Medeiros
2007 / 2011	Curso de Graduação em Engenharia Elétrica Universidade Estadual Paulista Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

a minha família em especial meus pais pelo apoio incondicional, educação e estrutura de vida que tornaram possível este momento.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pelo dom da vida, por minha família e saúde, proporcionando conquistas e felicidade,

aos meus pais, Ramiro e Ademy, por ter me dado todo o suporte, amor e educação que precisei durante toda a minha vida,

aos meus amigos irmãos, pelos momentos vividos, pelo companheirismo, pelas viagens realizadas, pelas experiências trocadas, pela grande importância que cada um tem,

a República MASMORRA por fazer parte da minha vida como uma família, sem a qual não conseguiria chegar a este momento, onde princípios e valores foram desenvolvidos, principalmente união e espírito de luta. Vida Eterna a República MASMORRA,

ao meu orientador, Professor Dr. José Feliciano Adami, por acreditar em meu potencial e ajudar na elaboração deste trabalho.

"Quem tem o mel, dá o mel  
Quem tem o fel, dá o fel  
Quem nada tem, nada dá"  
(Zé Ramalho)

MEDEIROS, R.F.O. **WiMAX Interoperabilidade Mundial para Acesso de Microondas** 2011. 99 pg. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma técnica de rádio enlace batizada de WiMAX, sendo o padrão IEEE 802.16 finalizado em outubro de 2001 e publicado em 8 de abril de 2002 e está em constante atualização, esta tecnologia especifica uma interface sem fio para redes metropolitanas (WMAN) e está sob controle do WiMAX Forum, que é um grupo de empresas responsáveis pela dissipação desta tecnologia no mundo, o grande benefício deste padrão é a oferta de conexão internet banda larga em regiões onde não existe infra-estrutura tal como fibra óptica que possui um custo mais elevado.

O principal intuito deste trabalho é apresentar as características técnicas e teóricas desta tecnologia tanto para o padrão fixo quanto para o padrão móvel, regulamentação das faixas de frequência pela Anatel e descrição da camada física, através de conceitos base que são utilizados em diversos outros tipos de tecnologias de rádio enlace e que foram adaptados e atualizados para este padrão pouco conhecido, possibilitando maior alcance e velocidade, especificar e diferenciar quais são estes avanços é uma das contribuições do trabalho aqui realizado.

Após a etapa de conceituação teórica, um estudo de caso real foi inserido a este trabalho para comprovar a eficácia desta tecnologia implantada. A idéia da apresentação deste estudo de caso está vinculada a uma melhor visualização da utilização do padrão no mercado, em âmbito nacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tecnologia sem fio. Banda Larga. WiMAX.

MEDEIROS, R.F.O. **WiMAX Interoperabilidade Mundial para Acesso de Microondas** 2011. 99 pg. Monograph (Graduation in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011

## **ABSTRACT**

This paper presents a technique dubbed WiMAX radio link, the IEEE 802.16 was completed in October 2001 and published on April 8, 2002 and is constantly updated, this technology specifies an interface for wireless metropolitan networks (WMAN) and is under control of the WiMAX Forum, which is a group of companies responsible for the dissipation of this technology in the world, the great benefit of this standard is to offer broadband Internet connection in areas where there is no infrastructure such as fiber optics that has a cost higher.

The main purpose of this paper is to present the theoretical and technical characteristics of this technology for both the standard for fixed and mobile standard, regulation of frequency bands by the FCC and description of the physical layer, through to basic concepts are used in many other types of radio link and technologies have been adapted and updated for this little-known standard, allowing a greater range and speed, which are specified and differentiate these advancements is one of the contributions of the work done here.

After the theoretical conceptualization stage, a real case study has been inserted in this work to demonstrate the effectiveness of this technology deployed. The idea of presenting this case study is linked to a better view of the use of standard in the market, nationwide.

**KEYWORDS:** Wireless technology. Broadband. WiMAX.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EXEMPLO DE UM COHERER (EARLYWIRELESS, 2011).....	29
FIGURA 2- PRIMEIRO TELÉGRAFO DE MARCONI (EARLYWIRELESS, 2011).....	30
FIGURA 3- SALA DE RÁDIO DO TITANIC (CASADORADIOAMADOR, 2011)-.....	31
FIGURA 4- MARTIN COOPER E O DYNA-TAC (2SPACE, 2011).....	33
FIGURA 5-CELULAR COM SUPORTE WIMAX DA HTC (2SPACE, 2011).....	34
FIGURA 6-ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO PARA COMUNICAÇÃO WIRELESS (BEHROUZ, 2004).....	35
FIGURA 7- TIPOS DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS (BEHROUZ, 2004).....	36
FIGURA 8- MODULAÇÃO (DSI, 2011).....	39
FIGURA 9- CATEGORIAS DE REDES SEM FIO (PUROGEEK, 2011).....	43
FIGURA 10- REDE WIMAX (ARAUJO, 2008).....	50
FIGURA 11- TOPOLOGIA WWAN (KLAVA, 2010).....	52
FIGURA 12- GERAÇÕES DE REDES MÓVEIS (TELECO, 2011).....	55
FIGURA 13 - SOLUÇÕES BWA (OLIVEIRA, 2005).....	59
FIGURA 14 - TOPOLOGIA PONTO-A-PONTO (A) E PONTO-MULTIPONTO (B) (REDENEXO, 2011).....	60
FIGURA 15 - ARQUITETURA MESH (OLIVEIRA, 2005).....	61
FIGURA 16- VISADA DIRETA ENTRE DUAS ANTENAS (TELECO, 2011).....	62
FIGURA 17 – PADRÃO 802.16D (BEHROUZ, 2004).....	63
FIGURA 18 - ESCOPO WIMAX 2 (ARAUJO, 2008).....	65
FIGURA 19 - FREQUÊNCIAS DESIGNADAS AO WIMAX. (BEHROUZ, 2004).....	66
FIGURA 20 - ALOCAÇÃO MACRO DA FAIXA DE FREQUÊNCIAS DE 2,5GHZ (TELECO, 2011).....	67
FIGURA 21- SUBPORTADORAS DE UM SINAL OFDM. FONTE:PINTO (2005).....	71
FIGURA 22 - ESPECTROS FDM E OFDM. FONTE: PINTO (2005).....	72
FIGURA 23 - MODULAÇÃO ADAPTATIVA WIMAX (TELECO, 2011).....	73
FIGURA 24 - MODULAÇÃO QPSK (PINTO, 2005).....	74
FIGURA 25 - MODULAÇÃO QAM (PINTO, 2005).....	75
FIGURA 26 - DUPLICAÇÃO FDD E TDD (MIYOSHI, 2002).....	77
FIGURA 27 - TOPOLOGIA SIMPLIFICADA ERB ESVTA01 (MTEL, 2011).....	79
FIGURA 28- – LOCALIZAÇÃO REAL BACKBONES E SETORES (GOOGLE EARTH, 2011).....	80
FIGURA 29 - UNIDADE INDOOR IDU E UNIDADE OUTDOOR ODU E ANTENA INTEGRADA (RADWIN, 2011).....	82
FIGURA 30 - ENLACE PONTO-A-PONTO AIRMUX 200 (RADWIN, 2011).....	83
FIGURA 31 - BU/RB BREEZENET B (ALVARION, 2011).....	86
FIGURA 32 - APLICAÇÃO BU/RB BREEZENET B (ALVARION, 2011).....	88

FIGURA 33 - AU/SU BREEZENET VL (ALVARION, 2011).....	89
FIGURA 34 - DISTÂNCIA X TAXA DE TRANSFERÊNCIA (ALVARION, 2011).....	91
FIGURA 35 - LEVANTAMENTO DE FREQUÊNCIAS PARA O ENLACE ERB ESVTA01 X POP VIVO .....	95
FIGURA 36 - VISUALIZAÇÃO DO ENLACE ERB ESVTA01 X POP VIVO (GOOGLE EARTH, 2011).....	96
FIGURA 37 - VISADA ERB ESVTA01 X POP VIVO (MTEL, 2011).....	97
FIGURA 38- ANTENA PONTO-MULTIPONTO 120º (MTEL, 2011).....	102
FIGURA 39 - ANTENA PONTO-A-PONTO 90º(MTEL, 2011).....	103
FIGURA 40 - ANTENA PONTO-MULTIPONTO 120º E PONTO-A-PONTO 60º (MTEL, 2011).....	104
FIGURA 41 - ANTENA PONTO-MULTIPONTO 60º (MTEL, 2011).....	105
FIGURA 42 - RÁDIO INSTALADO COM TORRE (MTEL, 2011).....	106
FIGURA 43 - RÁDIO PONTO-A-PONTO 60º (MTEL, 2011).....	106
FIGURA 44 - ANTENA PONTO-MULTIPONTO 120º E PONTO-A-PONTO 60º (MTEL, 2011).....	107
FIGURA 45 - ANTENA PONTO-A-PONTO 90º (MTEL, 2011).....	107
FIGURA 46 - ANTENA INSTALADA NO CLIENTE (MTEL, 2011).....	108
FIGURA 47 - VISADA EM DIREÇÃO BACKBONE DA TELEFONICA (MTEL, 2011).....	108

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1- ESPECTRO DE FREQUÊNCIA E APLICAÇÕES.....	37
TABELA 2- CLASSES E VERSÕES DA TECNOLOGIA BLUETOOTH.....	44
TABELA 3- DEFINIÇÕES PADRÃO 802.15.4.....	45
TABELA 4- PRINCIPAIS ATUALIZAÇÕES DO PADRÃO 802.11.....	47
TABELA 5- PADRÕES 802.16 WIMAX.....	50
TABELA 6 - PRINCIPAIS PADRÕES 802.16.....	51
TABELA 7 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E DIFERENÇA DOS PADRÕES 2G.....	53
TABELA 8- PADRÕES 3G.....	54
TABELA 9- PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS REDES EM FIO.....	55
TABELA 10 - CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS PADRÕES 802.16.....	64
TABELA 11- CAMADAS FISICA WIMAX.....	70
TABELA 12 - TAXA X DISTÂNCIA.....	84
TABELA 13 - DADOS DO ENLACE ESVTA01 X POP VIVO.....	99
TABELA 14 - DADOS FINAIS CALCULADOS DO ENLACE.....	100
TABELA 15 - MODULAÇÃO ADAPTATIVA.....	100
TABELA 16 - DADOS CONCLUSIVOS DO ENLACE.....	101
TABELA 17 - ANTENAS SETORIAIS.....	101

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>26</b>
<b>2 TECNOLOGIA SEM FIO .....</b>	<b>28</b>
2.1 CRONOLOGIA DAS COMUNICAÇÕES SEM FIO.....	28
2.2 TRANSMISSÃO DE DADOS EM ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.....	35
2.3 MODULAÇÃO .....	38
<b>3 REDES WIRELESS.....</b>	<b>42</b>
3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS REDES EM FIO.....	43
3.1.1 Redes pessoais sem fios-WPAN.....	43
3.1.2 Rede Local sem fio - WLAN.....	46
3.1.3 Redes Metropolitanas sem fio – WMAN.....	48
3.1.4 Redes de longas distâncias sem fio – WWAN.....	52
3.2 CONCLUSÃO.....	55
<b>4 TECNOLOGIA WIMAX.....</b>	<b>57</b>
4.1 INTRODUÇÃO.....	57
4.2 PADRÕES WIMAX.....	61
4.3 FREQUÊNCIAS UTILIZADAS .....	66
4.3.1 Faixa de frequência 2,5 GHz .....	67
4.3.2 Faixa de frequência 3,5 GHz.....	68
4.3.3 - Faixa de frequência 5,8 GHz.....	69
4.3.4 - Faixa de frequência 10,5 GHz.....	69
4.4 – CAMADA FÍSICA WIMAX.....	70
<b>5 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>78</b>
5.1 – PROJETO BWA.....	78
5.2 TECNOLOGIAS UTILIZADAS.....	81
5.2.1 AIRMUX 200.....	81
5.2.2 BreezeNET B.....	85
5.2.3 BreezeACCESS VL.....	88
5.3 METODOLOGIA DE PROJETO PARA UM ENLACE BWA.....	92
5.3.1 Determinação da frequência de operação da Unidade de Acesso.....	92
5.3.2 Análise de viabilidade técnica.....	95
5.3.3 Potência de transferência de dados.....	98
5.3.4 Cálculos do Enlace .....	99
5.3.5 Conclusão dos cálculos do enlace.....	100
5.3.6 Disposição das antenas utilizadas.....	101
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>109</b>
<b>7 BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>110</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No cenário de negócios atual a busca por inovação tecnológica é impulsionada por fatores que possibilitam sua implementação e aceitação diante ao mercado seja para uso pessoal ou empresarial, fatores como: preço, mobilidade, segurança e confiabilidade. É diante a isto que enquadramos o padrão IEEE 802.16.

Foi atribuído a este padrão, o nome WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access/Interoperabilidade Mundial para Acesso de Micro-ondas*). O termo WiMAX foi criado por um grupo de indústrias conhecido como WiMAX Forum cujo objetivo é promover a compatibilidade e interoperabilidade entre equipamentos no padrão IEEE 802.16

A tecnologia WiMAX é aplicada em diversas finalidades dentre elas podemos citar: Atender regiões onde não exista infra-estrutura de cabeamento e ADSL (*Assymmetric Digital Subscriber Line*) garantindo através de rádio-freqüência conectividade em geral e a parte final da infra-estrutura de conexão de banda larga e acessos *last mile* oferecendo conectividade para residências, empresas e em *hotpots* em geral.

Em teoria, espera-se que os equipamentos WiMax tenham alcance de até 50 km e capacidade de banda passante com a atualização do padrão IEEE 802.16m que foi batizado de WiMAX 2 ocorrida em Março de 2011 de fornecer suporte para 120 Mbits/s . Na prática, alcance e banda dependerão do equipamento e da freqüência usados, bem como da existência ou não de visada, que significa dizer se a antena de um ponto consegue "ver" a antena de outro, senão há obstáculos no caminho, construções, montanhas, etc. (FAGUNDES, 2006).

Outra funcionalidade bem utilizada no emprego do WiMAX é redução de custos e tempo de implantação, com essas premissas surgiu o produto BWA (*Broadband Wireless Access*) o qual é abordado no estudo de caso deste trabalho.

Este trabalho apresenta um planejamento de projeto para a implementação de redes metropolitanas com a tecnologia WiMax Fixo, independentemente dos

aspectos físicos encontrados no local e oferecendo serviço de banda larga sem fio. Suas características e aplicabilidades também serão apresentadas neste trabalho para oferecer ao leitor um melhor conhecimento e entendimento de funcionamento do padrão 802.16, com o intuito de eliminação de qualquer dúvida quanto a esta tecnologia.

Serão apresentados no trabalho, procedimentos para analisar uma real possibilidade de implementação dessa rede de comunicação em constante crescimento, que poderá ser aplicada em qualquer localidade possibilitando uma boa comunicação com ou sem linha de visada.

Portanto, o objetivo deste trabalho de graduação é fazer estudo da tecnologia WiMAX que é pouco difundido no Brasil e demonstrar sua viabilidade nos dias atuais, sendo um produto competitivo no mercado com diversos tipos de aplicações tendo em vista os benefícios gerados em relação a outras tecnologias.

## 2 TECNOLOGIA SEM FIO

A tecnologia sem fio está cada vez mais presente no cotidiano das pessoas, a proliferação de dispositivos com interface sem fio, tem revolucionado o estilo de vida, transformando atividades que no passado trariam grandes dificuldades em atos simples e corriqueiros. Possuir um equipamento com esta tecnologia passa a ser necessidade, conseguir comunicar-se a qualquer hora em qualquer lugar é simplificar e transformar o modo de como conduzirmos nossas vidas.

Desde o seu advento até os dias atuais, usuários da tecnologia sem fio, tiveram um expressivo aumento, saltando de alguns poucos para milhões. Para atender a demanda de conectividade e acesso aos dados de aplicações multimídia em tempo real exigidas por usuários, surgem no mercado soluções e uma série de produtos sem fio, um fato importante para o entendimento destas novas tecnologias são os caminhos percorridos ao longo das décadas, para se chegar ao status atual.

### 2.1 Cronologia das comunicações sem fio

Várias foram as etapas para que se atingisse o patamar atual da tecnologia sem fio, invenções como o rádio foram de extrema importância, ou seja, é importante saber os degraus percorridos ao longo do tempo para poder compreender o processo de criação e utilização das comunicações sem fio.

Sendo assim será apresentada a ordem cronológica do desenvolvimento da tecnologia sem fio:

- Em aproximadamente 1867, James Clerk Maxwell prevê a existência de ondas eletromagnéticas (EM).
- Em 1887, Heinrich Rudolf Hertz comprova a existência das ondas Eletromagnéticas mediante um transmissor que gera um tipo de faísca, entendida e recebida por um receptor a vários metros de distância.

- No ano de 1890, Édouard Eugene Désiré Branly desenvolve um *coherer* para a detecção de ondas de rádio. Um *coherer* como está demonstrado na figura 1, era um tubo de vidro com duas ou três polegadas, com dois eletrodos de metal inseridos, separadamente, por uma fração de polegada. As limalhas de metal ficavam soltas dentro do tubo, ao redor dos eletrodos. Na presença de rádio frequência, as limalhas de metal agarravam os eletrodos, o que permitia a passagem de corrente. A dita corrente foi usada para acionar um sinalizador nos telégrafos antigos.



Figura 1 – Exemplo de um coherer (EARLYWIRELESS, 2011)

- Em 1896 o Engenheiro Eletricista italiano chamado Guglielmo Marconi Marchese apresenta um aparelho de telégrafo sem fio que atinge o alcance de duas milhas, a figura 2 ilustra como era o aparelho, o que lhe concedeu o título “pai do rádio”. Porém dois anos antes em 1894, Roberto Landell de Moura, padre brasileiro foi responsável por fazer uma experiência pioneira de radiodifusão, no entanto acabou menosprezado pelos registros históricos ele transmitiu a voz humana por oito quilômetros em linha reta, da Avenida Paulista até o Alto do Santana, na zona norte da cidade (O rádio inventado por Marconi só transmitia sinais telegráficos).

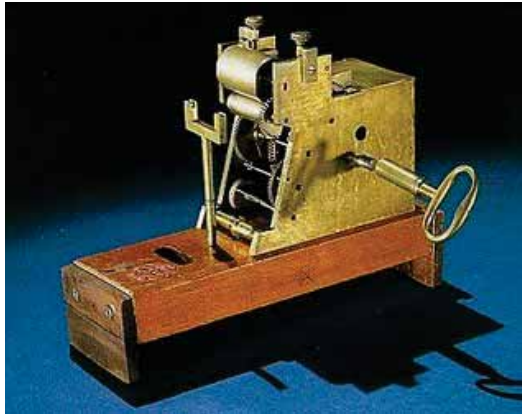


Figura 2- Primeiro telégrafo de Marconi (EARLYWIRELESS, 2011)

- Em 1897, patente do telegrafo sem fio é atribuída a Marconi e a chamada “Primeira estação Marconi” estabeleceu na ilha de Agulhas uma base para se comunicar com a costa inglesa.
- Em 1898, foi estabelecida a primeira ligação wireless telegráfica entre os países Inglaterra e França.
- Em 1901, Sinais de rádio são transmitidos através do oceano Atlântico.
- Em 1902, foi estabelecida a primeira comunicação bidirecional pelo Atlântico onde um sinal foi enviado e outro recebido.
- Em 1909, o premio Nobel de física é concedido a Marconi em razão de suas descobertas na área de comunicação.
- No dia 15 de Abril de 1912 o Titanic bateu num “iceberg” no Atlântico Norte e afundou equipado com uma estação Marconi conseguiu através do primeiro SOS da historia salvar 713 vidas, porém, foi argumentado que o número de sobreviventes poderia ter sido maior, se já estivesse aprovada uma regulamentação nas comunicações sem fio. A sala de rádio do Titanic está demonstrada na figura 3, falta de padrões para o rádio não permitiu um resgate mais eficiente.



**Figura 3- Sala de rádio do Titanic (CASADORADIOAMADOR, 2011)-**

- Em 1914, a primeira transmissão de voz via ondas de rádio foi realizada efetivamente.
- Em 1919, Edwin Armstrong (americano) inventa o receptor Superheterodino para rádio.
- Em 1920, a polícia de Detroit instala receptores moveis de rádio sem sua frota, foi um marco no sistema de monitoramento e comunicação de policiais na época.
- Em meados de 1927, surgem as primeiras demonstrações de Radiodifusão regular de televisão.
- Em 1932, Marconi instala o primeiro enlace telefônico de microondas entre a cidade do Vaticano e a residência de verão do Papa.
- No ano de 1933, Edwin Armstrong (americano) inventa a modulação em frequência (FM) para transmissão de radio.
- Em 1938, H. A. Reeves inventa a modulação por codificação de pulso PCM.

Com o inicio da Segunda Guerra Mundial, países como o Estados Unidos proporcionaram um avanço em todas as tecnologias, inclusive na parte de comunicações atingindo assim uma melhora nos métodos de modulação, alta imunidade a ruídos, dificuldade de interceptação ou monitoramento e baixa

interferência de outros sistemas. Pós-Guerra e início da Guerra Fria, houve marcos que são importantes à história das tecnologias sem fio.

- Em 1949, o rádio móvel passa a ser comercializado em massa devido ao reconhecimento como uma classe de serviço pelo FCC (*Federal Communications Commission*)
- Em 1955, introdução do Pager um produto de comunicação via rádio usado em hospitais e fábricas.
- Em 1960, é lançado o primeiro satélite passivo de comunicação, obtendo-se com êxito a reflexão de sinais de rádio de volta para a Terra.
- Em 1963, o primeiro satélite de comunicação é colocado em órbita geoestacionária.
- Em 1969, a primeira rede operacional de computadores à base de comutação de pacotes a ARPANET é instalada nos Estados Unidos pelo Departamento de Defesa, o qual foi o precursor da Internet.
- Em 1971, foi criada a primeira rede de área local sem fio, também conhecida como WLAN, atribuída a um grupo de pesquisadores sob a liderança de Norman Abramson da Universidade do Havaí. A WLAN era composta de sete computadores que se comunicavam, essa rede de comunicação de rádio foi intitulada “ALOHAnet”.
- No ano de 1973, Martin Cooper representado na figura 4, realiza as primeiras demonstrações de um celular utilizando antena de rádio frequência. Chamava-se Motorola Dyna-Tac.



Figura 4- Martin Cooper e o Dyna-Tac (2SPACE, 2011)

- Em 1979, o Japão constrói a primeira rede de telefonia celular.
- Em 1984, a Internet se torna Mundial.
- Em 1989, a *Global System For Mobile Communications* define o padrão europeu de celulares, o GSM.
- Em 1990, o *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) instaurou um comitê para definição de um padrão para conectividade sem fio.
- No ano de 1993, foi lançado o código de múltiplas divisões de acesso (CDMA)
- Em 1995, em leilões da FCC (*Federal Communications Commision*) as frequências na faixa de 1,8 GHz para telefonia móvel foram alocadas e definidas
- Em 1997, o comitê de padronização da IEEE aprovou o padrão IEEE 802.11; nessa versão inicial, as taxas de transmissão nominais atingiam 1 e 2 Mbps;
- Em 1998, o padrão Bluetooth é oficializado pelas regras internacionais da SIG (*Bluetooth Special Interest Group*);

- No ano de 2000, a terceira geração de normas de sistema para celulares (3G) foi implantada;
- Em 2002, é publicado o padrão IEEE 802.16 que recebeu o nome de WiMAX é o objetivo de estudo deste trabalho de graduação.
- Em 2008, a HTC Lança o primeiro celular com suporte a tecnologia WiMAX, visando suporte a banda 4G ainda não definida nos dias atuais, representado na figura 5.
- Em Março de 2011, ocorre atualização do padrão IEEE 802.16m que foi batizado de **WiMAX 2** capacidade de banda de 120 Mbits/s.



Figura 5-Celular com suporte WiMAX da HTC (2SPACE, 2011)

Como pode ser observado o processo de evolução das tecnologias sem fio apresenta vários momentos, cada qual com sua importância e relevância. É importante ressaltar que muitos outros eventos ocorreram desde o início e também contribuíram para a história, o futuro é promissor, novas tendências surgem a todo o momento a evolução é constante.

Uma parte importante para se compreender o funcionamento da comunicação sem fio é entender como Ondas Eletromagnéticas conseguem transmitir informações e quais são os tipos de ondas.

## 2.2 Transmissão de dados em Ondas Eletromagnéticas

O ar livre é considerado como o melhor suporte de transmissão em relação à conectividade, pois prove uma interconexão completa, permitindo grande flexibilidade na localização das estações. As vantagens oferecidas em relação a outros tipos de sistema como: A instalação em ambientes de difícil acesso, alta imunidade a ruídos, baixa interferência em outros sistemas, garantia de altas taxas de velocidade e performance, faz com que elas sejam amplamente utilizadas no transporte de informações.

Segundo a Anatel (Agencia Nacional de Telecomunicações), Ondas Eletromagnéticas usadas para comunicação sem fio correspondem a energia transportada através do espaço, na velocidade da luz, na forma de campo elétrico e campo magnético. A quantidade de energia associada à onda eletromagnética depende de suas frequências, as quais são medidas pelo numero de oscilações (ciclos) por segundo. A faixa de radiofrequência (RF) nas quais os sinais sem fio são transmitidos estende-se de 9 kHz à 300 GHZ como pode ser observado na figura 6.



Figura 6-Espectro Eletromagnético para comunicação wireless (BEHROUZ, 2004)

São de diversas maneiras que os sinais eletromagnéticos podem viajar da fonte ao destino desejado, tais como propagação acima do solo, ionosférica (Céu) e Visada direta (direcionada).

Na propagação acima do solo, as ondas de rádio viajam na porção mais baixa da atmosfera seguindo o contorno da terra, são sinais que irradiam em todas as direções, podem se propagar por distâncias consideráveis dependendo da potência do sinal transmitido, quanto maior a potência maior a distância, estes sinais não penetram a camada mais alta da atmosfera são espalhados, são frequências até 2 MHz.

Na propagação Ionosférica o sinal de rádio com frequências entre 2 à 30 MHz, são refletido na ionosfera e voltam para terra, são sinais que atingem grandes distâncias através de saltos entre a terra e a ionosfera.

Já na visada direta as antenas devem estar alinhadas, sinais de alta frequência são transmitidos em linha reta da antena transmissora à antena receptora, estas precisam estar suficientemente próximas afim de que a curvatura da terra não influencie na transmissão, no entanto o caminho direto nem sempre garante uma boa transmissão de rádio, se o feixe de microondas estiver muito perto de um obstáculo, a obstrução parcial resultará no aumento da perda na transmissão.

Os três tipos de transmissão estão ilustrados na figura 7, a fim de se ter uma noção melhor.

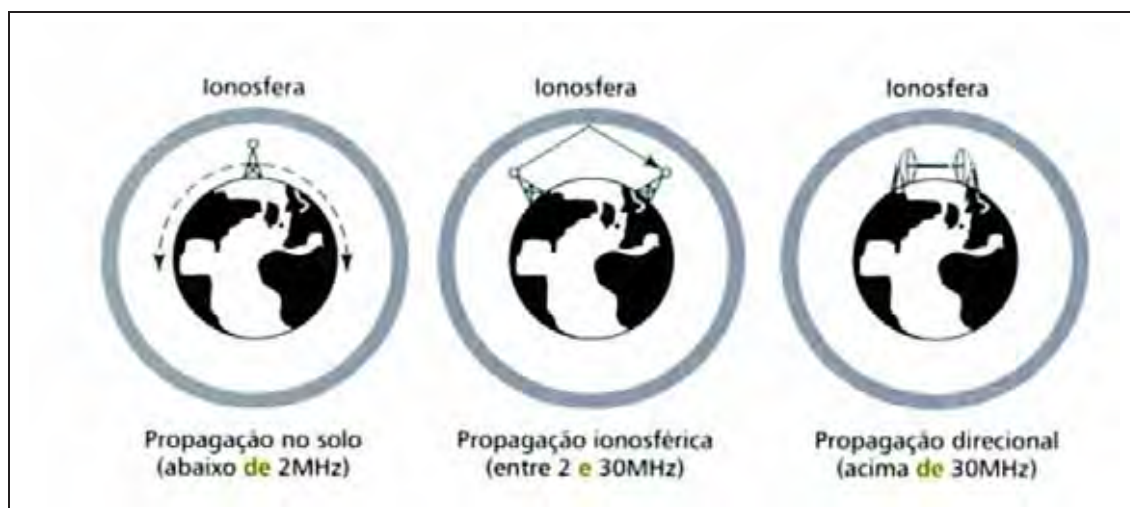


Figura 7- Tipos de Propagação de ondas Eletromagnéticas (BEHROUZ, 2004)

As transmissões sem fio são divididas em três importantes grupos: ondas de rádio, microondas e infravermelho. Sendo que o importante para redes sem fio são as ondas de rádio e microondas, tendo em vista que estas estão divididas em bandas, ou seja, oito tipos de faixas cada qual regulamentadas por autoridades governamentais, estas faixas estão alocadas dentre diferentes tipos de utilizações e frequências desde as muito baixas (VLF) até frequências extremamente altas (EHF) como esta demonstrado na tabela 1:

**Tabela 1- Espectro de frequência e Aplicações**

<b>Banda</b>	<b>Faixa</b>	<b>Propagação</b>	<b>Aplicação</b>
<b>VLF</b>	3-30 KHZ	SOLO	Rádio Navegação
<b>LF</b>	30-300 KHZ	SOLO	Orientação de rádio para aviadores
<b>MF</b>	300 KHZ - 3 MHZ	IONESFÉRICA	Rádio AM
<b>HF</b>	3 - 30 MHZ	IONESFÉRICA	Comunicação aéreo-marítima
<b>VHF</b>	30 - 300 MHZ	IONESFÉRICA E DIRECIONADA	Tv VHF, Radio FM
<b>UHF</b>	300 MHZ - 3 GHZ	DIRECIONADA	Tv UHF, Celulares, paging, satélite
<b>SHF</b>	3 - 30 GHZ	DIRECIONADA	Comunicação via Satélite
<b>EHF</b>	30 - 300 GHZ	DIRECIONADA	Radar, Satélite

As ondas na faixa de frequência entre 3 KHz à 1GHz são denominadas de Ondas de Rádio, enquanto ondas eletromagnéticas entre 2GHz à 300GHz são as Microondas, porém como não existe propriamente dito uma faixa que delimita onde uma termina e outra começa, a sua classificação é melhor representada pelo seu comportamento, temos que as Ondas de Rádio se propagam em qualquer direção, não é preciso que haja uma antena receptora apontada diretamente para a antena transmissora ou seja são omnidirecionais, qualquer antena receptora pode captar ondas emitidas pela antena transmissora.

As ondas de rádio podem viajar por longos percursos, são as ondas que tem transmissão pela ionosfera como é o exemplo das ondas de radio AM, e podem

atravessar paredes sendo estas algumas das vantagens das ondas de rádio, a desvantagem é que estas ondas por irradiarem em qualquer direção são muito suscetíveis a interferência por outra antena que estiver transmitindo na mesma frequência ou banda; Possuem baixa potência de sinal para distâncias longas e ocupam bandas estreitas para permitir a comunicação digital de dados.

Nas ondas eletromagnéticas de Microondas é necessário que o transmissor e o receptor estejam alinhados, ou seja, a antena que transmite as ondas precisa estar focada à antena receptora de modo que a comunicação mantenha a qualidade. Isto determina que apenas o par de antenas que estiverem alinhadas pode se comunicar e sendo assim não causa interferência em outro enlace, este é o caso do WiMAX Fixo padrão 802.16 que utiliza frequências em torno de 10 GHz como será abordado no capítulo 4 deste trabalho.

Como as antenas precisam estar em visada direta, qualquer obstáculo no caminho do enlace resultará na interrupção da transmissão, este problema geralmente é resolvido utilizando repetidores, porém isto implica em um maior custo, dependendo do caso é viável a construção de outra estação de radio base. Por possuir frequências elevadas, as microondas não possuem a propriedade de atravessar obstáculos e paredes, no entanto esta frequência alta possibilita a comunicação de dados em altas taxas de velocidade.

O sinal que contém informação é chamado de sinal-mensagem, não pode ser transmitido de maneira direta através do meio de transmissão que é o ar, pois a maioria dos sistemas de comunicação seria de custos proibitivos ou realmente inviáveis, sendo assim a transmissão do sinal-mensagem requer um processamento de algum modo antes da transmissão a fim de obter eficiência, este procedimento se denomina modulação.

### 2.3 Modulação

Modulação é a modificação de um sinal eletromagnético antes de ser irradiado permitindo que este sinal consiga transportar informações o que é

importante, pois permite tornar o sistema de transmissão mais robusto a algum tipo de interferência ou ruído, deslocar o espectro do sinal que se deseja transmitir para uma banda de frequência mais apropriada, adaptar a sensibilidade do receptor às características do canal dentre outros aspectos necessários a uma transmissão eficiente.

O veículo de transporte da informação de um ponto a outro é chamado de onda portadora, cujas propriedades são mais adequadas para o meio em questão, sendo modificado para representar e transportar a mensagem. O sinal-mensagem é designado sinal modulante e o sinal que resulta do processo de modulação é denominado sinal modulado como pode ser observado na figura 8. Assim como existe o processo de modulação a fim de obter bons resultados na transmissão, é preciso que haja o processo inverso da modulação para que a informação seja recuperada ou extraída do sinal modulado este é um processo que ocorre no extremo-receptor é denominado de demodulação ou detecção.

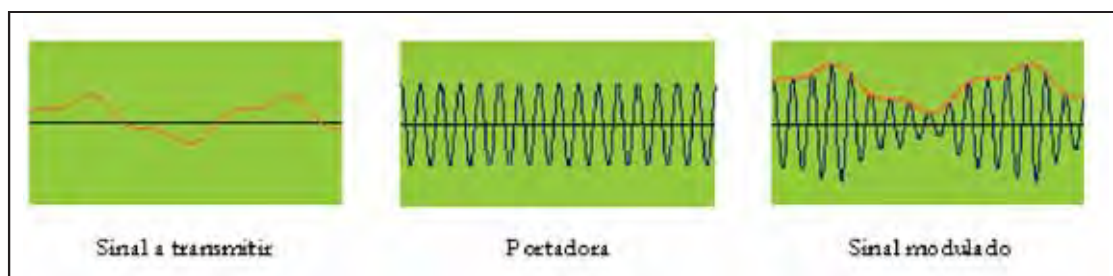


Figura 8- Modulação (DSI, 2011)

As técnicas de modulação podem ser divididas em classes, conforme a necessidade de utilização, sendo que de acordo com o tipo da onda portadora pode ser dividido em duas classes:

- Modulação de onda contínua: neste tipo de modulação a portadora é uma onda senoidal, sendo que a frequência é muito maior do que a frequência de qualquer componente do sinal modulante, que é alterada de acordo com a informação a se transmitida. As técnicas de modulação mais utilizadas são a Modulação em Amplitude - AM, Modulação em Frequência - FM e Modulação em Fase - PM.

- Modulação por pulsos: Consiste basicamente em um processo onde a portadora é um trem periódico de pulsos sendo ainda dividido em dois tipos; Modulação analógica de pulsos: Onde a onda portadora é um trem de pulsos periódicos e algum aspecto característico de cada pulso, amplitude, duração ou posição é variado continuamente e Modulação codificada de pulsos: Uma representação de tempo discreto e amplitude discreta é utilizada para o sinal modulado. Há uma variedade de esquemas de modulação por pulso: modulação em amplitude de pulso (PAM), modulação em código de pulso (PCM), modulação em frequência de pulso (PFM), modulação de posição de pulso (PPM) e modulação por largura de pulso (PWM).

Outro método de classificação divide as técnicas de modulação em dois grandes grupos, técnicas de transmissão analógica e técnicas de transmissão de dados digital (codificada):

- Modulação Analógica: Na modulação analógica, o parâmetro da portadora que é uma onda senoidal ou trem periódico de pulsos varia com proporção direta ao sinal modulante.
- Modulação Digital: Na modulação digital ou codificada, uma transformação digital é realizada, transformando a informação a ser transmitida normalmente em um conjunto ou seqüência de bits, ou seja, conversão de uma linguagem simbólica para outra. Quando a informação é uma função continua, tempo e amplitudes contínuos, deve ser amostrada e quantizada antes de codificar uma portadora. As principais técnicas de modulação para sinais digitais são: Por chaveamento: Modulação em amplitude por chaveamento (ASK - *Amplitude Shift-Keying*): altera a amplitude da onda portadora em função do sinal digital a ser transmitido. A modulação em amplitude troca a frequência baixa do sinal binário, para uma frequência alta como é a frequência da portadora. Modulação em frequência por chaveamento (FSK- *Frequency Shift-Keying*): processo de modulação

que consiste na variação da frequência da onda portadora em função do sinal digital a ser transmitido. Esse tipo de modulação pode ser considerado equivalente a modulação em FM para sinais analógicos. Modulação em fase por chaveamento (PSK - *Phase Shift-Keying*): processo pelo qual se altera a fase da onda portadora em função do sinal digital a ser transmitido.

### 3 REDES WIRELESS

As Redes Wireless também conhecidas como redes sem fio referem-se a dois ou mais dispositivos interligados entre si de modo a poder compartilhar recursos físicos e lógicos sem a utilização de cabos como fibras ópticas, coaxiais ou telefônicos, por meio de equipamentos de radiofrequência. Este tipo de rede está presente em todos os ambientes, é de grande necessidade, pois em muitos casos é impossível ou de alto custo montar uma estrutura de cabeamento convencional.

O uso das redes sem fio se estende desde transceptores de rádio como walkie-tokies até satélites artificiais na órbita terrestre, sendo que seu uso mais comum é servindo como meio de acesso a internet em redes de computadores, é possível estar conectado mesmo deslocando-se num perímetro geográfico extenso, esta mobilidade representa uma das maiores vantagens desta topologia de rede.

Porém, as transmissões em radiofrequência são suscetíveis a interferência e, portanto se faz necessário a regulamentação dos intervalos de frequência e potências em cada país, é possível emitir para cada categoria uma utilização seja elas aplicações militares, cientistas ou amadores a fim de assegurar uma confidencialidade dos dados que circulam nas redes sem fio.

A classificação das redes wireless é baseada de acordo com a zona de cobertura da rede, ou seja, a área de abrangência. A seguir será descrito as principais categorias de redes sem fio bem como os padrões e tecnologia que as envolve, como é demonstrado na figura 8 – Categorias de redes sem fio.

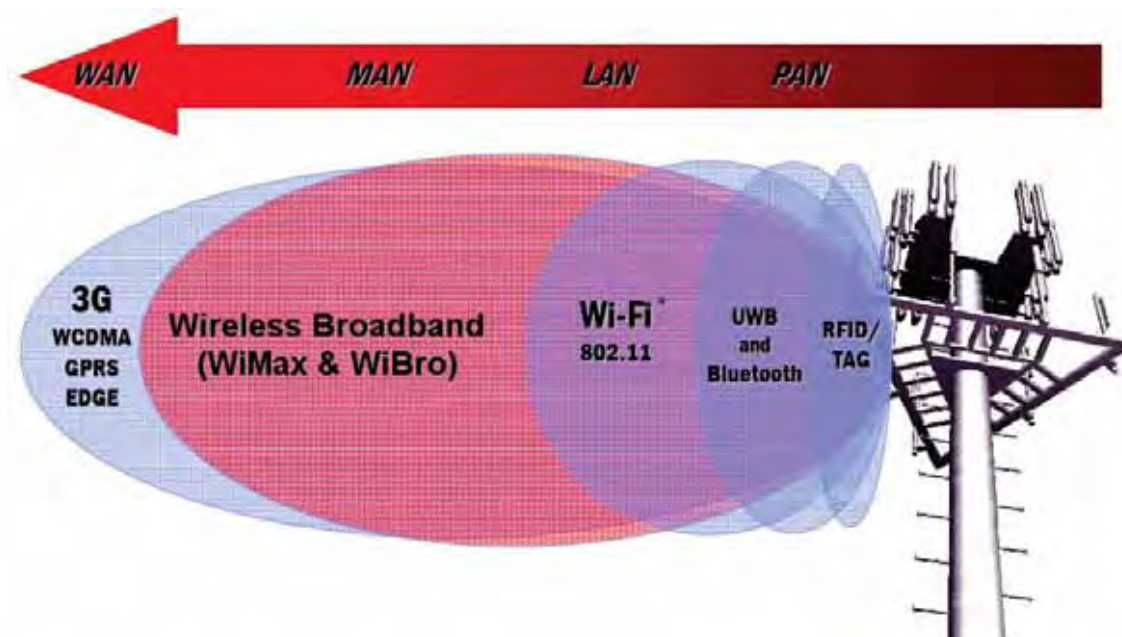


Figura 9- Categorias de redes sem fio (PUROGEEK, 2011)

### 3.1 Classificação das redes em fio

Existem quatro categorias em que as redes sem fio podem ser classificadas, em cada uma destas categorias existe padrões e tecnologias associadas, tais como o WiMax objetivo deste trabalho.

#### 3.1.1 Redes pessoais sem fios-WPAN

Abreviação do inglês que significa *Wireless Personal Area Network* a rede WPAN provê uma conexão a rádio para interligar dispositivos pessoais, projetados para distância curtas podendo alcançar até dez metros, possui baixo custo e baixas taxas de transferência; Este tipo de rede é ideal para substituir cabos utilizados para interligar câmeras fotográficas, mouses, telefones móveis, impressoras e outros.

Uma tecnologia existente neste tipo de rede é o Bluetooth, que foi usado como base para o padrão, IEEE 802.15, que define uma conexão segura através de rádio frequência com curto alcance e não licenciada. O Bluetooth começou a

ser desenvolvido em 1994 pela Ericsson, o projeto consistia em desenvolver comunicação sem fio de baixo custo e consumo, possibilitando este rádio ser implementado em diversos aparelhos portáteis.

As especificações do padrão foram desenvolvidas e licenciadas pelo *Bluetooth Special Interest Group*, do qual além da Ericsson participam empresas como: Nokia, Intel, Toshiba e IBM. O fato de ser um padrão aberto garantiu o sucesso imediato do Bluetooth e em menos de dois anos o SIG recebeu mais de 2000 novos membros. Outro ponto forte do Bluetooth é o uso da tecnologia por meio de licenças sem o pagamento de taxas ou direitos autorais. Curiosamente, o nome Bluetooth é uma referência ao rei Viking Harald Bluetooth que unificou a Dinamarca e a Noruega, no século X (MILLER, 2001).

O padrão IEEE 802.15 utiliza a frequência de 2,4 GHz bem como a maioria das tecnologias wireless e pode ser dividido em classes e versões como é demonstrado na tabela 2.

**Tabela 2- Classes e versões da tecnologia Bluetooth**

<b>Classe</b>	<b>Potência (mW/dBm)</b>	<b>Distância</b>	<b>Versão</b>	<b><u>Mbit/s</u></b>
<b>Classe 1</b>	100 mW (20 dBm)	100 metros	<b>Versão 2.0 + EDR</b>	<u>3 Mbit/s</u>
<b>Classe 2</b>	2.5 mW (4 dBm)	10 metros	<b>Versão 3.0</b>	<u>24 Mbit/s</u>
<b>Classe 3</b>	1 mW (0 dBm)	~1 metro	<b>Versão 4.0</b>	1 Mbit/s

Na versão 4.0, que foi licenciada recentemente no ano de 2011 a principal [novidade](#) é o baixo uso de energia, assim as transferências gastarão bem menos do que na versão anterior, onde grande parte era desperdiçada, no entanto este baixo consumo tem impacto direto na velocidade transferência que poderá chegar apenas a 1 Mbit/s.

Outra tecnologia importante e bem utilizada existente em redes WPAN é o Zigbee, com atraso no desenvolvimento do Bluetooth uma associação composta de fabricantes, usuários finais e provedores de tecnologia chamada de Zigbee alliance, desenvolveu esta solução que possui as mesmas características do Bluetooth, baixo consumo de energia, curta distância e preço acessível, porém a diferença fundamental entre as tecnologias se faz no alcance e velocidade de ambas, o Zigbee opera em uma velocidade compreendida entre 20kps e 250kps o que o torna muito mais lento que o Bluetooth, porém alcança distancias maiores podendo chegar a 100 metros, o Bluetooth em teoria chegaria a esta distância, porém ainda não teve bons resultados a esta distância.

A principal característica do Zigbee é o baixo consumo, podendo funcionar em um período de 6 meses até 2 anos alimentado com uso de um par de pilhas AA; Isto possibilita ao Zigbee uma gama grande de aplicações tais como: Iluminação, segurança residencial, automação doméstica, controle de ar condicionado entre outras.

O padrão Zigbee foi homologado pelo IEEE através da norma 802.15.4, que define as especificações da tecnologia, tais como é demonstrado na tabela 4:

**Tabela 3- Definições Padrão 802.15.4**

<b>Padrão</b>	<b>Frequências</b>	<b>Nº de Canais</b>	<b>Técnica de Modulação</b>	<b>Taxa de Dados</b>
<b>802.15.4</b>	2.4-2.4835 GHz	16 (11 a 26)	DSSS, O-QPSK	250 kbit/s
	868-870 MHz	1 (0)	DSSS, BPSK	20 kbit/s
	902-928 MHz	10 (1 a 10)	DSSS, BPSK	40 kbit/s

Existem outros tipos de tecnologias relacionadas a redes WPAN, porém são de pequeno uso, com aplicações limitadas. A próxima categoria de redes sem fio que será apresentada é a que tem o maior uso nos dias atuais, por desempenhar funções vitais para o dia a dia, interligando dispositivos em uma rede local.

### 3.1.2 Rede Local sem fio - WLAN

WLAN (*Wireless Local Area Network*) é uma rede sem fio apropriada para uso em escritórios, residências, também se faz presente em áreas abertas como aeroportos, centro de convenções, implementada como extensão ou solução para redes convencionais, pode ser usada para redes de acesso a internet, que nestes casos são denominadas redes WI-FI (*Wireless Fidelity*).

Esta solução de rede se caracteriza principalmente pelo uso em grande escala, tem sido um dos segmentos de telecomunicações que mais cresce no mercado atualmente devido a inúmeras vantagens, como a simplicidade de configuração, e um baixíssimo custo frente às redes a cabo, já que não é necessário um extenso planejamento de infraestrutura para se obter sinal de qualidade. As WLANs utilizam sinais de rádio frequência para transmissão de dados, minimizando a necessidade do uso de cabos de conexão dos usuários a rede, combinando mobilidade dos usuários dentro da área de cobertura de rede com a comunicação de dados, que chega a atingir centenas de metros.

Com objetivo de alavancar o desenvolvimento de redes utilizando tecnologia sem fio o IEEE (*Institute Of Electrical and Electronics Engineers*), constituiu um grupo de pesquisa em meados dos anos 90, que criou um projeto denominado, IEEE 802.11, devido a alguns problemas desta tecnologia entre eles e o principal, a baixa taxa de transferência de dados que era em torno de dezenas de kbps, considera muito baixa, este projeto ficou inerte por um bom tempo, até que com a evolução da tecnologia e a alta nas taxas de transferência, que se compara as utilizadas em cabos, as redes sem fio e o padrão IEEE 802.11 passaram a receber investimentos e ser vista como solução promissora.

Empresas como CISCO, 3COM e IBM, basearam seus produtos no padrão IEEE, devido às inúmeras vantagens em relação a outras tecnologias, isto impulsionou o mercado a aceitar e utilizar o padrão 802.11, garantindo assim a grande demanda pelo padrão nos dias atuais. Com finalidade de otimizar a conexão, garantir segurança e interoperabilidade foram feitas atualizações no padrão IEEE 802.11, ou seja, atualmente existem diferentes tipos de padrões, em

todos os casos deve ser considerados aspectos tais como: Alcance e cobertura, taxa de comunicação, interferência, consumo de energia e custo. A tabela 5 demonstra as principais revisões do padrão IEEE 802.11 e suas características.

**Tabela 4- Principais atualizações do padrão 802.11**

Padrão	Frequência	Largura de banda	Alcance	Característica
802.11a	5 GHz	54 Mbps	50 metros	As suas principais vantagens são a velocidade, a gratuidade da frequência que é usada e a ausência de interferências. A maior desvantagem é a incompatibilidade com os padrões no que diz respeito a Access Points 802.11 b e g, quanto a clientes, o padrão 802.11a é compatível tanto com 802.11b e 802.11g na maioria dos casos, já se tornando padrão na fabricação dos equipamentos.
802.11b	2,4 GHz	11 Mbps	100 metros	Um ponto negativo neste padrão é a alta interferência tanto na transmissão como na recepção de sinais, porque funcionam a 2,4 GHz equivalentes aos telefones móveis, fornos microondas e dispositivo Bluetooth. O aspecto positivo é o baixo preço dos seus dispositivos, a largura de banda gratuita bem como a disponibilidade gratuita em todo mundo. O 802.11b é amplamente utilizado por provedores de internet sem fio.
802.11g	2,4 GHz	54 Mbps	100 metros	Baseia-se na compatibilidade com os dispositivos 802.11b, fornece uma opção de <i>upgrade</i> /migração para redes 802.11b, pois apresenta a mesma faixa de frequência de operação com uma taxa de transmissão

mais elevada.

802.11n	2,4 GHz e 5 GHz	300 Mbps	100 metros	Wireless 802.11n são muito mais potentes, o que explica o fato de serem bem mais caros. O sinal de banda dupla pode ser de 2,4 ou 5 GHz e atinge até 300 Mbps, podendo ser reconhecido em um raio de até 400 metros. Ele é ideal para que você consiga alto desempenho.
802.11h	5 GHz	54 Mbps	150 metros	Versão do protocolo 802.11a (Wi-Fi) que vai ao encontro com algumas regulamentações para a utilização de banda de 5 GHz na Europa.
802.11r	2,4 GHz	10 Mbps	50 metros	Padroniza o <i>hand-off</i> rápido quando um cliente wireless se reassocia quando estiver se locomovendo de um ponto de acesso para outro na mesma rede.

### 3.1.3 Redes Metropolitanas sem fio – WMAN

As Redes Metropolitanas sem fio ou WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*) são uma topologia de rede que tem em seu escopo atender grandes regiões, sejam cidades inteiras ou áreas metropolitanas, em uma estrutura celular onde cada estação de rádio base cobre uma determinada área, provendo conexão de redes e banda larga sem fio, definida como BWA (*broadband wireless access*), que é o estudo de caso deste trabalho. Operadores de telecomunicações utilizam desta estrutura de rede como acesso de última milha, se beneficiando da ausência de cabos para a conexão em redes, pois outro tipo de estrutura física se torna cara ou então inapropriada. WMANs podem também ser usadas para prover internet a

dispositivos móveis como celulares e computadores portáteis, é a chamada tecnologia 4G que ainda está em fase de testes e desenvolvimento no Brasil.

Embora existam outras tecnologias vinculadas as redes metropolitanas como o LMDS (*Local Multipoint Distribution System*), utilizado para o acesso a internet e o MMDS (*Multichannel multipoint distribution service*) mais comumente usado como um método alternativo de recepção de programação de televisão a cabo, uma outra tecnologia chamada de WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access/Interoperabilidade Mundial para Acesso de Micro-ondas*) se configura como principal e predominante tecnologia global WMAN, para uso comercial e pessoal. WiMAX possui duas variantes: Licenciada e não licenciada, dependendo do espectro de frequência utilizada. A banda licenciada opera em uma frequência entre 2.3-2.5 GHz e 3.3-3.8 GHz, porém em alguns países como Estados Unidos, recente desenvolvimentos permitiram que a frequência de 700 MHz seja licenciada e utilizada também. O WiMAX não licenciado opera na faixa de 5.8 GHz, no Brasil esta frequência não licenciada se define como Pré-WiMAX o qual baseia a tecnologia BWA.

A arquitetura de rede WiMAX está demonstrada na figura 9, onde cada estação de radio base (BS WiMAX) cobre uma determinada região permitindo a conexão entre usuário final e a rede em um acesso ponto a ponto ou multiponto, cada radio base é conectada a Internet através de um *backhaul* (P2P Backhaul) que é a porção da rede responsável por fazer a ligação entre o núcleo da rede ou como é chamado *backbone* e subredes periféricas, ou seja, uma parte da rede corporativa intermediária, permitindo o acesso aos servidores e conexão IP-Internet, estas conexões são controladas e direcionadas através de um roteador.



Figura 10- Rede WiMAX (Araujo, 2008)

O padrão que decreta esta tecnologia sem fio para áreas metropolitanas foi finalizado em Outubro de 2001 e publicado em 8 de abril de 2002, definido como IEEE 802.16. Este padrão foi batizado de WiMAX, por uma organização sem fins lucrativos, formada por empresas fabricantes de equipamentos e de componentes líderes no mercado, denominado de WiMAX Fórum, que tem por objetivo promover em larga escala a utilização de redes ponto multiponto, alavancando a padronização IEEE 802.16 e garantindo a compatibilidade e interoperabilidade dos equipamentos que utilizem este padrão.

IEEE 802.16 tem diversas variantes, destinadas a desenvolver o desempenho e a capacidade da tecnologia WiMAX, estes padrões estão apresentados na tabela 6 – Padrões 802.16 WiMAX.

Tabela 5- Padrões 802.16 WiMAX

Padrão	Características
<b>802.16</b>	Primeiro padrão publicado, operando em uma frequência entre 10 - 66 GHz necessita de Visada direta (LOS), taxa de transferência entre 32 - 134 Mbps alcance de 5 Km.
<b>802.16a</b>	Uma alteração do padrão 802.16 que usa uma frequência menor entre 2 - 11 GHz, utiliza frequências licenciadas e não licenciadas, não necessita de visada direta (NLOS), taxa de transferência acima de 75 Mbp, alcance máximo em torno de 8 Km.

<b>802.16b</b>	Avanços e especificações na qualidade de serviço (QoS), frequências faixas entre 5-6 GHz, este padrão foi chamado de Wireless HUMAN (High Speed Unlicensed MAN).
<b>802.16c</b>	Perfil de frequência de transmissão na faixa de 10 - 66 GHz, assegura a interoperabilidade entre fornecedores e operadores no WiMAX.
<b>802.16d</b>	Também conhecido como 802.16 2004 é o padrão fixo do WiMAX conhecido como BWA (Broadband Wireless Access). Este padrão não necessita de visada direta (NLOS) utiliza faixas de frequência licenciadas e não licenciadas, entre 2 - 11 GHz.
<b>802.16e</b>	Este é o padrão móvel WiMAX, é chamado de 802.16 2005, torna possível conexão mesmo a uma velocidade de 60 Km/h.
<b>802.16m</b>	Aprovado recentemente em 2011 pelo IEEE, chamado de WiMAX 2, possui taxas de transferências acima de 300 Mbps, plataforma móvel que possibilita concorrência com outras tecnologias para o padrão 4G.

Entre todas estas revisões do padrão WiMAX, se destacam três deles, pela importância e larga aplicação no mercado, são os padrões: IEEE 802.16, IEEE 802.16d e IEEE 802.16e. A diferença entre estes padrões e algumas especificações é apresentada na tabela 7.

Tabela 6 - Principais Padrões 802.16

Parâmetros	802.16	802.16d	802.16e
<b>Homologação</b>	dez/01	jun/04	mai/05
<b>Frequência</b>	10 - 66 GHz	2 - 11 GHz	2 - 6 GHz
<b>Aplicação</b>	Redes	Redes e Internet	Internet Móvel
<b>Tipo de visada</b>	Direta	Omidirecional	Omidirecional
<b>Cobertura</b>	2 - 5 Km	50 Km	2 - 5 Km
<b>Modulação</b>	QPSK 16QAM 64QAM	OFDM 256 BPSK 64QAM	OFDMA
<b>Mobilidade</b>	Fixa	Fixa	Móvel
<b>Velocidade</b>	32-143 Mbps	75 Mbps	15 Mbps

A principal diferença entre o primeiro padrão IEEE 802.16 para IEEE 802.16d é que no primeiro padrão necessitava da condição de Visada direta

(LOS), enquanto o IEEE 802.16d pode operar tanto em Visada direta (LOS) quanto sem visada (NLOS). O desenvolvimento do padrão IEEE 802.16d é baseado em uma plataforma fixa, sendo que condição nômade, foi desenvolvido o IEEE 802.16e, capaz de atender a demanda por altas taxas de transferências aliado a mobilidade.

O WiMAX por se tratar do objetivo deste trabalho, será melhor detalhado no Capítulo 3 – WiMAX..

### 3.1.4 Redes de longas distâncias sem fio – WWAN

A rede sem fio WWAN abreviação do termo inglês *Wireless Wide Area Network*, é a rede sem fio mais comum existente, liga todos os telefones e equipamentos móveis em funcionamento e por isso é conhecida como rede celular móvel, são projetadas para operar em áreas amplas como países e continentes inteiros por meio de conexões de rádio, os usuários podem manter a conectividade da rede mesmo em deslocamento e também conectar com dispositivos fixos.

A topologia desta rede está demonstrada na figura 11, onde os principais componentes são as estações de rádio-base (ERB) que tem um raio de radiação do sinal determinando sua cobertura como pode ser observado na figura, sendo a estação de rádio base responsável pelo envio das informações provenientes da internet e rede telefônica

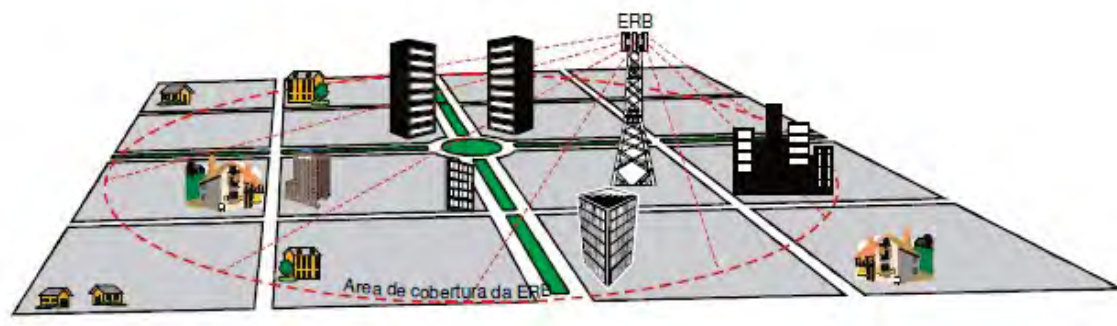


Figura 11- Topologia WWAN (Klava, 2010)

A rede Celular Móvel foi evoluindo conforme novas tecnologias foram inventadas com intuito de prover conexão de dados e voz em alta velocidade e maior mobilidade, sendo assim foram classificadas em gerações de acordo com nível de evolução.

A primeira geração da rede de celular móvel utilizava a tecnologia CDPD (*Cellular Digital Packet Data*) especificada em 1993, possuía estrutura celular analógica padrão – AMPS, a velocidade de transmissão de dados era comparada com modems dial-up, método popular na época para acessar internet em computadores pessoais, velocidades em torno de 13 Kbit/sec.

Segunda Geração (2G) da rede móvel é baseada nos padrões CDMA, TDMA e GSM têm uma taxa de transmissão de dados entre 9.6 e 14.4 kbps, as aplicações que se destacam desta geração são o fax móvel e o acesso a internet através de aparelhos móveis. Representam o primeiro conjunto de padrões a contar com modulação digital e sofisticado processamento digital de sinal na estação-base e no próprio aparelho de mão, em alguns países é possível utilizar múltiplos padrões e faixas de frequência em um único aparelho, o qual é capaz de detectar automaticamente e adaptar-se a qualquer padrão que esteja sendo usado em determinado mercado. A tabela 8 demonstra as principais características e diferença dos padrões da Segunda Geração.

Tabela 7 - Principais características e diferença dos padrões 2G

	<b>CDMA</b>	<b>GSM</b>	<b>TDMA</b>
<b>Frequência de Transmissão</b>	824-849 MHz (EUA)	890-915 MHz (Europa)	800-1500 MHz (Japão)
<b>Frequência de Recepção</b>	869-894 MHz (EUA)	935-960 MHz (Europa)	800-1500 MHz (Japão)
<b>Tecnologia de Acesso Múltiplo</b>	CDMA	TDMA	TDMA
<b>Modulação</b>	BPSK por espelhamento de quadratura	GMSK com BT=0,3	$\pi/4$ DQPSK
<b>Taxa de Dados</b>	14,4 Kbps	14,4 Kbps	14,4 Kbps
<b>Canais de Voz por Portadora</b>	64	8	3

Devido à baixa taxa de vazão de dados dos padrões 2G, foi desenvolvida uma série de aprimoramentos e atualizações voltados para dados que permitem maiores taxas de velocidade e suporte a aplicações modernas da internet, sendo sobrepostos às tecnologias 2G, surgindo assim o padrão 3G que admitem uma nova linguagem de navegação Web, denominada WAP (*Wireless Application Protocol*), assim paginas Web padrão são vistas no aparelho em um formato compactado, projetado especificamente para dispositivos sem fio pequenos e portáteis.

No entanto, para a prestadora sem fio se atualizar na tecnologia 3G, é preciso manter o padrão existente, ou seja, deve combinar com a escolha 2G original feita anteriormente, no caso de uma atualização para 3G projetada para GSM, esta deve possuir a compatibilidade com o padrão de interface de ar GSM original, caso contrario a atualização é incompatível e seria necessário a substituição completa dos equipamentos de cada estação rádio-base; Os principais padrões de 3G são o WCDMA/HSDPA e o EV-DO a tabela 8 demonstra as características de cada um destes padrões

Tabela 8- Padrões 3G

	WCDMA/HSDPA	EV-DO
<b>Taxa dados</b>	7.200/384 (Kbit/s)	3,1/1,8 (Mbit/s)
<b>Banda por portadora</b>	5 MHz	1,25 MHz
<b>Evolução das operadoras</b>	GSM	CDMA
<b>Orgão que define a padronização</b>	<a href="#">3GPP</a>	<a href="#">3GPP2</a>
<b>Início de Operação Comercial</b>	Dez/2005	Out/2006

As operadoras do Brasil implantaram o GSM/GPRS em suas redes, também está presente o EDGE, mas com uma cobertura menor. O Padrão 3G proporcionou que novos serviços fossem desenvolvidos, possibilitando vídeo chamadas, acessar aplicações via internet e até assistir TV na tela do celular.

Atualmente o surgimento de novas tecnologias que superam o padrão 3G, em termos de velocidade de transmissão de dados e cobertura de sinal, em

especial o WiMAX e o LTE, uma nova geração de rede móvel é criada, o padrão 4G, assim como os outros padrões é definido pela *International Telecommunication Union* (ITU) e são ainda tecnologias em desenvolvimento, apesar de já estarem sendo utilizadas, não atingem completamente as exigências da ITU, que espera taxas de transferência de 1 Gbit/s.

A figura 12 demonstra a evolução das redes móveis e as tecnologias associadas a cada geração.

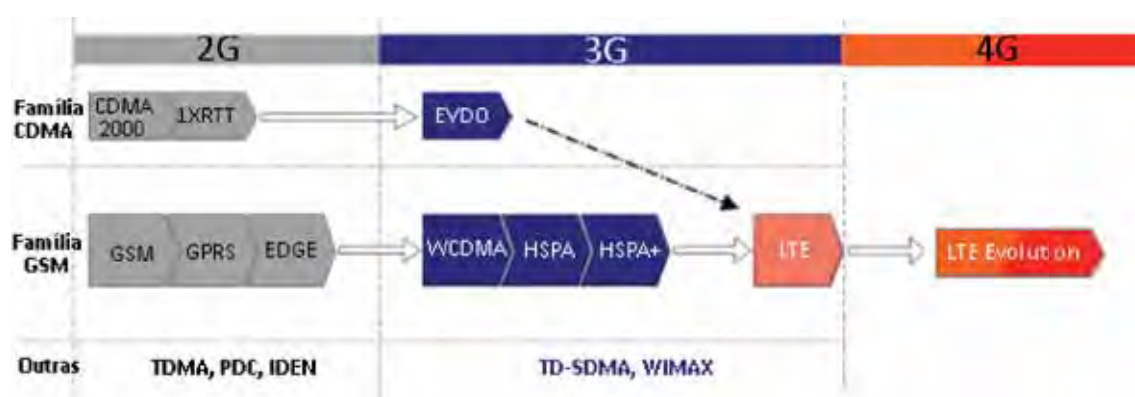


Figura 12- Gerações de redes Móveis (Teleco, 2011)

### 3.2 Conclusão

O Capítulo apresentou os tipos de redes em fio utilizados atualmente no mundo inteiro, cada rede sem fio apresenta uma especificação diferente e um determinado tipo de aplicação por isso se difere dos demais, a tabela a seguir demonstra uma comparação entre estas redes sem fio, usando os principais parâmetros tal como: Raio de cobertura, frequência de uso e taxa de transmissão de dados.

Tabela 9- Principais características das redes em fio

Alcance	Taxa de Transferência	Frequência	Aplicações
<10m	1-3 Mbps	2.4GHz	Pequeno alcance, sensores, equipamentos pessoais

<b>&lt;100m</b>	1 - 248 Mbps	2.4G e 5GHz	Conectividade entre computadores portáteis, modems internet
<b>&lt;10Km</b>	1-5Mbps por usuario	700MHz, 2.3-2.5GHz, 3.3-3.8GHz, 5.8GHz	Redes Corporativas, conectividade internet aparelhos móveis
<b>&lt;30Km</b>	9,6Kbps(2G) -2Mbps(3G)	800-900MHz, 1.8-2.2GHz	Conectividade telefonia celular, pdas

---

## 4 TECNOLOGIA WIMAX

Neste capítulo é apresentado o tema e objetivo deste trabalho de graduação a tecnologia WiMAX; O capítulo aborda todos os aspectos e características relevantes para o entendimento deste padrão, assim como a sua evolução, particularidades e questões técnicas o que dará suporte ao estudo de caso apresentado no capítulo 5 e a conclusão sobre esta tecnologia que nos dias atuais enfrenta grande concorrência de outros padrões que ameaçam a sua permanência no mercado.

### 4.1 Introdução

A crescente necessidade por maiores velocidades nas comunicações caracteriza um cenário que vem se destacando nas últimas décadas num âmbito global, o crescimento exponencial da telefonia móvel e do acesso a internet de banda larga demonstra a urgência do aprimoramento de todas as tecnologias que envolvem estes processos a fim de garantir que esta demanda seja atendida, dentre estas se destaca as tecnologias sem fio, que por sua popularidade e massificação possuem um grau de exigência elevado por parte dos usuários em função de maior mobilidade e acesso as aplicações como: Internet, teleconferência, troca de arquivos, vídeos dentre outros; É preciso fornecer uma taxa de velocidade é da ordem Mbps a um preço relativamente acessível.

Um grande avanço ocorreu com o surgimento da tecnologia WiFi (*Wireless Fidelity*), que possibilitou acesso a redes sem fio locais e a internet em alta velocidade, no entanto, possui um raio de cobertura restrito e a mobilidade é comprometida não proporcionando a mesma de um usuário de telefonia celular. As redes celulares oferecem amplas áreas de cobertura, porém necessitam de padrões que consigam taxas de transferências altas, ou seja, fica evidente a grande necessidade do surgimento de tecnologias que consigam integrar esses

cenários. O desafio é aliar altas taxas de serviços de dados com ampla cobertura e fácil acesso.

Neste contexto surgiram varias tecnologias que atendem os requisitos exigidos pelo mercado, entre elas o WiMAX que é abreviação do termo em inglês “*Worldwide interoperability for microwave Acces*” traduzido “Interoperabilidade Mundial para Acesso de Micro-ondas”, criado por uma organização sem fins lucrativos formada por empresas fabricantes de equipamentos que é conhecido como *WiMAX Forum* cujo objetivo é promover a compatibilidade e interoperabilidade entre equipamentos baseados no padrão IEEE 802.16 o próprio WiMAX.

Este padrão é uma tecnologia de acesso BWA ( *Broadband Wireless Acess*), ou seja, banda larga sem fios com altas taxas, tem como objetivo estabelecer a parte final da infra-estrutura de conexão banda larga (*last mile*), algumas dessas soluções para ultima milha esta representada na Figura 13 e também será demonstrado no Capitulo 5 deste trabalho um estudo de caso que é uma solução nas áreas corporativas, a seguir será apresentado detalhes técnicos do padrão 802.16 assim como seus beneficios dos quais podemos destacar:

- Altas taxas de transmissão de dados
- Ampla cobertura de sinal
- Tecnologia econômica e viável

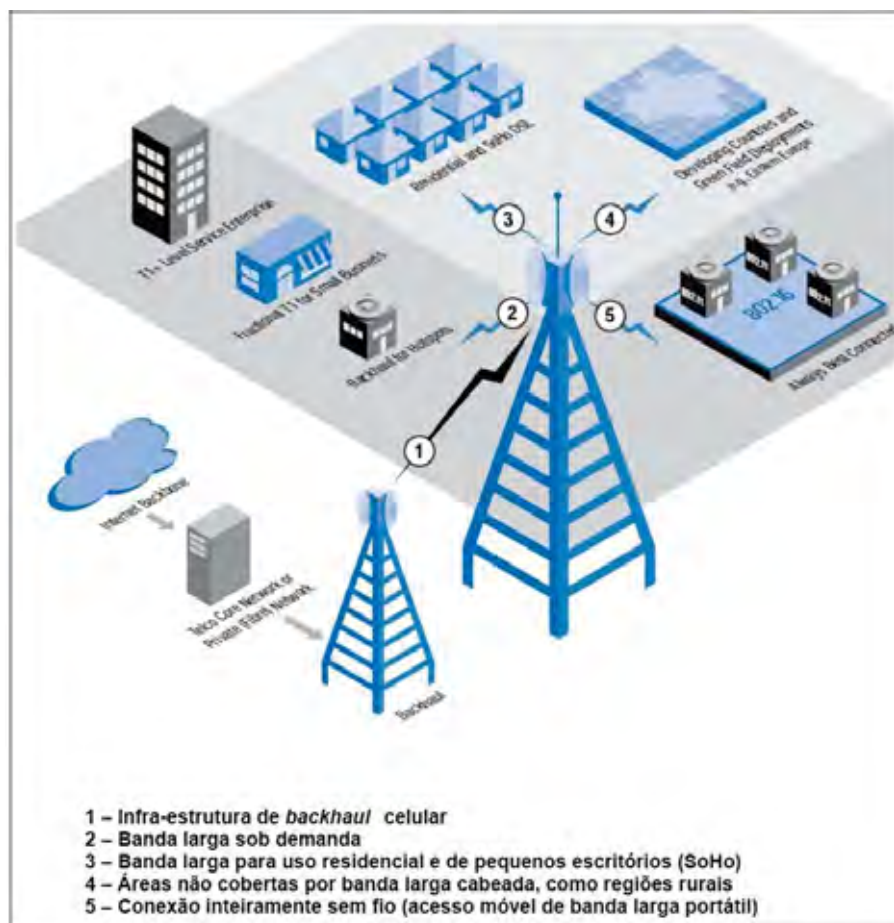


Figura 13 - Soluções BWA (OLIVEIRA, 2005)

A rede WiMAX suporta as seguintes topologias: Ponto-a-Ponto, Ponto-Multiponto e *Mesh* (Malha), também é possível utilizar uma arquitetura híbrida que consiste em utilizar uma ou mais topologias.

Na arquitetura ponto a ponto serão utilizadas duas antenas de rádio onde estarão interligando dois pontos atendendo isoladamente a um único usuário interligado, por exemplo, a matriz e a filial de uma empresa, como também para servir uma solução de última milha para atender um usuário a partir de um Ponto de Presença de uma rede multiserviços. Na arquitetura ponto-multiponto, a rede implantada permitirá que a rede alcance vários assinantes, limitando o número de roteadores, switches e outros equipamentos que são necessários para o funcionamento de uma rede cabeada. Vários usuários são atendidos simultaneamente a partir de um ponto base que é posicionado estrategicamente. (OLIVEIRA, 2005),

As duas topologias são representadas na figura 14:

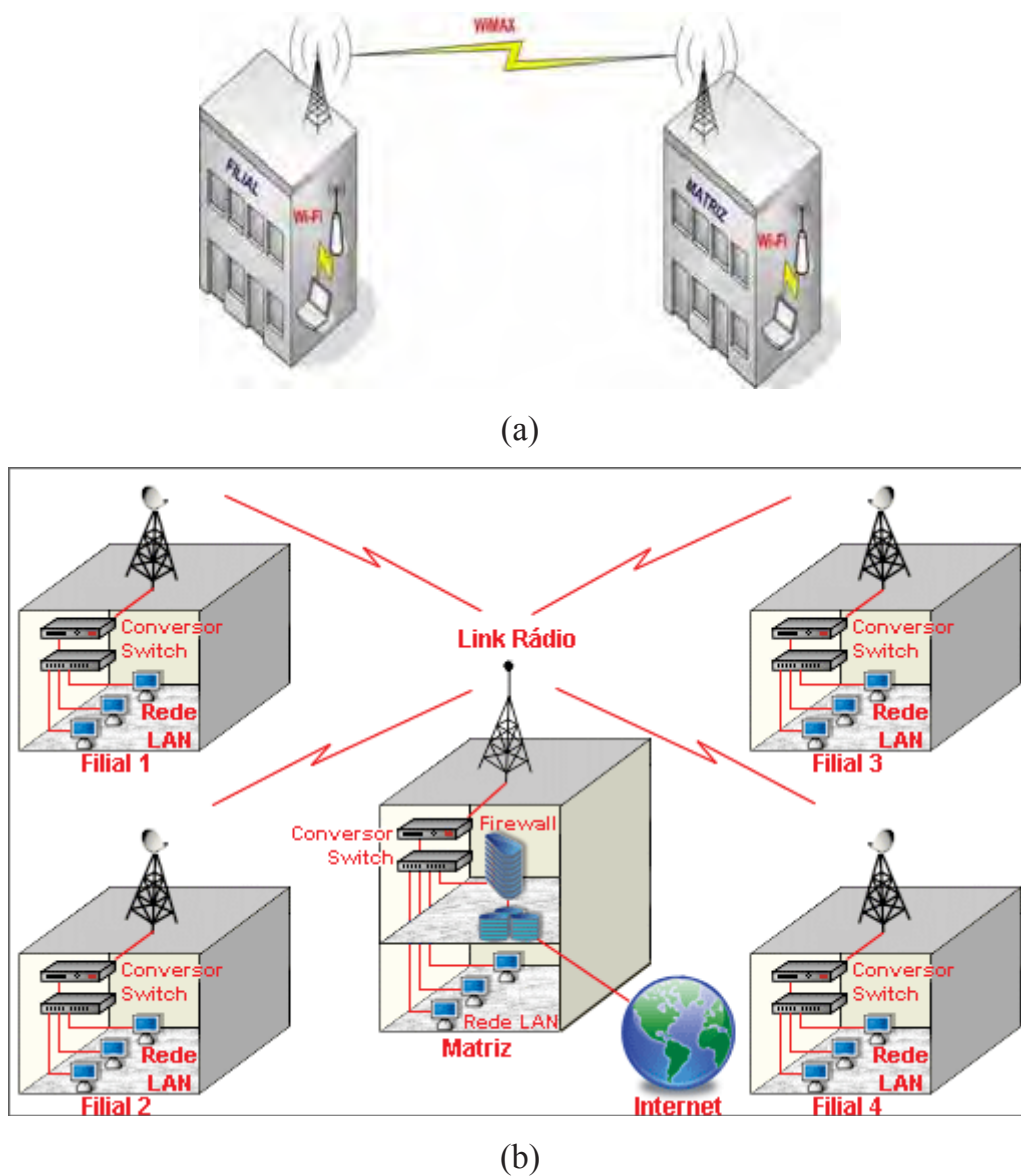


Figura 14 - Topologia Ponto-a-Ponto (a) e Ponto-Multiponto (b) (REDENEXO, 2011)

A arquitetura mesh é bem parecida com a arquitetura ponto multiponto, mas existe uma diferença entre as duas. A diferença está no modo de operação entre as duas arquiteturas. Enquanto que na tecnologia ponto multiponto o tráfego ocorre entre a estação base e os assinantes e vice-versa, na arquitetura mesh o tráfego pode ser roteado através de assinantes como também pode ocorrer diretamente entre os assinantes, aonde cada assinante funciona como uma estação

ou um “nó” repetidor. Com esta capacidade de comunicação por "nós", se cria uma rede com várias rotas alternativas, evitando assim os pontos de congestionamento, aprimorando ainda mais o desempenho da rede com a adição de novos clientes. A figura 15 apresenta o funcionamento da arquitetura mesh. A arquitetura mesh oferece redundância e maior confiabilidade, mas é a arquitetura mais cara de se construir porque cada nó ou cliente da rede requer um roteador. TEIXEIRA (2006)

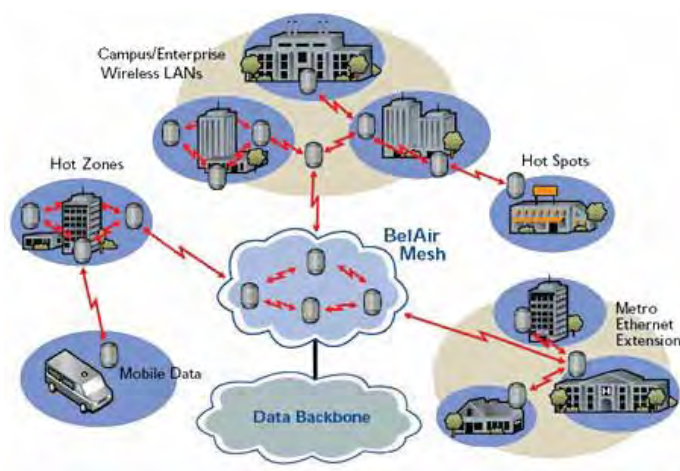


Figura 15 - Arquitetura Mesh (OLIVEIRA, 2005),

## 4.2 Padrões WiMAX

O Padrão 802.16 finalizado em outubro de 2001 após dois anos do início do desenvolvimento da norma pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) e publicado em 8 de abril de 2002, batizado de WiMAX refere-se a uma tecnologia que faz parte do escopo das Redes sem fio Metropolitanas WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*); Inicialmente os estudos se concentraram nas frequências entre 10 GHz a 66 GHz só operando com linha de visada direta ou seja, o receptor precisa ser visível para o transmissor para isso

utilizar-se-iam antenas externas e se comunicando de maneira ponto-a-ponto, como pode ser visto na figura 16 e assim em Dezembro de 2001 o IEEE aprovou a primeira versão do padrão 802.16, o desempenho desejado era de 70 Mbps, proporcionar uma alternativa a redes de acesso cabeadas com uma grande cobertura.

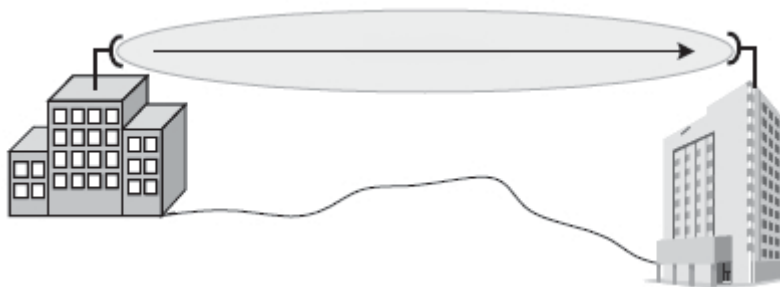


Figura 16- Visada direta entre duas antenas (Teleco, 2011)

A emenda IEEE 802.16a foi ratificada em 2003, projetada para atender frequências mais baixas de 2 a 11 GHz o que possibilitou implementações sem linha de visada (NLOS – *Non Line of Sight*) e suporte a tecnologia PMP (*Point-to-Multipoint* – Ponto-Multiponto), com taxas de até 75 Mbps e um máximo de 50 Km. Neste mesmo ano foram apresentados os padrões: IEEE 802.16b - para frequências de 5 a 6 GHz, que trata de aspectos relacionados a qualidade de serviço (QoS – *Quality of Service*) e IEEE 802.16c – O qual traz em sua especificação interoperabilidade através dos perfis de sistemas na faixa de 10 GHz a 66 GHz e especifica perfis de sistema.

Em 2004 foi com a premissa de substituir os três padrões lançados anteriormente, 802.16, 802.16a e 802.16c, foi criado o padrão 802.16d também chamado de 802.16-2004, WiMAX fixo ou nômade, que consolida todos os padrões em um único apenas, suporta tecnologia MIMO (*Multiple Input, Multiple Output*) que permite a utilização de múltiplas antenas, aumentando a confiabilidade do alcance de sinais, possui um alcance de 8 a 12 km de cobertura NLOS (sem linha de visada) e de 30 a 40 km em cobertura LOS (Visada direta),

com uma taxa de transferência de dados entre 40 a 72 Mbps como mostra a figura 17.



Figura 17 – Padrão 802.16d (BEHROUZ, 2004)

No entanto como o próprio nome “WiMAX Fixo” o padrão 802.16d não atende as necessidades de mobilidade existentes e assim sendo em Dezembro de 2005 o IEEE lançou no mercado o padrão IEEE 802.16e que fora desenvolvido para aplicações móveis; Batizado de WiMAX móvel é uma solução de banda larga sem fio que permite a convergência de redes da banda larga fixas e móveis através de uma tecnologia de rádio acesso de banda larga e grande área este padrão permite mobilidade veicular de até 150 km/h é compatível com a especificação do padrão 802.16, em frequências inferiores a 3,5 GHz oferece concorrência a tecnologia celular com alcance de 2 a 5 km.

Em 2008 uma operadora holandesa estreou a primeira rede de WiMAX móvel disponível comercialmente. O serviço permite navegar em banda larga sem fio mesmo em movimento, como dentro de um carro ou trem de superfície. Inicialmente, o serviço só está disponível no centro de Amsterdã, mas a empresa prestadora afirma que trabalha para oferecer o serviço em toda a Holanda. A

expectativa da operadora é competir com os serviços de banda larga por cabo ou 3G.

A tabela 10 faz uma comparação entre os padrões WiMAX suas principais atualizações: IEEE 802.16, nomádico e móvel, suas principais características e diferenças:

**Tabela 10 - Características dos principais padrões 802.16**

	<b>IEEE 802.16</b>	<b>IEEE 802.16a/d</b>	<b>IEEE 802.16e</b>
<b>Homologação</b>	Dezembro de 2001	802.16a: Janeiro de 2003 802.16d: Junho de 2004	2005
<b>Frequência</b>	10 – 66 GHz	2 – 11 GHz	2 – 6 GHz
<b>Condições do Canal</b>	LOS (Line of Sight)	NLOS (Non Line of Sight)	NLOS (Non Line of Sight)
<b>Taxa de Transmissão</b>	Entre 32 e 134 Mbps (canal de 28 MHz)	Até 75 Mbps (canal de 20 MHz)	Até 15 Mbps (canal de 5 Mhz)
<b>Modulação</b>	QPSK, 16 QAM e 64QAM	OFDM 256, OFDMA 64, QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK	OFDM 256 OFDMA 64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK
<b>Mobilidade</b>	Fixa	Fixa e portátil (nômade)	Mobilidade, roaming regional
<b>Largura de Banda</b>	20, 25 e 28 MHz	Entre 1,5 e 20 MHz, com até 16 sub-canais lógicos	Entre 1,5 e 20 MHz, com até 16 sub-canais lógicos
<b>Raio da Célula</b>	2 – 5 Km	5 – 10 Km Alcance máximo de 50 km dependendo do tamanho da antena, seu ganho e potência de transmissão (entre outros parâmetros)	2 – 5 Km

No início de 2011, o IEEE apresentou o padrão 802.16m ou Wireless MAN-Advanced ou Wimax 2.0, o novo Mobile WiMAX 802.16m substituirá o 802.16e, ou seja é uma evolução do WiMAX móvel e oferecerá velocidades muito maiores de *download* e *upload* podendo ter uma velocidade que chega até 300 Mbps. O modelo será totalmente compatível com o padrão 802.16e.

O IEEE 802.16m chega para brigar de frente com as tecnologias 4G que prometem alta velocidade em rede celular; Depois da finalização e aprovação, o padrão começará a ser usado já no final de 2011 ou no início de 2012, assim permitirá que os fabricantes pré-instalem o padrão 4G que opera na frequência de 20MHz, duas vezes maior que a do atual 802.16e. Com isso os sinais carregarão duas vezes mais tráfego de rede.

A tecnologia que está em desenvolvimento há mais de quatro anos, irá melhorar a segurança para os usuários e ajudará conservar mais energia, *smartphones* e qualquer tipo de computador (inclusive os *tablets*) poderão usar o padrão 802.16m.

A figura 18 demonstra onde o WiMAX esta sendo aplicado atualmente, e onde será aplicado após a chegada do padrão WiMAX 2 no mercado.

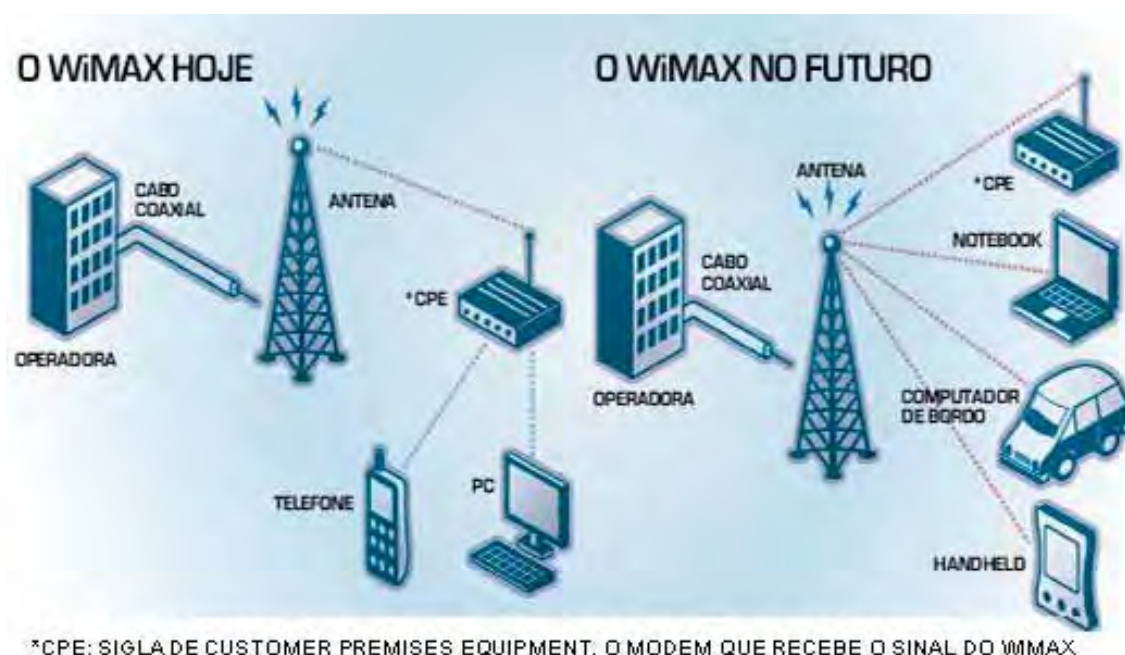


Figura 18 - Escopo WiMAX 2 (Araujo, 2008)

### 4.3 Freqüências Utilizadas

As tecnologias sem fio são homologadas para operar em bandas de freqüências licenciadas, isto se deve ao fato das características intrínsecas dos sistemas de comunicação que utilizam rádio freqüência, garantindo assim o uso desses recursos de maneira apropriada, cada país define esta regulamentação, no Brasil o órgão regulador é a ANATEL (Agencia Nacional de Telecomunicações) assim sendo a banda de freqüência regulamentada à um tipo de tecnologia sem fio difere de país para país; Além disso a sobrecarga de solicitações de licença nos órgãos reguladores e a necessidade facilitar o uso de radiofreqüência para aplicações específicas com baixas potências, resultou no surgimento da forma de uso não licenciado do espectro, é neste cenário que o WiMAX se encontra, com uso licenciado e não licenciado e diferentes freqüências, como é demonstrado na figura 19 – Freqüências designadas ao WiMAX.

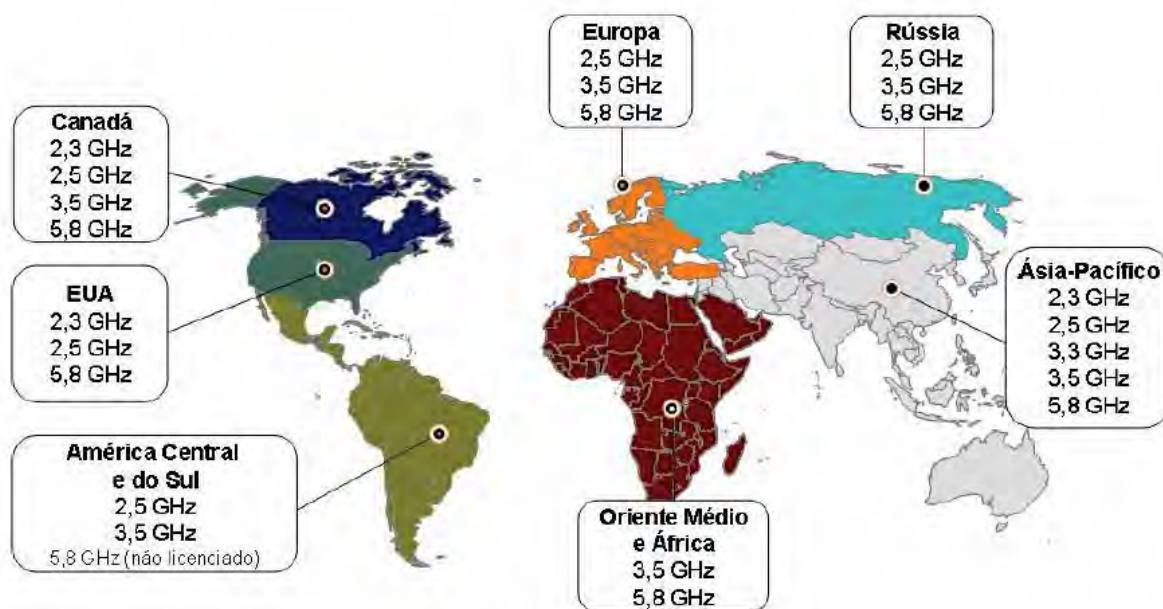


Figura 19 - Freqüências designadas ao WiMAX. (BEHROUZ, 2004)

A seguir será detalhada cada uma destas frequências, qual dos padrões WiMAX é utilizado em determinada faixa, suas características e definições. Contudo é ressaltar a vantagem do uso das faixas de frequência entre 2 e 11 GHz sobre as outras frequências que é o uso do WiMAX sem que seja necessário visada direta ou seja estas frequências atuam em condições de ausência de visada direta (NLOS) o que torna a transmissão mais viável em ambientes urbanos.

#### 4.3.1 Faixa de frequência 2,5 GHz

Conhecida como banda BRS (*Broad Band Radio Services*) é uma frequência licenciada, sendo a melhor frequência para o WiMAX, por se tratar de uma frequência baixa obtêm-se melhores alcances conseqüentemente exige um menor número de ERB (Estação Rádio Base) para cobrir uma determinada área, esta frequência tem sido homologada junto a tecnologia WiMAX nos Estados Unidos, Canadá, México e Brasil, permite serviços fixos e móveis; Hoje em poder das empresas de MMDS (Serviço de Distribuição de Sinais Multiponto Multicanais) possui um alcance com Linha de Visada (LOS) entre 18 e 20 km e alcance sem Linha de Visada (NLOS) entre 9 e 10 km, sendo estabelecida pela resolução Nº429 da ANATEL de 13/02/2006, determinando a largura de banda de 110 MHz e potência de transmissão de 100W (50dbm). A figura 20 demonstra a alocação da faixa 2,5 GHz conforme a resolução Nº429, onde a faixa de MMDS é atendida pelo WiMAX.



Figura 20 - Alocação macro da faixa de frequências de 2,5GHz (TELECO, 2011)

#### 4.3.2 Faixa de frequência 3,5 GHz

Destinada para Serviços de banda larga sem fio, esta frequência figura como sendo a primeira a ser alocada com este intuito em grande parte dos países do mundo, exceto nos Estados Unidos onde é utilizada pelo Governo Federal, permite apenas acessos fixos e nômades o que não inclui o móvel, ou seja, o padrão 802.16e e 802.16m, assim como a frequência 2,5 GHz é uma frequência licenciada, possui um alcance com Linha de Visada (LOS) entre 12 e 14 km e alcance sem Linha de Visada (NLOS) entre 6 e 7 km.

No Brasil a frequência de 3,5GHz vem gerando muita polêmica desde 2002 quando a Anatel fez uma licitação para uso do WiMAX nesta faixa, como a tecnologia ainda não era difundida a procura foi pequena, apenas algumas empresas como Embratel e Oi adquiriram lotes de frequência, o grande problema alegado principalmente por emissoras de TV é que no momento em que ANATEL abrir licitações e permitir o uso das frequências de 3,4 à 3,6 GHz para oferta de banda larga e telefonia fixa e celular pela tecnologia de transmissão sem fio WiMAX, pode provocar um apagão de 22 milhões de antenas parabólicas residenciais espalhadas pelo país, o motivo é simples as parabólicas usam a faixa de frequência próximas, entre 3,62 a 3,8 GHz e como foi constatado por grandes emissoras no mercado, existe interferência na recepção dos canais de TV pelas parabólicas assim como em suas afiliadas e retransmissoras.

A Resolução Nº416 de 14/10/2005 da Anatel determina a largura de banda de 49 MHz e potência de transmissão limitada em 2 W (33dBm), o que não ocasionava grandes interferências, porém a Anatel colocou a minuta do edital da nova licitação em consulta pública o uso de antenas WiMAX de 32 watts (45dBm), que cobririam uma cidade média. Em 2005, a agência anunciou licitação para venda, que foi suspensa, no ano seguinte houve nova licitação, revogada pelo TCU (Tribunal de Contas da União). Atualmente em 2011 o edital proposto pela Anatel prevê leilão de 565 lotes de frequência, os vencedores teriam 24 meses para implantar o serviço nas cidades com mais de 100 mil habitantes e 60 meses para atender municípios entre 30 mil e 100 mil habitantes,

a Anatel está realizando novos testes para assim poder dar prosseguimento as licitações.

#### 4.3.3 - Faixa de frequência 5,8 GHz

Esta frequência se tornou uma das mais importantes e atrativas dentre todas, pois pode ser usada livremente, ou seja, é uma frequência não licenciada pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) e não exige gastos com aquisições de licenças de uso pelas operadoras, devido a isto é classificado como um pré-WiMAX, é uma opção para implantação de serviços de WiMAX em áreas rurais e de baixa densidade populacional pois existe a possibilidade de interferências e congestionamento de frequências em áreas de grande densidade, importante ressaltar que devido a baixa potência de transmissão limitada a 1W conforme a Resolução Nº365 da Anatel de 10/05/2004 esta faixa de frequência permite apenas acessos fixos ou nômades.

Esta frequência é a utilizada no estudo de caso deste trabalho como será demonstrado com detalhes com capítulo 4, possui uma área de cobertura que pode atingir entre 7 a 8 km com linha de visada (LOS) e entre 3 a 4 km sem linha de visada direta (NLOS).

#### 4.3.4 - Faixa de frequência 10,5 GHz

Trata-se de uma faixa de frequência licenciada porém não usual devido a não existirem ainda equipamentos que utilizem esta frequência uma vez que ela permite pequenas distancias de coberturas o que desestimula o mercado a homologar equipamentos nesta faixa de frequência.

A Anatel destinou também a faixa de 10,5 GHz para aplicações de Banda Larga Wireless (BWA) no Brasil (Resolução n. 307, de 14/08/02). Esta faixa pode ser utilizada com sistemas proprietários, pois o WIMAX não está sendo padronizado para esta faixa de frequências.

Esta banda de frequência atua mais como uma alternativa caso esgote as bandas de frequências mais baixas.

#### 4.4 – Camada Física WiMAX

Camada Física refere-se ao meio ou canal de comunicação pelo qual uma determinada tecnologia utiliza para estabelecer conexão e assim transmitir dados e informações. O WiMAX possui quatro camadas físicas que diferem em sua configuração e aplicação se adaptando a cada tipo de versão do padrão, a tabela 11 demonstra as características destas camadas.

Tabela 11- Camadas Física WiMAX

<b>Camada</b>	<b>Frequência de operação</b>	<b>Descrição</b>
<b>WirelessMAN SC</b>	10 - 66 GHz	Definida na especificação original do padrão WiMAX em condições de visada direta (LOS)
<b>WirelessMAN SCa</b>	2 - 11 GHz	Definida nas especificações da versão 802.16a para aplicações ponto-multiponto sem visada direta (NLOS)
<b>WirelessMAN OFDM</b>	2 - 11 GHz	Definida nas especificações da Versão 802.16d para acessos fixos e nômades nas condições de LOS e NLOS
<b>WirelessMAN OFDMA</b>	2 - 11 GHz	Definida nas especificações da versão 802.16e para acessos portáteis e móveis nas condições de LOS e NLOS

O padrão WiMAX utiliza a técnica OFDM (Multiplicação Ortogonal por Divisão de Frequências) na modulação do sinal, esta técnica de modulação é baseada na transmissão simultânea de varias portadoras, chamadas de subportadoras, ou seja existe a transmissão paralela de dados em diversas subportadoras com modulação, essa técnica vêm sendo particularmente considerada em transmissões digitais, radiodifusão e redes sem fio.

Patenteada nos Estados Unidos em 1996 pelo Bell Labs, seu primeiro uso em comunicações móveis foi datada em 1985, porém só veio a ser considerada

com destaque em 1997 quando a ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) adotou a técnica OFDM no seu padrão de Televisão Digital DVB-T (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial*) e em 1999 o IEEE incluiu o OFDM na camada física do padrão IEEE 802.11g.

Num sistema convencional de transmissão, os sinais são enviados em seqüência através de uma única portadora, cujo espectro ocupa toda a faixa de freqüência disponível. A técnica OFDM os sinais de informações são transmitidos em um conjunto de canais modulados por subportadoras de banda estreita ortogonais entre si.

Num sistema OFDM o espaçamento entre subportadoras é cuidadosamente selecionado de forma que cada subportadora seja locada em pontos de cruzamentos de zero do espectro das demais, conforme é ilustrado na figura 21 (PINTO, 2005).

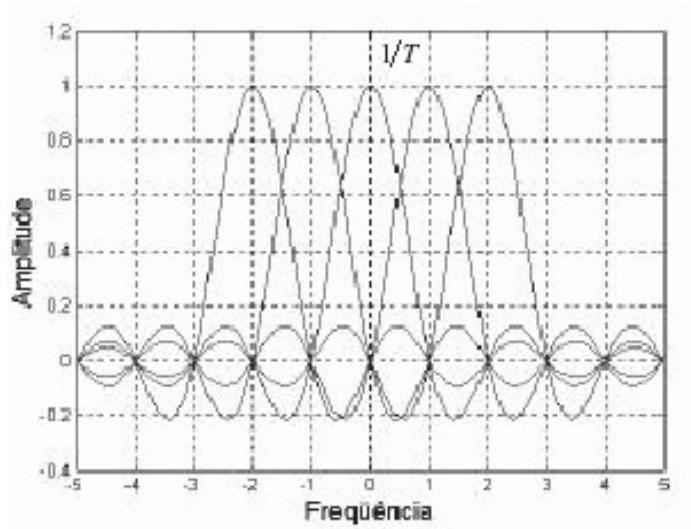


Figura 21- Subportadoras de um sinal OFDM. Fonte:PINTO (2005)

Embora exista sobreposição espectral de subportadoras moduladas, a informação conduzida por cada uma delas poderá ser isolada das demais através de um correlator ou filtro casado adequado.

Admitindo sincronização de relógio, a saída deste correlator corresponderá à projeção do sinal OFDM recebido sobre as subportadoras a ele associada. É possível mostrar que tal projeção depende apenas da informação conduzida por esta subportadora. Assim existe ortogonalidade entre as subportadoras, a qual se deve ao espaçamento de frequência empregado. Então para que se tenha ortogonalidade entre os subcanais na recepção, é necessário que as subportadoras estejam centradas nas respectivas frequências dos subcanais OFDM, além de se ter à devida sincronização de relógio.

Cabe notar que esta sobreposição espectral particular produz uma economia significativa de banda relativamente quando se compara à técnica tradicional FDM, que é mostrada na figura 22 (PINTO, 2005).

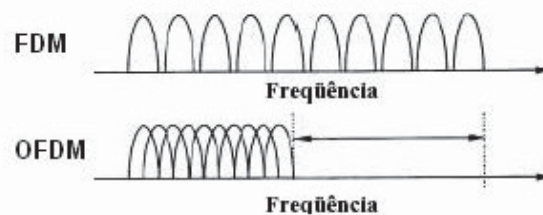


Figura 22 - Espectros FDM e OFDM. Fonte: PINTO (2005)

Em princípio a geração direta e a demodulação do sinal OFDM requerem conjuntos de osciladores coerentes para que ocorra o processo; Embora a técnica OFDM é conhecida pelo termo de multiplexação, deve-se ter em mente que não ocorre multiplexação, mas sim a transmissão paralela de uma seqüência de bits originalmente única (PINTO, 2005).

O WiMAX opera através de uma modulação adaptativa em conjunto com a modulação OFDM, em suma o WiMAX pode ajustar a técnica de modulação conforme a necessidade dependendo Sinal pelo Ruído (SNR) com a condição de

qualidade do link. Assim temos que quanto maior à distância em relação estação base menor será a intensidade do sinal e isso faz com que a relação Sinal/Ruído também diminua, partindo deste cenário a modulação adaptativa possui três esquemas de modulação diferentes, dependendo da distancia que a estação do assinante se encontra em relação a estação base, como pode ser observado na figura 23.

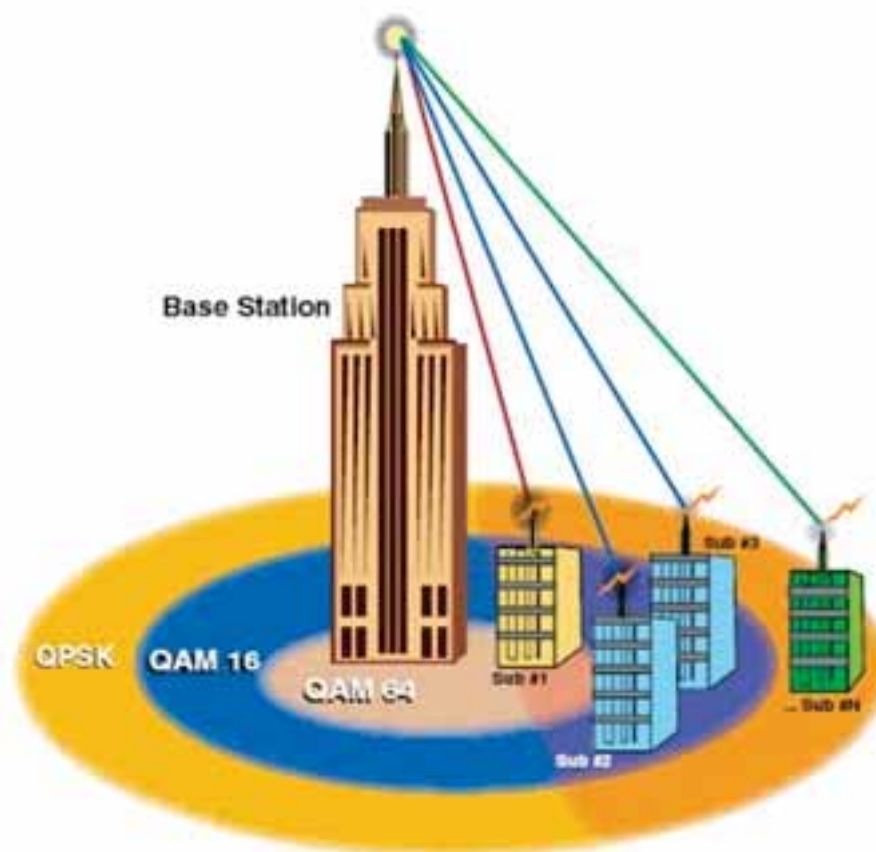


Figura 23 - Modulação adaptativa WiMAX (TELECO, 2011)

A modulação é ajustada dependendo da condição do enlace, assim para usuários próximos que possuem qualidade alta é usado o esquema de modulação mais elevado que nesse caso é o 64 QAM, a medida que se distância ocorre atenuação no sinal do enlace, afim de manter a qualidade de conexão e estabilidade o padrão altera o esquema de modulação, como pode ser visto na

figura 21 para distancias médias é utilizada a modulação 16 QAM e para longas distancias é utilizado o QPSK.

A modulação PSK (*Phase Shift Keying*) consiste no chaveamento da onda portadora, é uma técnica que permite uma grande área de cobertura, porém a qualidade do serviço oferecido aos usuários mais próximos da ERB é menor do que nas outras técnicas de modulação.

A modulação QPSK é uma técnica de modulação derivada do PSK, porém neste caso, são utilizados parâmetros de fase e quadratura da onda portadora para modular o sinal de informação. Como agora são utilizados dois parâmetros, existem mais tipos possíveis de símbolos nesta constelação, o que permite que sejam transmitidos mais bits por símbolo. Por exemplo, se quisermos transmitir 2 bits por símbolo, ao invés de 1 bit por símbolo como no caso PSK acima, neste caso, como teremos 4 tipos de símbolos possíveis, a portadora pode assumir 4 valores de fase diferentes, cada um deles correspondendo a um dabit, como por exemplo  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$  e  $315^\circ$ . A figura 24 ilustra em um diagrama de fase e quadratura (IQ) os 4 possíveis símbolos gerados pela modulação QPSK usando 2 bits por símbolo. (MIYOSHI, 2002)

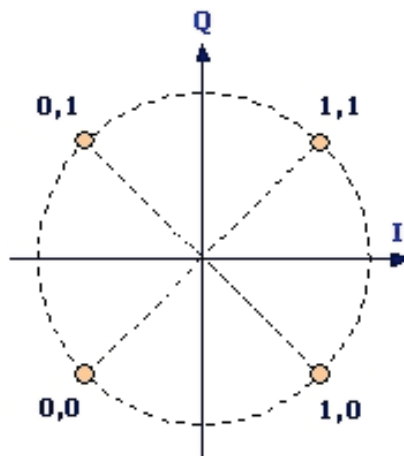


Figura 24 - Modulação QPSK (PINTO, 2005)

QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) Nesta forma de modulação, os símbolos são mapeados em um diagrama de fase e quadratura, sendo que cada

símbolo apresenta uma distância específica da origem do diagrama que representa a sua amplitude, diferentemente da modulação PSK, na qual todos os símbolos estão a igual distância da origem. Isto significa que as informações são inseridas nos parâmetros de amplitude e fase da onda portadora.

No caso do 16 QAM, a constelação apresenta 16 símbolos, sendo 4 em cada quadrante do diagrama, o que significa que cada símbolo representa 4 bits. Podemos ter também, por exemplo, o modo 64 QAM, cuja constelação apresenta 64 símbolos, cada um deles representando 6 bits. A figura 25 mostra as constelações geradas pelos dois modos QAM mencionados acima:

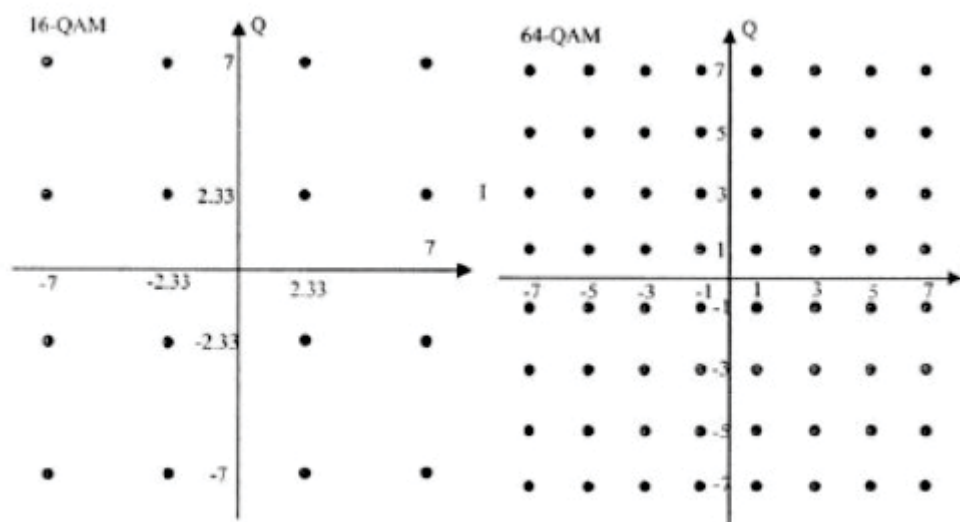


Figura 25 - Modulação QAM (PINTO, 2005)

Pode-se notar que no modo 16 QAM alcança-se uma taxa de transmissão menor do que no modo 64 QAM, uma vez que cada símbolo transporta um número menor de bits. No entanto, no modo 16 QAM, a distância euclidiana entre os símbolos é maior do que no caso do modo 64 QAM. Isto permite que o modo 16 QAM possibilite uma melhor qualidade de serviço (QoS), pois a maior distância entre os símbolos dificulta erros de interpretação no receptor quando este detecta um símbolo. (MIYOSHI, 2002).

Os equipamentos que utilizam modulação 16 QAM ou 64 QAM não cobrem as distâncias conseguidas pela modulação QPSK, principalmente o 64QAM, porém a qualidade de sinal é superior para esse tipo de modulação.

A multiplexação do sinal devido a arquitetura ponto-a-multiponto determina que a estação base transmita um sinal TDM (*Time Division Multiplexing*), com cada assinante alocado a um determinado *slot* de tempo já o acesso dos assinantes a estação base é por TDMA (*Time Division Multiple Access*), a diferença entre estes dois tipos de multiplexação está na medida em que para TDM um *slot* de tempo será sempre dedicado a um determinado usuário mesmo que não estiver usando, enquanto para TDMA depois que o usuário termina o acesso o *slot* é liberado e pode ser alocado para outro acesso, estes *slots* são atribuídos dinamicamente e o usuário pode obter um diferente a cada acesso a rede.

O WiMAX possui suporte para dois tipos de duplexação: TDD (*Time Division Duplexing*) onde o *uplink* e *downlink* compartilham um canal mas não transmitem simultaneamente e FDD (*Frequency Division Duplexing*) caracterizado pelo *uplink* e *downlink* serem operados em canais separados, algumas vezes simultâneos, a figura 26 representa um esquemático do funcionamento destes mecanismos de duplexação.

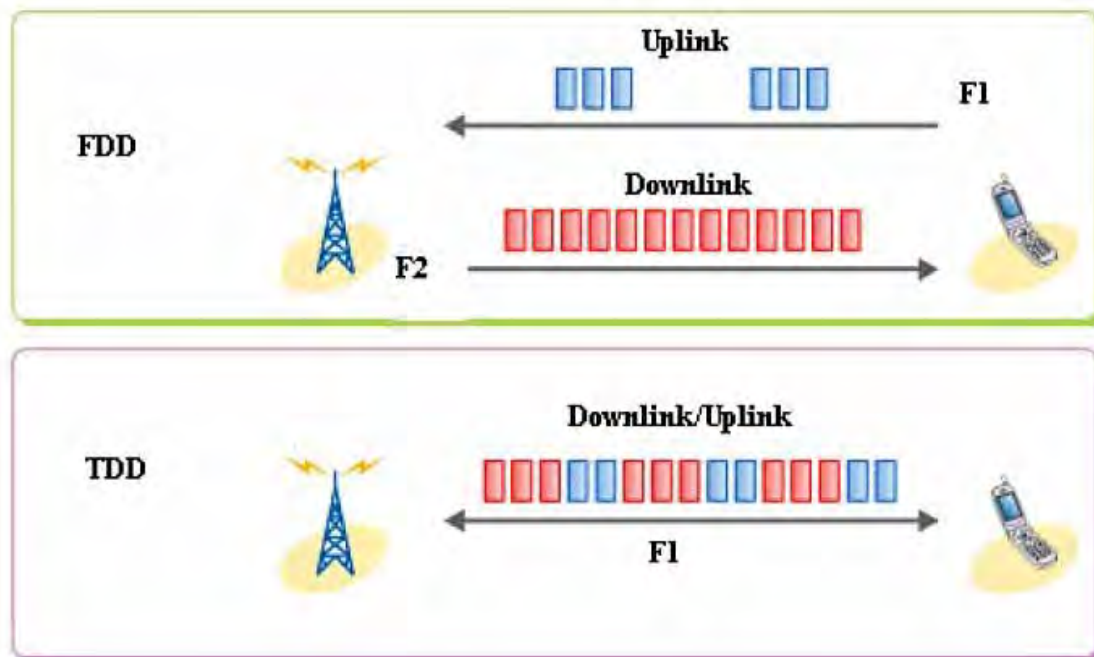


Figura 26 - Duplexação FDD e TDD (MIYOSHI, 2002)

A interoperabilidade da tecnologia é garantida com os sistemas sem fio através destas características sendo que, a técnica de TDD tem vantagens assinaláveis na implementação de ligações assimétricas, em que as bandas de uplink e de downlink são diferentes ou podem ser ajustadas dinamicamente. Quando o tráfego de *uplink* aumenta, pode ser alocada mais banda não utilizada pelo *downlink*, e vice-versa, porém opção mais barata se configura na medida em que a transmissão e a recepção não são simultâneas, o que configura a técnica FDD *half-duplex*.

O padrão WiMAX possui uma qualidade de serviço (*QoS-Quality of Service*) que permite a tecnologia ter suporte a serviços de áudio e vídeo, assim empresas que utilizam esta tecnologia como serviço de *last Mille* - BWA, podem oferecer serviço *Premium* (dados, áudio e vídeo) garantido qualidade do serviço prestado, porém o estudo do QoS não é o objetivo deste trabalho pois seria necessário detalhamento da camada MAC.

## 5 ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso trata-se de uma solução para redes corporativas efetuado pela empresa Brasileira MTEL especializada em projetos diferenciados de transmissão de banda larga via radiofrequência – WiMAX; O caso de estudo será a ERB ESVTA01(Estação de Rádio Base, ES – Espírito Santo – VTA Vitoria, 01 pois é a primeira) que integra a Rede do projeto BWA, como é chamado a solução proposta pela empresa; Esta ERB possui seis rádios sendo 3 Ponto-a-Ponto e 3 Ponto-Multiponto e são baseados no padrão IEEE 802.16a WiMAX, no entanto existe uma definição por parte da empresa de considerar como um Pré-WiMAX pois todos estes rádios atuam em uma faixa de frequência não licenciada entre 5,4 GHz à 5,8 A ERB ESVTA01 se localiza na cidade de Vitória – ES.

### 5.1 – Projeto BWA

O Projeto BWA foi proposto com a finalidade de integrar redes corporativas, sendo uma alternativa para linhas dedicadas muito caras, provendo um enlace quase que instantâneo com finalidade de conectar empresas filiais à matriz com um preço inferior a de outra tecnologia utilizada, a exemplo da fibra óptica e garantindo a qualidade de serviço (QoS) que é uma das características da tecnologia WiMAX apresentado no capítulo 3, caracterizando assim um acesso *last Mille* (ultima milha) no caso do acesso Ponto-Multiponto que realiza a ultima conexão da rede ou provendo a conexão *backhaul* no caso do acesso Ponto-a-Ponto, que é uma porção da rede responsável por fazer a ligação entre o núcleo da rede ou como é chamado *backbone* e subredes periféricas, ou seja, uma parte da rede corporativa intermediária.

Neste caso analisado da ERB ESVTA01 existem instalados estas duas aplicações sendo constituído por 3 rádios Ponto-a-Ponto que provem a conexão *backhaul* interligando o *backbone* da ViVo à ERB ESVTA01 onde são utilizadas

dois tipos de tecnologias diferentes, o AIRMUX 200 do fabricante RADWIN e o BreezeNET B do Fabricante ALVARION e possui 3 rádios Ponto-Multiponto que configuram o acesso *last Mille* da ERB ESVTA01 aos clientes em três regiões: Penha, Bento Ferreira e Enseada. Estes rádios possuem outra tecnologia a BreezeACCESS VL do fabricante ALVARION para acesso Ponto-Multiponto; Todas estas tecnologias serão detalhadas na secção 5.2, a topologia da ERB ESVTA01 pode ser observada na figura 25.

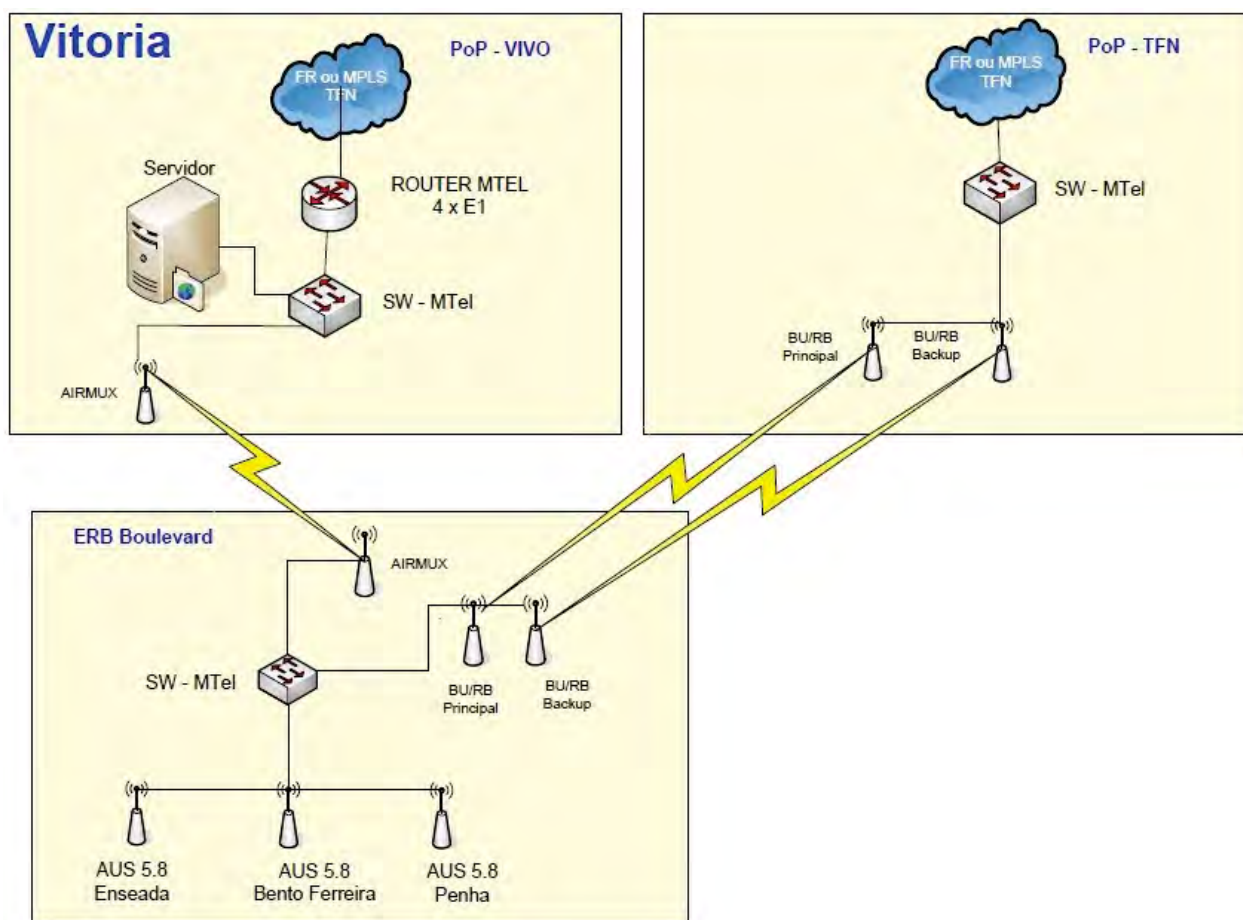


Figura 27 - Topologia simplificada ERB ESVTA01 (Mtel, 2011)

A figura 25 mostra a topologia simplificada dos rádios que estão instalados na ERB ESVTA01 a qual é representada pelo nome de ERB Boulevard isto porque esta ERB foi montada no topo do Edifício Boulevard situado na cidade de Vitória-ES, é possível notar dois *backbone* que atendem a ERB que estão demonstrados pela nuvem azul sendo um backbone da ViVo e outro da

Telefonica (TFN) ambos são atendidos por fibra óptica, ainda é possível notar uma redundância (backup) no rádio *backhaul* que vem da Telefonica isto se deve ao fato da empresa que contratou o serviço necessitar de uma elevada SLA (*Service level agreement*) que nada mais é do que um contrato entre fornecedor de serviços e o cliente para prestação de serviço sem interrupção ou problemas, neste caso a redundância do rádio garante um SLA de 99,9%.

A figura 26 demonstra a localização dos *backbones* e também dos setores de cobertura dos rádios Ponto-Multiponto:

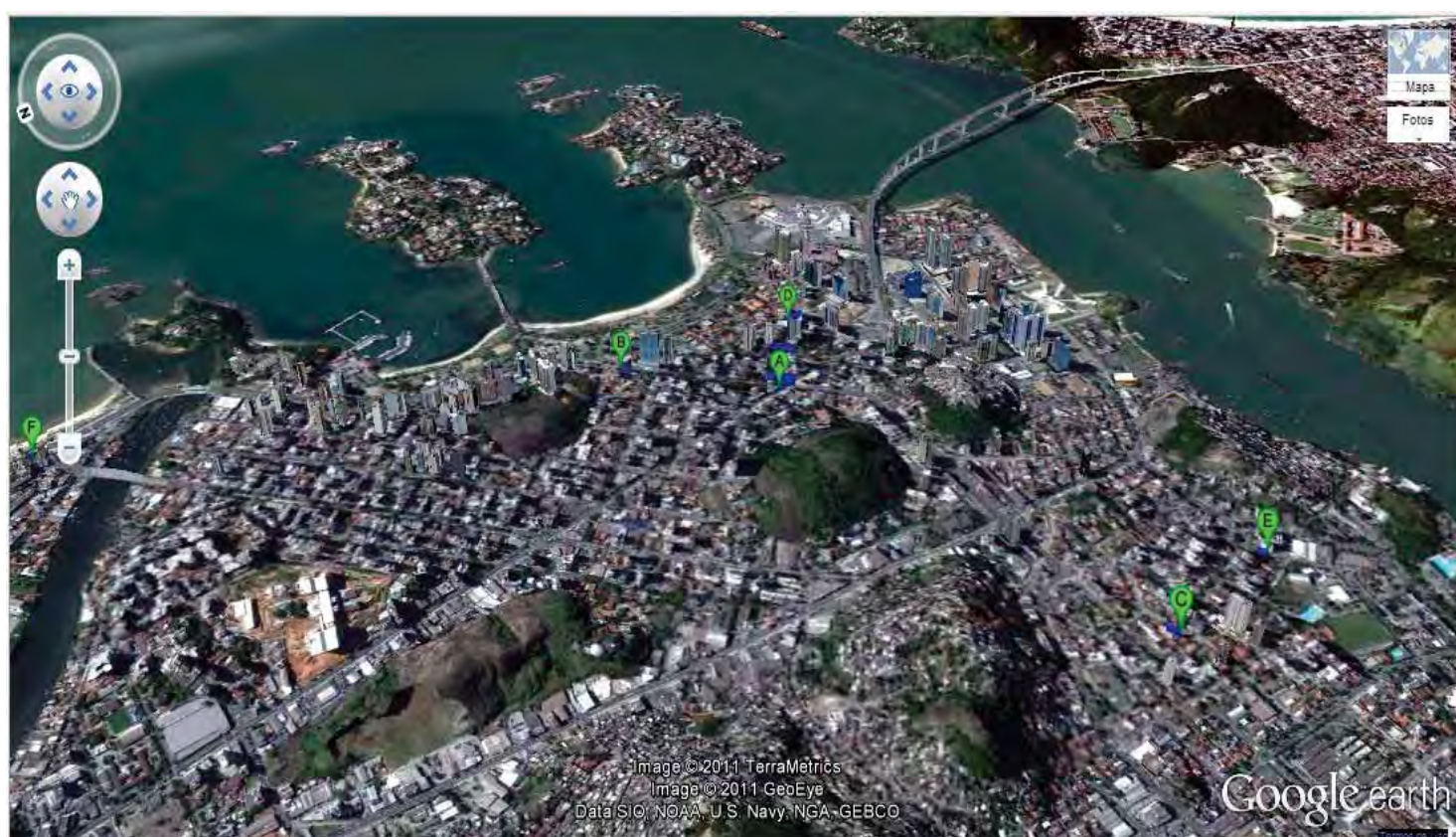


Figura 28- – Localização real backbones e setores (Google earth, 2011)

Na figura 26 temos a seguinte configuração, o ponto central é a ERB Boulevard que é representada pelo ponto A. O *backbone* da Vivo representado pelo ponto B, que se localiza a uma distância de aproximadamente 600 metros da nossa ERB (A), e o *backbone* da Telefônica é representado pelo ponto C sendo uma distância aproximadamente de 1,5 km da ERB (A) a sua redundância se

localiza no mesmo lugar; Os Pontos D, E, F, representam setores de cobertura dos rádios Ponto-Multiponto. Sendo respectivamente as regiões: Enseada, Bento Ferreira e Penha, todas localizadas na cidade de Vitória- ES, o seu alcance pode ser de até 30km com visada direta. A seguir será detalhado os aspectos da camada física de cada tecnologia utilizada para estes rádios.

## 5.2 Tecnologias utilizadas

A seguir será apresentado as características dos rádios: AIRMUX 200 e BreezeNET B e BreezeACCESS VL, todos utilizados no enlace do estudo de caso.

### 5.2.1 AIRMUX 200

O AIRMUX 200 foi utilizado para o enlace Ponto-a-Ponto entre o backhaul da Telefonica e a ERB Boulevard como foi mostrado na figura 25, fabricado pela empresa RADWIN consiste de uma Unidade Externa (ODU) e uma Unidade Interna (IDU), O AIRMUX 200 suporta configuração de antenas externas. Nesta configuração, a unidade externa é conecta através de cabo coaxial. Uma antena externa pode ampliar o alcance do Enlace, e em alguns casos, pode ajudar a reduzir interferências ambientais. Várias antenas externas são disponíveis para as frequências de operação do AirMux-200. Uma antena externa de painel plano opcional de 28dBi aumenta o alcance de operação do AirMux-200 até 80 km (50 milhas), está representado na figura 27.



Figura 29 - Unidade indoor IDU e unidade outdoor ODU e antena integrada (RADWIN, 2011)

Esta solução apresenta as principais características:

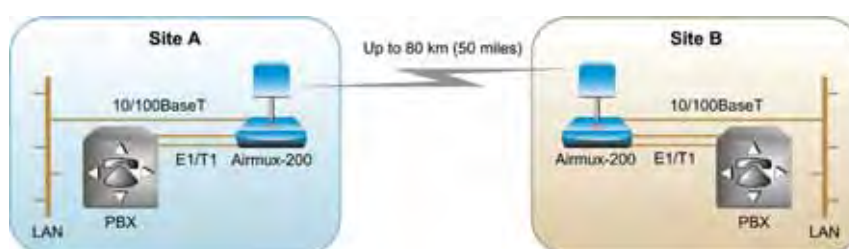
- Radio e multiplexador wireless ponto-a-ponto com interface E1 e ethernet;
- Operação na faixa de frequência livre 5.725 a 5.850;
- Tecnologia do rádio: TDD (Time Division Duplex);
- Suporte a gerenciamento SNMP (*Simple Network Management Protocol* - Protocolo Simples de Gerência de Rede) é um protocolo de gerência típica de redes da camada de aplicação, que facilita o intercâmbio de informação entre os dispositivos de rede, como placas e comutadores (*switches*). O SNMP possibilita aos administradores de rede gerenciar o desempenho da rede, encontrar e resolver seus eventuais problemas, e fornecer informações para o planejamento de sua expansão, dentre outras;
- *Throughput* aéreo de 48 Mbps;
- Inclui acessório para instalação da antena em mastro ou parede;
- Não necessita de visada total "NLOS";
- Fácil instalação, configuração e gerenciamento.

Note que por ser TDD – *Full Duplex* uma mesma antena envia e recebe os dados, isto representa uma das principais diferenças entre as outras tecnologias;

As características da interface aérea são:

- Operação na faixa de frequência livre 5.725 a 5.850;
- Modulação OFDM-BPSK, QPSK, 16QAM ou 64QAM;
- Largura de banda do canal: 10 ou 20 MHz;
- Resolução de canal 5 MHz;
- Polarização linear vertical ou horizontal.

A figura 28 representa o enlace Ponto-a-Ponto AIRMUX 200 utilizado neste caso



**Figura 30 - Enlace Ponto-a-Ponto AIRMUX 200 (RADWIN, 2011)**

A antena acompanha o equipamento rádio, com ganho de acordo com o alcance da aplicação. Todos acessórios necessários a montagem e fixação da antena em mastro ou em parede são fornecidos, será detalhado na secção 5.3.

O AIRMUX 200 tem capacidade plena de gerenciamento local e remoto com as seguintes características:

- Baseado em SNMP;
- Aplicativo amigável para plataforma Windows;
- Gerenciamento do enlace com um único endereço IP;
- Monitoração on-line da interface aérea, E1/T1 e ethernet;

- Ferramenta para diagnóstico do link E1 local e remoto;
- Upgrade de software pela interface aérea;
- Suporta TRAPs e alarmes.

O sistema vem pronto da fábrica para instalação, com isso não existe a necessidade de configurações pré-instalação, o alinhamento e sincronização do enlace é feita sem necessidade de ferramentas externas, sendo o alinhamento da antena e baseado em um sinal audível e/ou pelo acompanhamento do nível de sinal mostrado pelo software de configuração e gerenciamento do equipamento; Depois de alinhada a antena utiliza-se o software de configuração e gerenciamento para configurar os parâmetros específicos do enlace.

Como é baseado no padrão 802.16a que possui modulação adaptativa como explicado no capítulo anterior assim o AIRMUX 200 adaptativamente muda a modulação de acordo com as condições do ar, visando taxa máxima, mantendo a estabilidade do link, se a taxa cai temporariamente depois de encontrar interferência então retorna automaticamente para taxa mais alta possível.

A taxa de transferência de dados também varia com a distância e o tipo de antena se é uma antena integrada ou externa de acordo como mostra a tabela 12

**Tabela 12 - Taxa x Distância**

<b>Modulação Adaptativa</b>	<b>Taxa Nominal da Interface Aérea</b>	<b>Alcance Máximo com antena integrada (22dBi)</b>	<b>Alcance Máximo com Antena Externa (22dBi)</b>
<b>BPSK</b>	12 Mbps	41Km	80 Km
<b>QPSK</b>	18 Mbps	25 Km	80 Km
<b>16 QAM</b>	36 Mbps	10 Km	32 Km
<b>64 QAM</b>	48 Mbps	4 Km	14 Km

Estas foram as características gerais desta tecnologia, sendo que as particularidades do rádio deste estudo de caso será abordado na secção 5.3, a próxima tecnologia abordada será também para o tipo Ponto-a-Ponto no entanto como é de um outro fabricante apresenta características diferentes.

### 5.2.2 BreezeNET B

O fabricante Alvarion é responsável pelo desenvolvimento da tecnologia BreezeNET B, sendo uma família de soluções WiMAX ponto-a-ponto que opera na banda de frequência não licenciada de 5,4 a 5,8 GHz , tendo como reconhecimento da necessidade de fornecer uma solução viável e de boa relação custo benefício para ambientes urbanos densos e industriais onde uma linha de visada limpa para aplicações ponto-a-ponto não está sempre disponível.

O BreezeNET B aproveita ao máximo tanto as tecnologias externas robustas como a modulação OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) no mesmo produto. Com recursos, como por exemplo, correção de erro FEC (Forward Error Correction) utilizados para enfrentar os ambientes com reflexões e ruídos, o produto opera de maneira instantânea e eficiente em ambientes sem linha de visada (NLOS - Non-Line-Of-Sight) com bom throughput. O sistema também apresenta a modulação adaptável para a seleção automática de modulação para maximizar a taxa de dados e aprimorar a eficiência espectral. Essas vantagens inerentes do BreezeNET B permitem que o provedor de serviços conectem uma solução PTP (ponto-a-ponto) eficaz para uma porcentagem significativamente maior de sua base de assinantes que, caso contrário, seria inacessível em decorrência das restrições impostas pela linha de visada (*LOS - Line-Of-Sight*). A figura 30 mostra o equipamento da solução BreezeNET B da Alvarion.



**Figura 31 - BU/RB BreezeNET B (Alvarion, 2011)**

As características gerais desta tecnologia de rádio são:

- Enlace ponto a ponto sem fio de alta capacidade Alcançando velocidades de até 108 Mbps
- Conexão Ethernet bridge e backhauling na faixa de 5 GHz  
Tecnologia OFDM
- Rádio exterior com alcance estendido
- Desempenho robusto em ambientes sem linha de visada (NLOS)  
Opera em bandas de frequências não licenciadas
- Implementação simples com modulação adaptativa e controle automático de potência de transmissão (ATPC), gerenciamento e manutenção;
- Qualidade de Serviço (QoS) para dados, voz e vídeo (priorização de link wireless);

Os Componentes do Sistema BreezeNET B são:

- Unidade Base (*BU - Base Unit*): A BU é instalada em uma extremidade do enlace PTP e se conecta a um servidor central ou à Internet. A BU é composta de duas partes, uma unidade interna (IDU) sendo esta de formato retangular como mostrado na figura 30 e uma unidade externa (ODU) universal de formato triangular. Combinando o rádio e o modem na unidade externa, a unidade externa está disponível com ou sem antena integrada (em cujo caso, uma antena externa pode ser utilizada).
- Conexão em Ponte Remota (*RB - Remote Bridge*): A RB é colocada na extremidade remota do enlace PTP, conectando o usuário final à BU localizada centralmente. Também é composta de duas partes, uma unidade interna universal idêntica, como a utilizada na BU, e uma unidade externa que também está disponível com ou sem antena integrada. Para a eficiência logística, cada unidade é enviada como uma BU e é alterável por software para se tornar uma RB.

A Figura 31 demonstra a aplicação do rádio BreezeNET B destacando as unidades BU e RB.



Figura 32 - Aplicação BU/RB BreezeNET B (Alvarion, 2011)

A próxima tecnologia é do tipo Ponto-Multiponto e foi aplicada no estudo de caso em três setores que serão detalhados posteriormente.

### 5.2.3 BreezeACCESS VL

O BreezeACCESS VL é uma família de soluções WIMAX ponto-multiponto, sendo uma solução de fornecimento de conectividade de banda larga sem fio ao ar livre para uma variedade de aplicações em implantações urbanas e rurais, disponíveis em uma frequência não licenciada de 5 GHz, é a solução da ALVARION com maior número de instalações por todo o mundo

A tecnologia empregada permite a criação de células e setores que podem variar em alcance e capacidade. O projeto pode conter um determinado número de células que por sua vez pode conter diversas unidades de acesso (AU) viabilizando a cobertura de áreas densamente povoadas.

Os equipamentos utilizados implementam mecanismos de criptografia avançada (*AES, do inglês Advanced Encryption System*) de forma a garantir a segurança das comunicações.

Existe ainda a possibilidade de configuração de priorização de tráfego baseado em IP ou diretamente nos enlaces sem fio utilizando os mecanismos de qualidade de serviço (*QoS, do inglês Quality of Service*) e de priorização de enlaces sem fio (*WLP, Wireless Link Priorization*).

Os produtos da linha BreezeAccess VL operam em banda não licenciada em modo TDM/TDMA, utilizando o esquema de modulação OFDM e codificação que utiliza correção de erros (*FEC, do inglês Forward Error Correction*). Este conjunto de características permite o estabelecimento de enlaces com obstrução parcial e em alguns casos com obstrução total da linha de visada.

A figura 32 representa os equipamentos utilizados na tecnologia linha BreezeAccess VL.



**Figura 33 - AU/SU BreezeNET VL (Alvarion, 2011)**

As principais características desta tecnologia sem fio são:

- Permite priorizar serviços e segmentar banda de acesso;
- Robustez e alto grau de disponibilidade do serviço;
- Solução de acesso para frequência livre a 5.8GHz;
- Atende a diversos clientes com uma única base;
- Baixo nível de investimento em infra-estrutura;
- Permite agrupar até 512 estações remotas;
- Alta capacidade (mais usuários por setor);
- Interface de gerenciamento amigável;
- Possui flexibilidade e modularidade;
- Suporta classes de serviço WiMAX;
- Taxa de acesso a 3, 6 ou 54Mbps;
- Possui alcance de até 30Km-Cálculo com antena setorial 120° dependendo das condições topográficas.

Um sistema de banda larga sem fio BreezeAccess VL é composto dos seguintes componentes:

- Unidade do assinante BreezeAccess VL *Subscriber Unit* (SU): É o equipamento que se encontra instalado no cliente e viabiliza a comunicação com a unidade de acesso (AU). A SU provê ao cliente um método de acesso permanente e transparente onde a entrega da conectividade é feita através de uma porta Ethernet (RJ-45), este está representado na figura 32 sendo de forma triangular.
- A unidade do acesso (AU) é o equipamento responsável pela distribuição do sinal entre os diversos clientes atendidos em cada setor. Cada uma das AU, é capaz de atender a um conjunto limitado de clientes, a região de cobertura de cada uma das AU, será especificada em função do projeto e da antena escolhida para a

região, a AU está demonstrada na figura 32, possuir forma retangular.

- Antenas que definem a área de cobertura de cada um dos setores atendidos pela AU, o sistema BreezeAccess VL possui um conjunto de antenas que pode ser escolhido conforme parâmetros de projeto. Esta seleção é feita em função da área de cobertura desejada para um determinado setor.

A técnica OFDM modulação adaptável com oito esquemas de taxas e alterações estáveis entre as taxas respondendo às condições de enlace, facilitando a robustez do enlace, define a mais alta taxa possível por cliente o controle automático da potência de transmissão (*ATPC - Automatic Transmit Power Control*) – tendo a unidade de acesso que mede e ajusta automaticamente a potência de transmissão da unidade de assinante, tornando a instalação mais fácil e otimizando o desempenho da rede, conferindo a mais alta taxa de transferência de bits dependendo da distancia da unidade do assinante como é demonstrada na figura 34:



Figura 34 - Distância X Taxa de transferência (Alvarion, 2011)

Agora que já foram apresentadas as tecnologias utilizadas, será demonstrada a metodologia de projeto para os rádios do estudo de caso e também os dados obtidos.

### 5.3 Metodologia de projeto para um enlace BWA

O projeto BWA do qual faz parte este estudo de caso possui enlaces tipicamente configurados na velocidade de até 6 Mbps, no entanto a maioria dos casos é de 512Kpbs, tudo depende da licença adquirida pelo cliente junto a empresa MTEL, e a partir do enlace contratado pelo cliente é preciso verificar qual topologia atende os requisitos firmados em contrato, podendo ser Ponto-a-Ponto e Ponto-Multiponto e qual tecnologia de radiofrequência será utilizada das que foram descritas na secção 5.2.

Para fins didáticos e demonstrar devidamente como o rádio enlace do projeto BWA funciona é dado o enfoque na topologia Ponto-a-Ponto onde foi usado a tecnologia BrezeeNET B da empresa Alvarion assim sendo e devido uso da mesma tecnologia de rádio enlace bem como o mesmo fabricante e estudos de viabilidade realizado será feito uma adaptação do Projeto de Diplomação - ANÁLISE E ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA PRÉ-WiMAX BASEADO NO PADRÃO IEEE 802.16a (TONIN, 2009) , onde os dados serão mudados, utilizando os dados do enlace Ponto-a-Ponto entre a ERB ESVTA01 e Ponto de presença (POP) da VIVO deste estudo de caso.

#### 5.3.1 Determinação da frequência de operação da Unidade de Acesso

Um dos aspectos mais importantes da instalação de uma nova unidade de acesso é a determinação da frequência de operação. Como estes equipamentos operam na faixa de frequência não licenciada, estão sujeitos principalmente a interferências de canal adjacente provenientes de outros enlaces estabelecidos na região.

Para este fim, os equipamentos Alvarion disponibilizam um mecanismo de análise de espectro onde é possível estipular um período no qual o rádio da unidade de acesso fica “escutando” a região para construir uma tabela com as frequências que possuem maior incidência de utilização na região.

Apresenta-se abaixo a figura 35 que representa a coleta durante o período de três horas durante a instalação da unidade de acesso. Nesta figura, é possível observar diversas características dos sinais incidentes na antena da unidade de acesso.

As características dos sinais incidentes são:

**Channel:** canal onde o sinal foi observado. Cada um dos canais que podem ser selecionados na AU são listados em uma das linhas da tabela

**Signal:** Estabelece o número de sinais (excluindo quadros OFDM com banda correta) observados no canal.

**Signal SNR (dB):** A relação sinal-ruído média (excluindo a de quadros OFDM com banda correta) observada no canal.

**Signal Max SNR (dB):** A máxima relação sinal-ruído (excluindo a de quadros OFDM com banda correta) observada no canal.

**Signal Width (µs):** A largura média em microsegundos (excluindo quadros OFDM com banda correta) dos sinais observados no canal.

**OFDM Frames:** Estabelece o número de quadros OFDM com banda correta observados no canal.

**OFDM Avg. SNR (dB):** A relação sinal-ruído média dos quadros OFDM com banda correta observados no canal.

**OFDM Max SNR (dB):** A máxima relação sinal-ruído dos quadros OFDM com banda correta observados no canal.

**Noise Floor Avg. (dBm):** Valores de piso de ruído médio observados no canal.

**Noise Floor Max. (dBm):** Valores máximos de piso de ruído.

Através da tabela 13 é possível identificar claramente os canais com menor incidência de sinais passíveis de interferência durante a operação do enlace. O foco neste caso deve seguir as seguintes premissas:

- 1) Baixa contagem de sinais OFDM. Se possível escolher os valores com zero.
- 2) Baixa contagem de sinais, reduzindo assim a possibilidade de interferência.
- 3) Valores reduzidos de piso de ruído, denotando frequências com menor interferência.
- 4) Verificação do plano de atribuição de frequências, evitando frequências adjacentes.

Neste caso, a frequência escolhida é 5.665 GHz, pois apresentou a menor incidência de sinais durante o período analisado e não opera em proximidade com nenhum canal utilizado em setores adjacentes. A frequência 5.555 GHz apresenta também bons resultados, está sendo utilizada em um canal adjacente em outra unidade de acesso instalada no local.

ANÁLISE DE ESPECTRO									
LOCAL PONTA A: AU MORRO POLICIA LESTE 2					ANTENA A: 90°				
DATA: 20/10/09					HORA: 13:45:00				
Ponta A -> Ponta B									
SIGNAL				OFDM				NOISE FLOOR	
Channel	Signal	SNR	MaxSNR	Width	Frames	SNR	MaxSNR	Avg	Max
5495	1401	19	107	0	0	-98	-98	25	0
5500	638	11	0	743	24	-97	-96	26	27
5505	1395	18	64	0	0	-97	-97	24	0
5515	7191	5	0	7	5	-98	-97	11	7
5520	4170	7	0	3080	7	-98	-98	12	12
5525	6936	3	0	0	0	-97	-97	11	0
5535	2620	7	0	0	0	-97	-97	15	0
5540	2436	4	0	1039	14	-97	-97	17	16
5545	1997	7	0	1	9	-96	-96	14	9
5555	1044	3	0	0	0	-96	-96	7	0
5560	2550	9	0	0	0	-96	-96	12	0
5565	3175	10	0	0	0	-96	-96	14	0
5575	9753	13	6	2001	11	-97	-97	26	14
5580	12140	12	4	0	0	-97	-97	27	0
5585	7967	12	6	0	0	-97	-97	26	0
5595	537	13	31	0	0	-97	-97	22	0
5600	1213	7	3	5	2	-97	-97	21	4
5605	593	10	0	0	0	-96	-96	18	0
5615	1222	3	0	0	0	-97	-97	8	0
5620	103	4	0	0	0	-97	-97	7	0
5625	372	3	0	0	0	-97	-97	7	0
5635	10975	6	0	0	0	-98	-98	15	0
5640	6389	8	0	2	4	-97	-97	13	4
5645	7925	8	0	0	0	-98	-98	15	0
5655	5216	4	0	0	0	-99	-99	10	0
5660	3975	3	0	114	5	-99	-99	8	8
5665	1987	3	0	0	0	-99	-99	8	0
5675	481	4	0	0	0	-99	-99	21	0
5680	4899	11	6	0	0	-99	-99	28	0
5685	5889	24	69	0	0	-99	-99	35	0
5695	6470	16	47	0	0	-99	-99	37	0
5700	9951	17	32	866	21	-99	-99	32	32
5705	5366	14	51	0	0	-100	-100	29	0

Figura 35 - Levantamento de frequências para o enlace ERB ESVTA01 x POP VIVO  
(MTEL, 2011)

### 5.3.2 Análise de viabilidade técnica

Através de duas técnicas básicas de análise, é possível determinar se um determinado local pode ou não ser atendido por uma determinada unidade de acesso. A primeira tarefa é a localização do cliente em imagem fotográfica de

satélite para verificação de cobertura. Nesta etapa, utiliza-se a ferramenta Google Earth para o traçado de segmentos e raios que permitem uma estimativa de primeira ordem das distâncias envolvidas e da região de abrangência do sinal.

Através da figura 36, podem ser evidenciados a localização dos pontos, da região de cobertura (determinada pela antena setorial de 90°) e da distância do enlace. As evidências da cobertura são demonstradas através do traçado dos segmentos azuis que delimitam a região de cobertura e do segmento vermelho que apresenta a distância do enlace e o posicionamento do cliente. Os pontos utilizados são coletados através de GPS (*Global Positioning System*) nos locais de instalação das antenas para evitar os efeitos de paralaxe das imagens coletadas pelo Google. A paralaxe é um efeito decorrente do processo de planificação das imagens coletadas por satélite e que frequentemente causa erros de posicionamento na ferramenta *Google Earth*.



Figura 36 - Visualização do enlace ERB ESVTA01 x POP VIVO (Google earth, 2011)

A segunda tarefa é a análise fotográfica da visada da antena da unidade de acesso bem como das fotografias tiradas no local onde se pretende instalar a unidade do assinante. Com isto, é possível estimar de forma rápida as possíveis obstruções as quais o enlace estará submetido.

A figura 37 apresenta a região de apontamento da antena da unidade de acesso utilizada no estudo de caso. É possível observar a área de abrangência da antena setorial da unidade de acesso. A figura 37 mostra o detalhe da região de interesse. Na região salientada, está o prédio Boulevard onde se encontra a ERB ESVTA01 tendo instalada a Unidade básica (BU).



Figura 37 - Visada ERB ESVTA01 x POP VIVO (Mtel, 2011)

### 5.3.3 Potência de transferência de dados

Para se obter a potência de recepção PRx em dBm, ou seja, o nível de sinal que o receptor decodifica; para o provimento de determinada taxa de transmissão de dados que o rádio trabalha em aplicação, são realizados cálculos de propagação em espaço livre considerando às seguintes características do enlace:

- Enlaces de distâncias pequenas – até 10km.
- Frequências acima de 2GHz.
- Regiões em que o relevo tem pouca influência.
- Atmosfera considerada uniforme.

Partindo disto temos a seguinte equação para determinar Pmin:

$$\mathbf{PRx = PTx - AT} \quad \mathbf{(1)}$$

Onde:

PRx= Potência de recepção em dBm;

PTx= Potência de transmissão em dBm, é a potência na saída do transmissor;

AT= Atenuação Total ou perda no percurso:

$$\mathbf{AT = Ae + Af + ACA + ACB - Gtotal [dB]} \quad \mathbf{(2)}$$

Sendo:

Ae= Atenuação do espaço livre (dB) dada pela fórmula abaixo:

$$\mathbf{Ae = 92,4 + 20 \log (f \times d) [dB]} \quad \mathbf{(3)}$$

onde:

- Ae = Atenuação no espaço livre [dB]
- f = frequência em [Ghz]
- d = distância em [Km]

**Af** = atenuação dos filtros RF (dB)

**ACA** = atenuação no cabo de RF da estação A (dB)

**ACB** = atenuação no cabo de RF da estação B (dB)

**Gtotal** = ganhos das antenas de transmissão e recepção (dB), dada pela soma dos dois ganhos:

$$G_{total} = G_A + G_B \text{ [dB]} \quad (4)$$

- $G_A$  = ganho da antena na estação A (dBi).
- $G_B$  = ganho da antena na estação B (dBi)

#### 5.3.4 Cálculos do Enlace

Para este estudo de caso foram obtidos os seguintes dados junto a empresa MTEL, como segue na tabelas 13:

**Tabela 13 - Dados do Enlace ESVTA01 x POP VIVO**

<b>Enlace</b>	<b>ESVTA01 x POP VIVO</b>
<b>Rádio</b>	BreezeNET B
<b>Tipo</b>	Ponto-a-Ponto
<b>Fabricante</b>	Alvarion
<b>Modelo</b>	BU/RB 5.4
<b>Frequência</b>	5.470 - 5.725 GHz
<b>Distância</b>	0,6 km
<b>Ganho Tx</b>	1,2 dBi
<b>Ganho Rx</b>	1,2 dBi
<b>Potência Tx</b>	20 dBm
<b>ACA</b>	1,2 dB
<b>ACB</b>	1,2 dB
<b>Af - filtros RF</b>	3,4 dB

Com os dados obtidos foi possível calcular a potência de recepção do enlace conforme foi demonstrado na secção 5.3.2, os resultados estão demonstrados na tabela 14:

**Tabela 14 - Dados finais calculados do enlace**

<b>Atenuação do espaço livre (Ae)</b>	<b>103,027 dB</b>
<b>Atenuação Total ou perda no percurso (AT):</b>	<b>69,827 dB</b>
<b>Potência de recepção (PRx)</b>	<b>-49,827 dBm</b>

### 5.3.5 Conclusão dos cálculos do enlace

No capítulo 4, foi apresentado uma das características da tecnologia WiMAX que é a modulação adaptativa, conforme a necessidade o tipo de modulação utilizado no enlace do rádio é automaticamente trocado, e isto se deve principalmente a sensibilidade do rádio utilizado, esta sensibilidade trata-se da potência limiar de recepção em dBm, ou seja, é o menor nível de sinal que o receptor consegue decodificar; a tabela 15 nos mostra a taxa de transferência de dados o limiar de recepção para cada modulação adotada:

**Tabela 15 - Modulação adaptativa**

<b>Modulação</b>	<b>Taxa de transferência (Mbps)</b>	<b>Limiar de recepção (Rxmin - dBm)</b>
<b>BPSK 1/2</b>	1.41	-100
<b>BPSK 3/4</b>	2.12	-98
<b>QPSK 1/2</b>	2.82	-97
<b>QPSK 3/4</b>	4.23	-94
<b>QAM 16 1/2</b>	5.64	-91
<b>QAM 16 3/4</b>	8.47	-88
<b>QAM 64 2/3</b>	11.29	-83
<b>QAM 64 3/4</b>	12.71	-82

Sendo assim como temos no enlace uma Potência de recepção (PRx) que foi calculada, podemos concluir como o auxílio da tabela 15 que o enlace possui as seguintes características conforme a tabela 16:

Tabela 16 - Dados conclusivos do enlace

<b>Enlace</b>	<b>ESVTA01 x POP VIVO</b>
<b>Potência de recepção PRx (dBm)</b>	-49,827
<b>Taxa de transferencia de dados (Mbps)</b>	12,71
<b>Modulação</b>	QAM 64 3/4
<b>Limiar de recepção (dBm)</b>	-82,71

### 5.3.6 Disposição das antenas utilizadas

O Padrão WiMAX possui um conjunto de antenas que pode ser escolhido conforme parâmetros de projeto. Esta seleção é feita em função da área de cobertura desejada para um determinado setor. A tabela 16 exibe alguns dos tipos de antenas que foram utilizados neste caso e os principais parâmetros de cada um dos modelos.

Tabela 17 - Antenas Setoriais

<b>Antena</b>	<b>Frequência</b>	<b>Largura de feixe</b>	<b>Elevação</b>	<b>Ganho(dBi)</b>
<b>AU-Ant-5G-16-60</b>	5,1 - 5,8 GHz	60 °	10 °	16
<b>AU-Ant-5G-17-90</b>	5,1 - 5,8 GHz	90 °	6 °	17
<b>AU-AnT-5G-15-120</b>	5,1 - 5,8 GHz	120 °	6 °	15
<b>SU - Antena integrada</b>	5,1 - 5,8 GHz	14 °	14 °	20

A seguir será demonstrado nas figuras um esquemático com as posições das antenas no topo do prédio Boulevard onde estão todos os rádios utilizados neste estudo de caso e o tipo de instalação de cada uma delas:

## Desenhos e Plantas da Estação

## Croqui

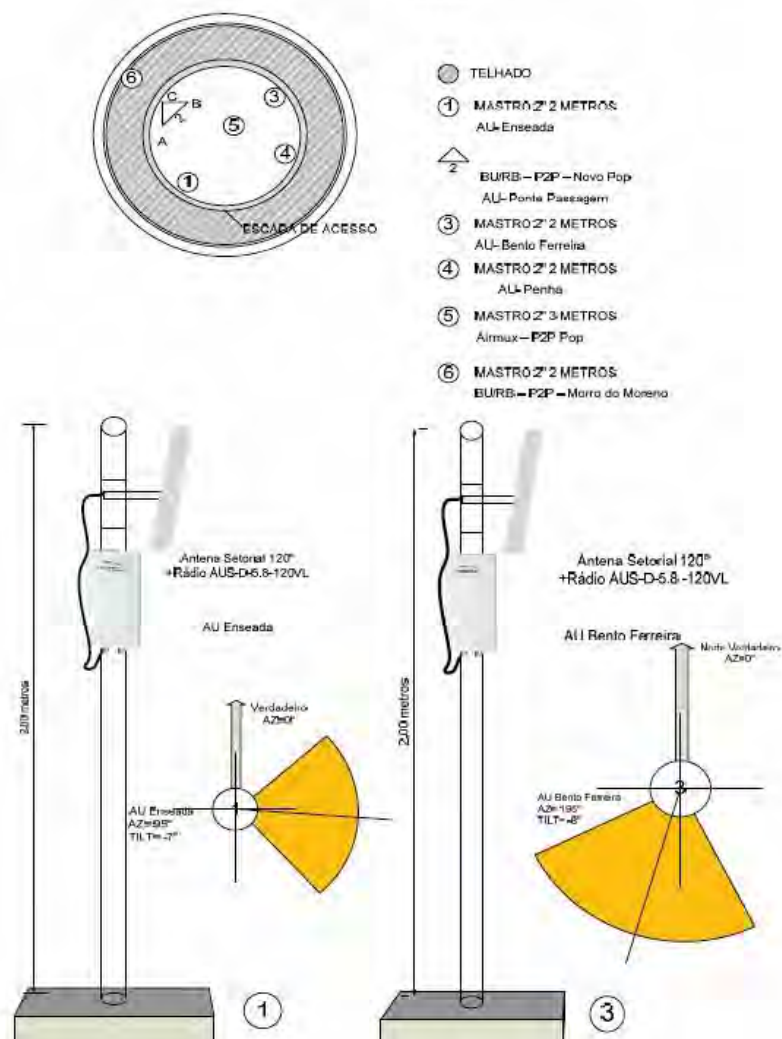


Figura 38- Antena Ponto-Multiponto 120° (Mtel, 2011)

Na figura 38, as antenas dos rádios existentes na ERB Boulevard são demonstrados conforme as indicações na primeira ilustração mostrando cada uma pelos números de 1 a 6 e são mostradas nas figuras 39, 40 e 41.

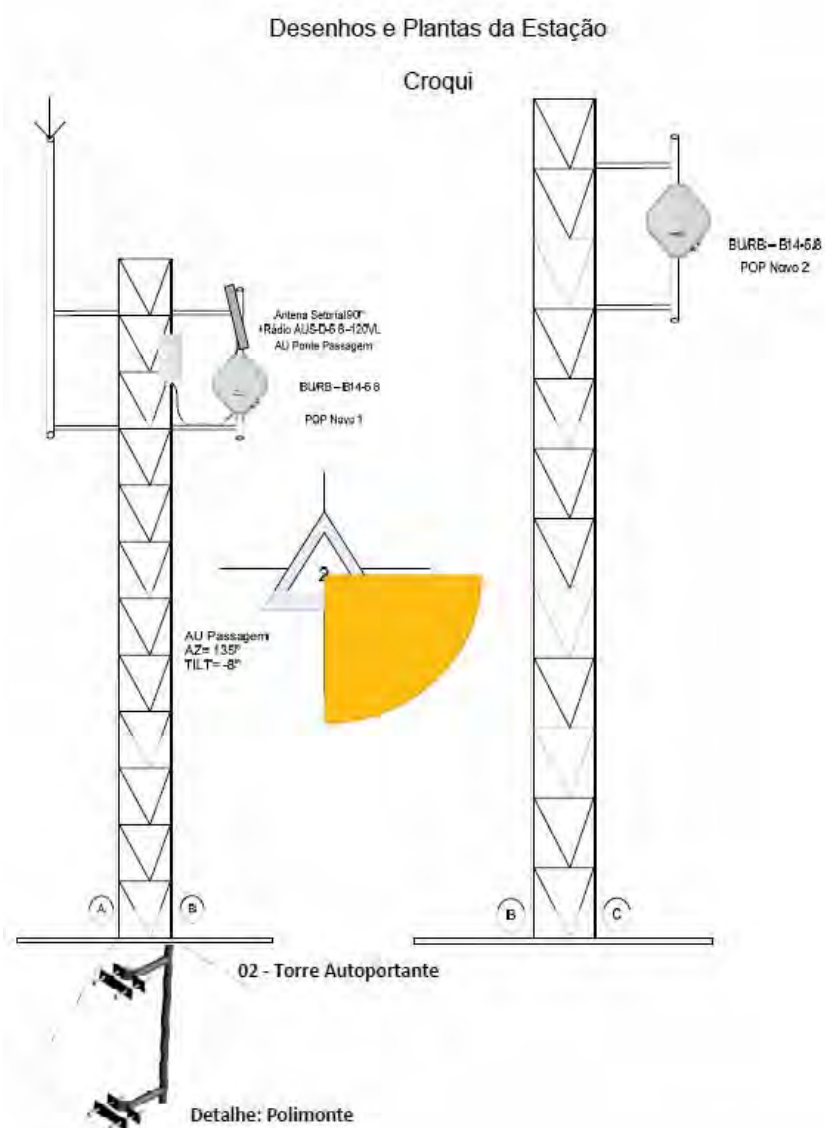


Figura 39 - Antena Ponto-a-Ponto 90°(Mtel, 2011)

## Desenhos e Plantas da Estação

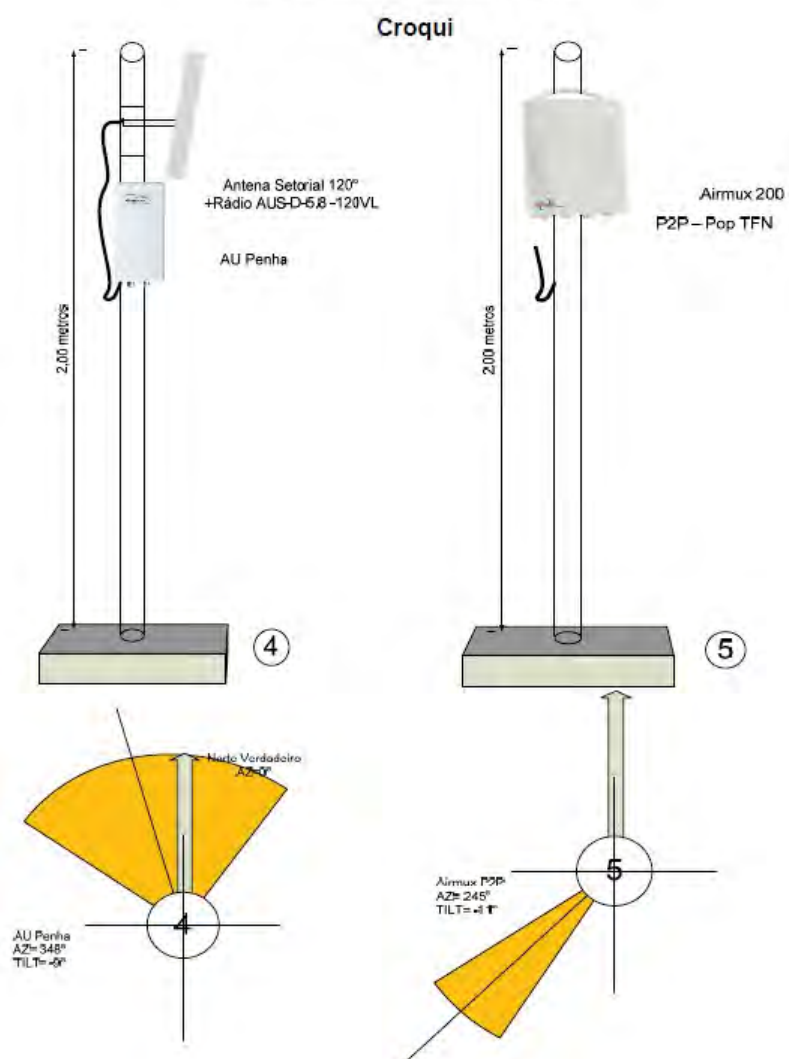


Figura 40 - Antena Ponto-Multiponto 120° e Ponto-a-Ponto 60° (Mtel, 2011)

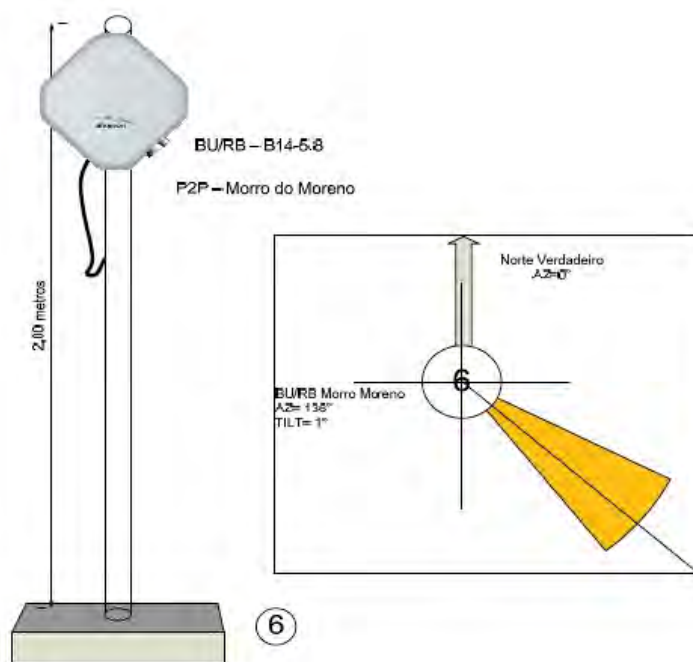


Figura 41 - Antena Ponto-Multiponto 60° (Mtel, 2011)

A título de trazer um maior entendimento sobre o caso em estudo será demonstrado uma galeria com as fotos dos rádios utilizados.



**Figura 42 - Rádio Instalado com torre (Mtel, 2011)**



**Figura 43 - Rádio Ponto-a-Ponto 60° (Mtel, 2011)**



**Figura 44 - Antena Ponto-Multiponto 120° e Ponto-a-Ponto 60° (Mtel, 2011)**



**Figura 45 - Antena Ponto-a-Ponto 90° (Mtel, 2011)**



Figura 46 - Antena instalada no cliente (Mtel, 2011)



Figura 47 - Visada em direção backbone da Telefonica (Mtel, 2011)

## 6 CONCLUSÃO

Todo o trabalho foi elaborado com base na tecnologia WiMAX padrão IEEE 802.16, sendo o estudo de caso retirado de uma aplicação de redes corporativas entre a empresa TELEFONICA que é o cliente da Empresa MTEL que realizou a implantação do rádio enlace. É importante ressaltar que muitos dados tiveram que ser omitidos para que pudesse ter andamento a execução deste trabalho. Como é o caso de não existir informações precisas do enlace da licença adquirida pelo cliente da empresa MTEL, ou mesmo apresentar com maiores detalhes os parâmetros utilizados na execução de determinadas atividades.

O capítulo 3 e 4 tornam-se mais relevante, pois são neles que estão todas as informações necessárias para efetivamente realizar o entendimento da tecnologia WiMAX. Através destes capítulos, foi possível uma maior familiarização com as ferramentas que são utilizadas nos processos e que muitas das vezes não se tem conhecimento. Um exemplo de software é o Google Earth, pois ele é largamente utilizado em diversas aplicações, e por meio deste trabalho, foi possível constatar mais uma utilidade para o mesmo.

Novamente, é válido salientar a importância do estudo de caso, pois possibilita se obter a real idéia de como é realizada a implantação desta tecnologia no mercado corporativo, seja para acesso de ultima milha ou provendo o enlace *backhauling*.

O capítulo 5 possui uma visão mais prática de tudo o que foi apresentado nos capítulos que o antecedem. Os estudos de caso fornecem uma visão mais generalista e palpável da teoria apresentada até então. É neste capítulo que o leitor consegue agrupar as informações passadas e constatar a eficácia de um processo de implantação da tecnologia WiMAX

Em suma, a tecnologia WiMAX mostrou-se bastante eficiente, levando em consideração os resultados apresentados tanto para taxa de transferência da rede montada como de cobertura, atendendo os requisitos desejados pelo cliente.

## 7 BIBLIOGRAFIA

JARDIM, Fernando de Moraes. **Guia Profissional de Redes Wireless: Volp, Wi-Fi, Bluetooth, Wimax, Infravermelho e Skype**. Editora Digerati Books. São Paulo. 2005

TANNENBAUM, Andrew S. **REDES de Computadores**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2003.

RUFINO, Nelson Murilo de Oliveira. **Segurança em redes sem fio: Aprenda a proteger suas informações em ambientes Wi-Fi e Bluetooth**. São Paulo. Editora Novatec, 2005.

SOARES, Luiz Fernando Gomes; LEMOS, Guido; COLCHER, Sérgio. **Redes de computadores - das LANs, MANs e WANs às redes ATM**. Rio de Janeiro, Campus, 1995. (Capítulo 1.3 - Parte 1 - Páginas 10, 11 e 12).

RAPPAPORT, Theodore S. **Comunicações sem fio: princípios e práticas**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 409 p.

ANATEL. Disponível em <<http://www.anatel.gov.br>>. Acesso em 08 de Setembro de 2011.

BRANQUINHO, Omar Carvalho. **Antenas e Acessórios**. Disponível em: [http://docentes.puc-campinas.edu.br/ceatec/branquinho/Mestrado\\_antenas.PDF](http://docentes.puc-campinas.edu.br/ceatec/branquinho/Mestrado_antenas.PDF). Acesso em 10 de Setembro de 2011.

ALVES, Osvaldo Ferreira. **Gerenciamento de Recursos de Rádio em Sistemas Celulares**. Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em:

<[http://www.unibratec.com.br/revistacientifica/n2\\_artigos/n2\\_alves\\_of.pdf](http://www.unibratec.com.br/revistacientifica/n2_artigos/n2_alves_of.pdf)>.

Acesso em 02 de Setembro de 2011.

FERRARI, Antonio Martins. **Telecomunicações Evolução & Revolução**. 8 ed. São Paulo: Érica, 1998. 306p.

*Arc Chart*. Wireless to the max – WiMAX. 19 June 2003. Disponível em <http://www.arcchart.com/blueprint/show.asp?id=328&qtabs=99999> [Acesso em: **Agosto de 2011**

**Google Earth**. Disponível em <<http://earth.google.com/intl/pt/>>. Acesso em 04 de Outubro de 2010.