

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Núcleo de Computação Eletrônica

Rui Gomes de Carvalho

O FUTURO DA MOBILIDADE

EM REDES SEM FIO

Rio de Janeiro

2006

Rui Gomes de Carvalho

**O FUTURO DA MOBILIDADE
EM REDES SEM FIO**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Orientador:

Prof^a. Luci Pirmez, D. Sc. - COPPE/UFRJ - Brasil

Rio de Janeiro

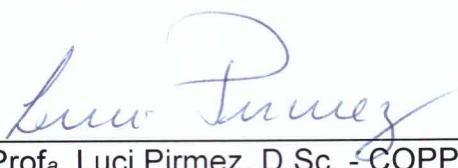
2006

Rui Gomes de Carvalho

O FUTURO DA MOBILIDADE
EM REDES SEM FIO

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Aprovada em novembro de 2006.



Prof. Luci Pirmez, D.Sc. - COPPE/UFRJ - Brasil

Aos meus pais, por sempre terem mostrado o valor e a importância da educação e dos estudos na minha vida.

À minha namorada Talita, pela compreensão e apoio demonstrados no decorrer de mais esta etapa conquistada.

Ao meu amigo Oscar, pelo apoio durante o curso e por uma vitória pessoal por ele conquistada recentemente.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem ele nada disso teria acontecido e eu não teria chegado até aqui.

A minha orientadora Luci Pirmez, por sempre ter demonstrado interesse no trabalho por mim desenvolvido.

A todos que participaram e me ajudaram no decorrer do curso e no desenvolvimento e conclusão deste trabalho, em especial ao amigo Carlos Arthur.

RESUMO

CARVALHO, Rui Gomes de. **O FUTURO DA MOBILIDADE EM REDES SEM FIO.** Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

O uso de redes para a comunicação e troca de dados tem sido cada vez mais difundido, pois elas permitem um relacionamento intenso entre vários usuários simultaneamente. Neste sentido, têm conquistado cada vez mais espaço as redes sem fio, conhecidas como redes wireless que, independentemente da tecnologia utilizada, apresentam diversas vantagens: fácil instalação, ausência de cabeamento e mobilidade.

A busca por uma comunicação cada vez mais eficiente, segura e prática tem sido uma constante pelas empresas do setor e neste contexto, as redes sem fio vem ganhando cada vez mais espaço e credibilidade.

Os computadores portáteis já saem de fábrica com a tecnologia Wi-Fi – muito difundida entre os usuários domésticos, escritórios, aeroportos, etc, o que torna mais prática a conexão entre os computadores e com a Internet. Entretanto, a mobilidade nesta tecnologia é útil apenas em pequenas áreas sem muitos obstáculos devido a limitações da própria tecnologia. Para suprir a limitação da área foi desenvolvida a tecnologia WiMAX, que por operar com uma nova camada física e novos esquemas de modulação, permite uma abrangência geográfica muito maior, tornando-se uma verdadeira banda larga sem fios.

ABSTRACT

CARVALHO, Rui Gomes de. **O FUTURO DA MOBILIDADE EM REDES SEM FIO.** Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

The use of communications networks for data exchange is in absolute expansion, because it allows an intense relationship between lots of users at the same time. In this sense, the wireless network technology is the one that is growing faster independently of the technology used, has a lot of advantages, such as easy installation, no wires and mobility.

The search for communication technologies even more efficient, secure and practice has been continuous by producer of this sector and in this context, the wireless network are winning each more space and credibility.

The portable computers are pre-built with the Wi-Fi technology – used in large scale by the domestic, small offices and airport users, etc, this technology makes the computers connections very easy and affordable. However, the mobility in this technology is useful only in small areas without some hurdle, due the demarcation of own technology. To overcome the area coverage issues the WiMAX was developed. This technology operates in a new physical layer and with new modulation schemes, allowing a much larger coverage, and providing a very high speed wireless network.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Antena <i>Omni-Direcional</i>	16
Figura 2 - Diagrama de Irradiação da Antena <i>Omni-Direcional</i>	17
Figura 3 - Antena Setorial.....	18
Figura 4 - Diagrama de Irradiação da Antena Setorial	18
Figura 5 - Diagrama de Irradiação de Antenas Setoriais Somadas.....	19
Figura 6 - Antenas Direcionais de 24dB e 18dB de ganho, respectivamente.	20
Figura 7 - Diagrama de Irradiação de Antenas Direcionais.....	20
Figura 8 - Faixas de Freqüência DSSS em 2,4GHz.....	21
Figura 9 - Modulação FDM e OFDM	22
Figura 10 - Rede WiMAX Infra-Estruturada.....	26
Figura 11 - Exemplo de <i>Beamforming</i>	27
Figura 12 - Constelação QPSK	30
Figura 13 - Constelação QAM-16.....	30
Figura 14 - Constelação QAM-64.....	31
Figura 15 - CPE Navini Networks 01	35
Figura 16 - CPE Navini Networks 02.....	35
Figura 17 - CPE Navini Networks 03.....	36
Figura 18 - Antena <i>Omni-Direcional</i> e Setorial, respectivamente.....	38
Figura 19 - BTS (Estação Base).....	38
Figura 20 - Topologia da rede utilizada nos testes.....	40
Figura 21 - Telas com Variações de <i>BeamForming</i>	47
Figura 22 - BTS em Miami a 2.4GHz	49
Figura 23 - BTS em Miami a 2.6GHz	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Taxa de Bits por Tamanho de Canal e Modulação	29
Tabela 2 -	Informações coletadas do CPE durante uma transmissão	41
Tabela 3 -	Localidades dos <i>Location Tests</i>	45
Tabela 4 -	Resultados dos testes do Location Test	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADSL	Asymmetric Digital Subscribers Line
BS	Base Station
CPE	Customer Premise Equipment
dB	Decibel
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Domain Name Server
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
FDM	Frequency Division Multiplexing
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FTP	File Transfer Protocol
GHz	Gigahertz (Bilhões de Ciclos por Segundo)
GPS	Global Position System
ICMP	Internet Control Message Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	Industrial, Scientific and Medical Radio Bands
LAN	Local Area Network
MAC	Médium Access Control
MHz	Megahertz (Milhões de Ciclos por Segundo)
Mobile-Fi	Como é chamado o Mobile Broadband Wireless Access (MBWA)
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
QAM	Qadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature PhaseShift Keying
SS	Subscriber Station
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Broadband Wireless Access Technology
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REDES SEM FIO	14
2.1	FREQUÊNCIAS.....	15
2.2	ANTENAS.....	16
2.2.1	<i>Antena Omni-Direcional.....</i>	<i>16</i>
2.2.2	<i>Antena Setorial.....</i>	<i>17</i>
2.2.3	<i>Antena Direcional.....</i>	<i>19</i>
2.3	TECNOLOGIA WI-FI 802.11	20
2.4	TECNOLOGIA WIMAX 802.16	24
3	WI-FI x WIMAX	32
4	ESTUDO DE CASO	34
4.1	EQUIPAMENTOS WIMAX	34
4.2	TESTES COM WIMAX	39
4.2.1	<i>Drive Testing.....</i>	<i>40</i>
4.2.2	<i>Location Test.....</i>	<i>44</i>
4.2.3	<i>Considerações Finais.....</i>	<i>50</i>
5	CONCLUSÕES	51
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1 INTRODUÇÃO

A utilização de redes sem fio cresceu de maneira extraordinária nos últimos anos. Em 1999, o Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) definiu a norma IEEE 802.11 para redes locais sem-fio. O nome comercial dado a esse padrão é *Wireless Fidelity (Wi-Fi)*. A criação desta norma pode ser considerada o nascimento das redes sem-fio como são conhecidas hoje. Com o intuito de trazer, entre outras facilidades, a mobilidade para as estações de trabalho, esta tecnologia chegou com grande intensidade no mercado das telecomunicações e vem sendo aplicada em grandes empresas assim como em residências.

A tecnologia de redes sem fio trouxe uma série de benefícios aos usuários, principalmente se comparada às redes cabeadas. Implementar uma rede sem fio é uma tarefa bem simples e a facilidade de instalação, que é uma de suas grandes vantagens, contribuiu bastante para seu crescimento. Outra vantagem que esta tecnologia oferece aos usuários é a mobilidade, pois estes não precisam estar conectados fisicamente à rede.

Recentemente surgiu uma nova tecnologia de redes sem fio trazendo ainda mais benefícios e muitas promessas para o mercado. Ela é conhecida comercialmente como *BroadBand Wireless Access Technology (WiMAX)* e é padronizada como IEEE 802.16 [2].

Apesar de ambas serem tecnologias de redes sem fio, elas foram projetadas para operar em ambientes distintos. O Wi-Fi surgiu como uma LAN sem fio e sua abrangência limitava-se a pequenas áreas. Já o WiMAX foi desenvolvido com o

intuito de abranger áreas maiores, como uma região rural ou até mesmo uma cidade inteira.

No contexto de uso de uma nova tecnologia, normalmente a demanda em termos de utilização desta mesma tecnologia surge antes mesmo de se ter a solução ideal pronta em forma de padrão. Como consequência, o Wi-Fi começou a ser utilizado também para oferecer serviços de banda larga a usuários finais. Como a tecnologia não foi desenvolvida para este fim, o Wi-Fi apresenta algumas limitações que dificultam a sua adaptação a este tipo de ambiente, uma delas é a mobilidade em ambientes *outdoor*.

Este trabalho tem como objetivo mostrar o funcionamento das redes Wi-Fi e WiMAX, as dificuldades que o Wi-Fi possui para operar em ambientes *outdoor* e as soluções em termos de tecnologia que o WiMAX apresenta ao mercado.

Para que os objetivos deste trabalho fossem atingidos, foram utilizados dados obtidos em pesquisas, experiências práticas e testes efetuados com as duas tecnologias em questão.

O foco principal deste trabalho é apresentar as diferenças básicas entre o Wi-Fi e o WiMAX, focando o quesito mobilidade. Uma abordagem prática das tecnologias WiMAX e Wi-Fi será descrita.

Serão apresentados também resultados de testes realizados com a tecnologia WiMAX, com objetivo de demonstrar o seu funcionamento e suas características.

2 REDES SEM FIO

Atualmente, é comum usar as redes sem fio para prover acesso à Internet em aeroportos, cafés, hotéis, universidades, etc. Também é cada vez mais comum a utilização desta tecnologia em dispositivos como *laptops* e *palmtops*.

As redes sem fio trouxeram uma série de vantagens para os usuários, como por exemplo, mobilidade e facilidade de instalação e ampliação – vantagens estas que levaram esta tecnologia não só a empresas e locais públicos, mas também a residências.

Tal tecnologia também é utilizada por muitos provedores de acesso à Internet para levar conectividade até o assinante, além de ser utilizada também para fazer a interligação entre dois ou mais pontos de distribuição, também conhecidos como estações rádio-base. Esta interligação entre os pontos de distribuição é conhecida como *backbone*.

Na montagem de um sistema de distribuição sem fio, o equipamento rádio – responsável por transmitir e receber informações, não é o único equipamento importante. Além dele, outros equipamentos também devem ser tratados com muita atenção. Entre eles, estão: a antena utilizada, o cabo de rádio freqüência que conecta o rádio à antena, os protetores contra descargas eletro-magnéticas, os amplificadores de potência, etc.

Devido a este crescimento e a padronização da tecnologia, novos fabricantes de equipamentos surgiram. Alguns ganharam força através da concorrência, não só no que se refere ao custo, mas também à tecnologia empregada nos equipamentos,

o que contribuiu para que a qualidade e a diversidade dos equipamentos oferecidos no mercado também aumentassem.

A seguir, serão descritas em detalhes as freqüências utilizadas pelos equipamentos de rádio bem como os tipos de antenas normalmente utilizadas nas comunicações sem fio para criar as formas de onda durante as transmissões.

2.1 FREQUÊNCIAS

No Brasil, basicamente três faixas de freqüência podem ser utilizadas sem licenciamento. São elas:

- 902 a 928 MHz
- 2,400 a 2,4835 GHz
- 5,725 a 5,850 GHz

Para que um equipamento de rádio freqüência, dentro das faixas não-licenciadas seja homologado pela Anatel, segundo a resolução nº 365, de 10 de maio de 2004 [3], a potência de saída deste equipamento não pode ultrapassar 1 Watt de pico, limitando o alcance deste equipamento. Ao se utilizar uma faixa de freqüência licenciada, esta potência pode ser aumentada fazendo com que esses equipamentos de rádio possuam um alcance maior.

Utilizando-se faixas de freqüência não-licenciadas ou abertas, é comum ocorrer interferências no espectro. Por exemplo, uma pessoa ao usar simultaneamente um equipamento conectado a uma rede sem fio e um telefone sem fio, a rede sem fio em questão não funciona. É muito provável que a rede sem fio e o telefone sem fio estejam operando em uma mesma faixa de freqüência, causando

assim uma interferência entre eles. Uma solução para esse problema é alterar o canal (subdivisões que são feitas dentro das faixas de freqüência) em que um destes equipamentos opera.

2.2 ANTENAS

Um outro equipamento importante em redes de banda larga sem fio é o tipo de antena utilizada. A antena influencia muito na qualidade do enlace (links de rádio). Antenas direcionais e de maior ganho atingem distâncias muito maiores do que antenas de baixo ganho, ou cujo ângulo de abertura seja grande.

A seguir, serão apresentados os tipos mais comuns de antenas, juntamente com o diagrama de irradiação de sinal de cada uma delas.

2.2.1 Antena *Omni-Direcional*

É uma antena cuja irradiação de sinal se dá horizontalmente propagando-se por todos os lados. Ela possui um ângulo de abertura de 360º e é muito utilizada em *hotspots*.



Figura 1 - Antena *Omni-Direcional*

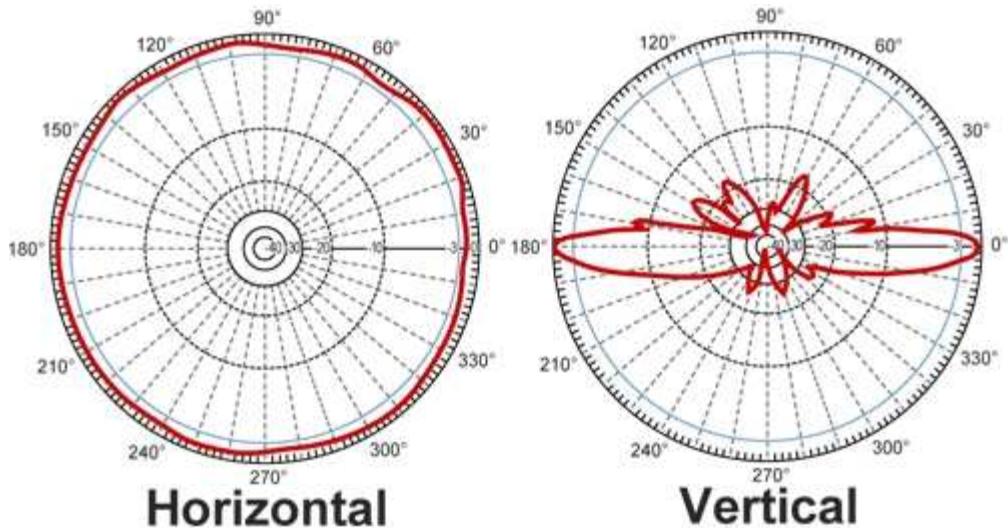


Figura 2 - Diagrama de Irradiação da Antena *Omni-Direcional*

Na Figura 1, é ilustrada uma foto de uma antena *omni-direcional* e na Figura 2, são mostradas duas visões diferentes do diagrama de irradiação da antena. Na visão horizontal, as antenas devem ser observadas de cima para baixo, ou de baixo para cima. Já na visão vertical, as antenas devem ser observadas lateralmente, ou seja, uma visão perpendicular às antenas.

2.2.2 Antena Setorial

É uma antena que possui um ângulo de abertura pré-definido ou ajustável como, por exemplo, um ângulo de abertura de 90° . A antena setorial tem um ganho muito maior que a *omni-direcional*, devido ao fato do feixe ser concentrado na direção em que ela é apontada. Este tipo de antena é muito utilizado para criar uma célula à sua frente. Ao contrário da antena *omni-direcional*, a setorial não deve ser

colocada no centro da célula. Na Figura 3 pode ser encontrada a foto de uma antena setorial e na Figura 4 podem ser encontradas os seus diagramas de irradiação.

Como já mencionado, a antena *omni-direcional* possui um ângulo de abertura de 360° , porém, seu alcance não é longo devido à dispersão de sinal por todos os lados. Caso seja necessário um alcance maior com uma cobertura mais abrangente, uma combinação de antenas setoriais pode ser utilizada para conseguir tal objetivo, conforme pode observado na Figura 5.



Figura 3 - Antena Setorial

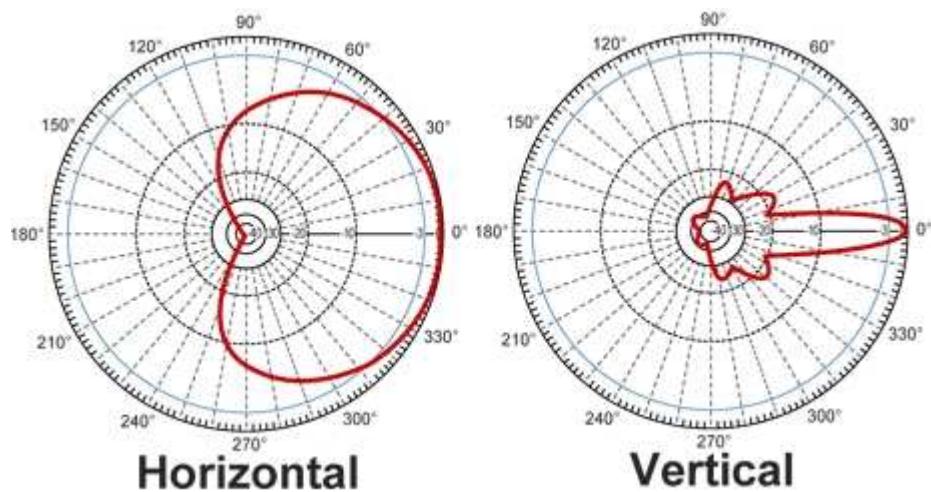


Figura 4 - Diagrama de Irradiação da Antena Setorial

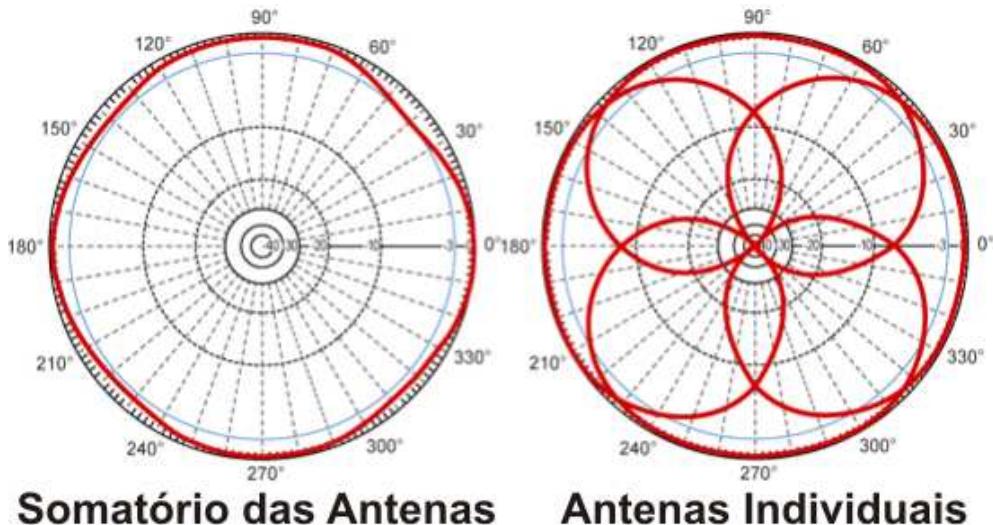


Figura 5 - Diagrama de Irradiação de Antenas Setoriais Somadas.

2.2.3 Antena Direcional

É uma antena que possui um ângulo de abertura muito pequeno, diferente de zero devido ao espalhamento do sinal. A saída dessa antena é como se fosse um “tiro” de rádio freqüência para a direção (ou o ponto) onde a mesma está apontando. A direcional é a antena que alcança maiores distâncias devido ao sinal ser concentrado em um único ponto. É muito utilizada para se fazer *backbones* e também para a instalação do assinante. No caso do assinante, a antena precisa apenas estar apontada para a estação rádio base. Na Figura 6, podem ser observadas fotos de duas antenas direcionais com ganhos diferentes. Já os diagramas de irradiação da antena direcional podem ser encontrados na Figura 7.



Figura 6 - Antenas Direcionais de 24dB e 18dB de ganho, respectivamente.

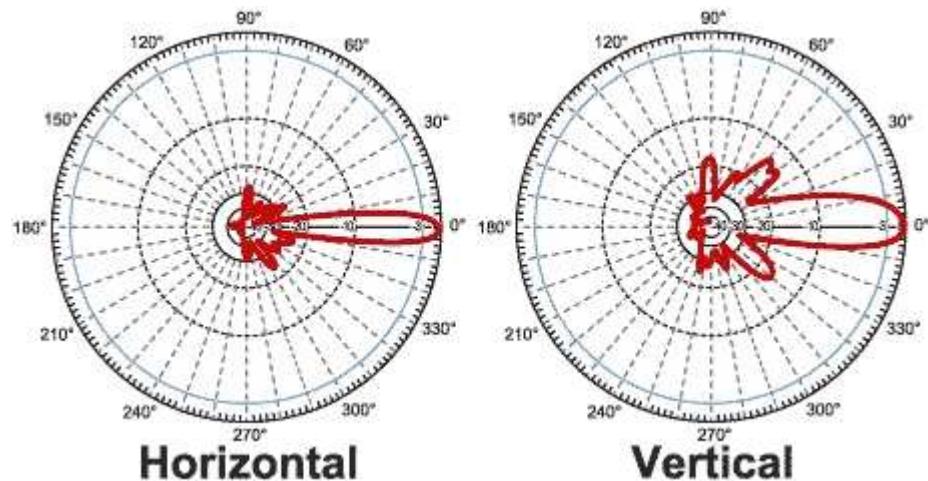


Figura 7 - Diagrama de Irradiação de Antenas Direcionais.

2.3 TECNOLOGIA WI-FI 802.11

O grande crescimento no mercado das comunicações sem fio é devido principalmente às redes 802.11 ou Wi-Fi. São estas as redes que hoje estão presentes em aeroportos, casas, escritórios, etc.

O padrão 802.11 define a subcamada MAC (*Medium Access Control*) e a camada física. A subcamada MAC é responsável por determinar como o canal é alocado, ou seja, quem terá oportunidade de transmitir. A camada física especifica as técnicas de transmissão utilizadas, tais como Infravermelho, DSSS, FHSS e OFDM. Este trabalho abordará apenas a camada física do padrão 802.11.

A tecnologia IEEE 802.11 trabalha com espalhamento espectral (*spread spectrum*) do sinal transmitido. Uma vez ligado, o sinal gerado pelo equipamento cobre uma área determinada. A área de cobertura, conforme visto anteriormente, é determinada pelo tipo de antena a ser utilizado.

A utilização do espectro pode ser feita de várias formas e serão descritas a seguir.

- DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) - é a técnica de espalhamento espectral que utiliza um único canal e transmissões simultâneas – separadas por códigos e não por frequência. A duração de um símbolo de dados é subdividida em intervalos menores chamados chips. Na frequência de 2,4GHz existem 14 canais para serem utilizados. Na faixa de frequência ISM de 2,4GHz no Brasil, podem ser utilizados 11 canais distintos.

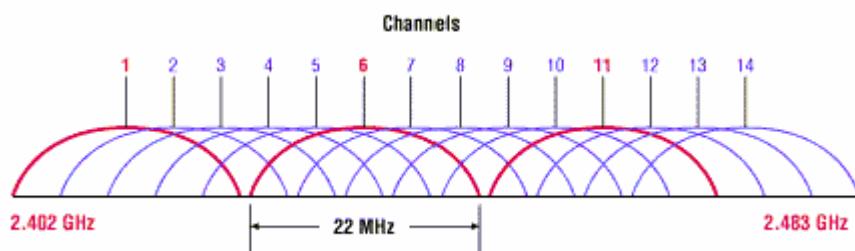


Figura 8 - Faixas de Freqüência DSSS em 2,4GHz

- FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) - funciona com saltos de freqüência, ou seja, a cada instante o transmissor e o receptor se comunicam utilizando uma freqüência (canal) diferente. A faixa de frequência ISM de 2,4GHz, utilizada no Brasil, é dividida em 79 canais separados por 1MHz. Este salto é feito seguindo padrões pseudo-aleatórios, sendo chamado de seqüência de saltos. Os equipamentos trabalham sincronizados, identificando a seqüência de saltos e alterando os canais em intervalos de tempo conhecidos por ambos.
- OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) - é uma variação da multiplexação por divisão de freqüência (FDM) usada nos sistemas de telefonia e nas tecnologias de redes de acesso como o ADSL. São usadas 52 freqüências diferentes, sendo 48 para dados e 4 para sincronização. Esta técnica é considerada uma forma de dispersão, tendo em vista que as transmissões estão presentes em diversas freqüências simultaneamente. Esta divisão de sinal em várias freqüências tem vantagens fundamentais em relação ao uso de uma única freqüência, incluindo melhor imunidade à interferência e possibilidade de usar bandas não-contíguas. Na Figura 9 podem ser encontrados os esquemas de modulação FDM e OFDM.

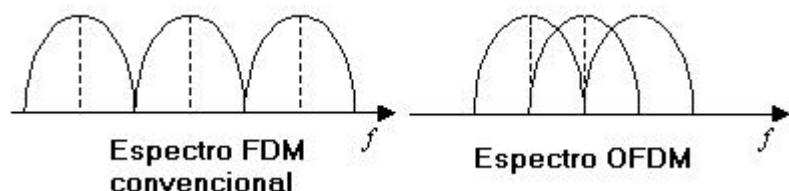


Figura 9 - Modulação FDM e OFDM

Analisando as tecnologias de *spread spectrum*, pode ser observado que o DSSS é mais suscetível a interferências que o FHSS, pois caso seja detectada interferência em alguma faixa de frequência utilizada, o DSSS será afetado completamente. Tal problema não afetará tanto o FHSS, já que apenas quando o equipamento saltar para o canal afetado pela interferência é que algum problema na transmissão poderá ocorrer. A escolha correta dos canais em ambos os modos de operação é um detalhe muito importante para se evitar interferências. No modo DSSS, conforme mostrado na Figura 8, não há interferência apenas entre os canais 1, 6 e 11, de acordo com a faixa ISM brasileira.

Um detalhe importante do padrão 802.11 é que suas antenas precisam de visada direta, ou seja, a antena do transmissor precisa estar dentro da área de cobertura da antena do receptor, e vice-versa. A visada direta é essencial para que enlaces em ambiente *outdoor* tenham uma boa qualidade. Já em ambientes *indoor*, essa visada não é tão necessária, pois o sinal pode ser refletido pelas paredes de modo a chegar ao seu destino. Entretanto, dependendo do percurso realizado e dos obstáculos ao longo do caminho, o alcance do sinal pode ser diminuído.

O equipamento responsável pela geração de sinal é chamado de *Access Point*, ou simplesmente *AP*. Geralmente, ele é o ponto de acesso entre a rede sem fio e a rede cabeada. Já os rádios “clientes” são chamados de estações e são os equipamentos que ficam com os usuários ou assinantes. Esses equipamentos geralmente operam na faixa de freqüência de 2,4GHz, sendo a freqüência de 5,8GHz muito utilizada para rádios de *backbone*. É importante observar que as antenas são diferentes para cada tipo de faixa de frequência, pois a forma de onda é diferente.

Ainda dentro do padrão IEEE 802.11, existem algumas extensões que definem os tipos de tecnologia e velocidades. Serão citadas a seguir as extensões mais conhecidas.

IEEE 802.11 – Conhecido como 802.11 puro. Utilizado com o modo FHSS e atinge velocidades de até 3Mbps (*Megabits* por segundo).

IEEE 802.11b – Padrão que revolucionou as redes sem fio e é o mais comum encontrado no mercado. Trabalha utilizando DSSS e atinge velocidades de até 11Mbps.

IEEE 802.11g – Esse padrão que não é tão novo, compatível com o 802.11b, atinge velocidades de até 54Mbps, utilizando o modo OFDM. Porém, se uma rede sem fio 802.11g tiver estações 802.11g e 802.11b conectadas a ela, esta irá funcionar como se fosse uma rede 802.11b, ou seja, a velocidade da rede sem fio será de apenas 11Mbps.

Todos estes equipamentos operam em modo *half-duplex*, ou seja, ora eles transmitem, ora recebem, não podendo fazer a transmissão e a recepção dos dados simultaneamente.

2.4 TECNOLOGIA WIMAX 802.16

A tecnologia WiMAX foi desenvolvida para atuar em uma área cuja cobertura é muito maior do que a do Wi-Fi. Passando de metros para quilômetros é capaz de atender até mesmo uma cidade inteira. O WiMAX fornece infra-estrutura de rede em banda larga em locais que há dificuldade de acesso ou de infra-estrutura de rede.

física. A tecnologia, projetada para uso residencial e comercial, suporta não apenas serviços de Internet, mas também tráfego de voz e vídeo, em tempo real.

No padrão 802.16, a rede sem fio pode ser do tipo infra-estruturada ou do tipo *mesh*. Em uma rede tipo *mesh*, as estações clientes ou SS (*Subscriber Station*) podem se comunicar diretamente umas com as outras. Neste trabalho, será dado foco às redes infra-estruturadas.

A rede infra-estruturada é basicamente composta de uma estação base ou BS (*Base Station*) e estações clientes ou SS. A BS é o nó central da rede sem fio, controlando toda a comunicação, e as SS's são distribuídas ao longo da área de cobertura da BS, com distâncias variadas e com ou sem linha de visada direta. Para uma SS se comunicar com outra, é necessário que este tráfego passe pela BS, não havendo comunicação direta entre SS's, ou seja, todo o tráfego de dados da rede passa pela BS. A BS geralmente fica conectada a uma rede cabeada, para comunicação com a Internet ou com alguma rede já existente. As SS's também podem oferecer conectividade para usuários de uma rede local cabeada ou mesmo uma rede Wi-Fi, como pode ser observado na Figura 10. O tráfego entre SS's pode ou não ser permitido na BS. Visando a segurança dos assinantes, algumas implementações permitem que a BS seja configurada de modo que as SS's acessem apenas a rede cabeada ao qual a BS está conectada.

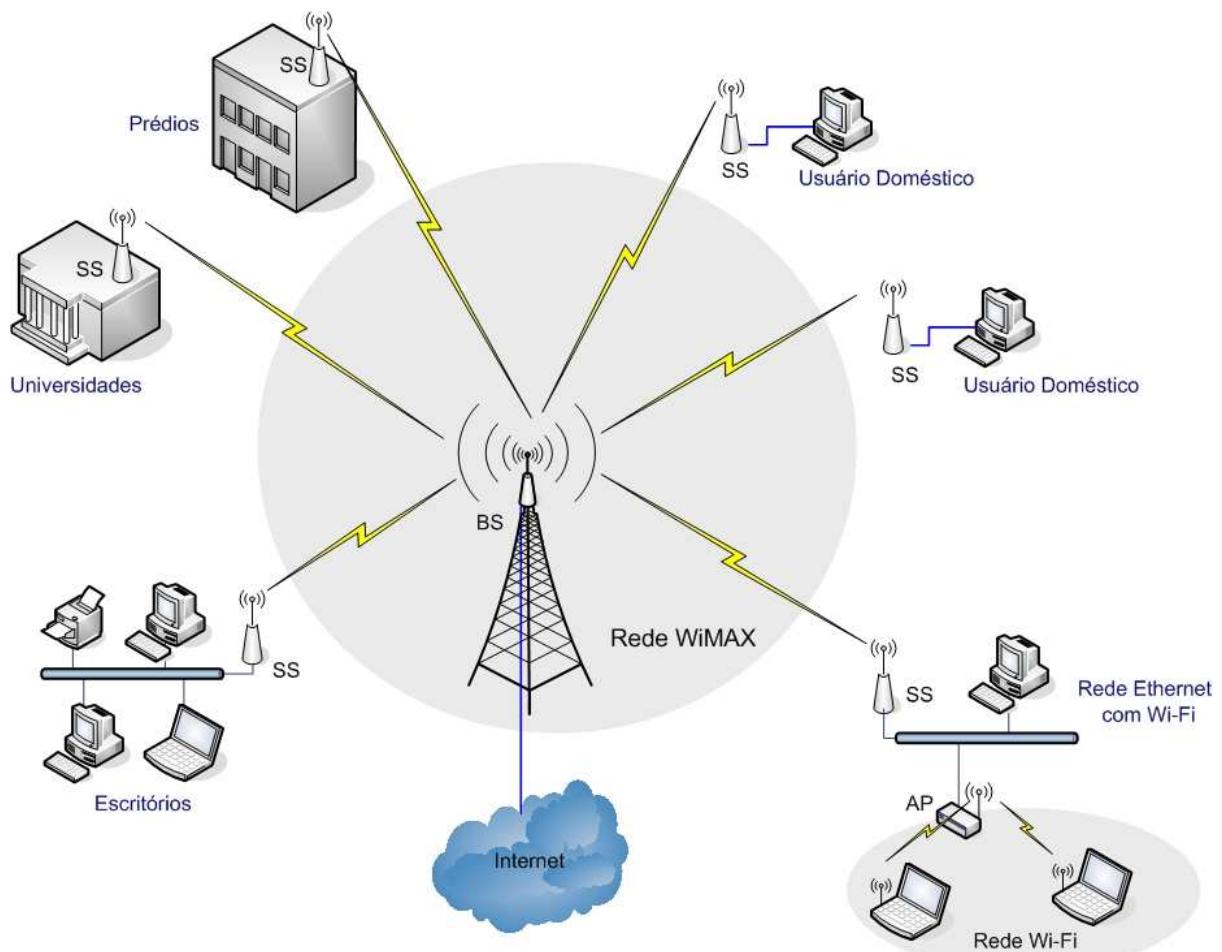


Figura 10 - Rede WiMAX Infra-Estruturada

A tecnologia Wi-Fi, conforme já mencionado, necessita de visada direta criando certa limitação em termos de instalação e funcionamento. Já a tecnologia WiMAX não necessita de linha de visada direta.

Quanto à camada física do WiMAX, esta emprega três esquemas de modulação diferentes, dependendo da distância em que a estação do assinante se encontra da estação base.

No WiMAX, a antena utilizada pode ser chamada de “antena inteligente”, pois ela é capaz de direcionar a potência de transmissão e enviar o sinal na direção em

que este chegará à estação do usuário, diferente do Wi-Fi, que possui uma forma de onda fixa, de acordo com a antena utilizada. Utilizando a técnica de *beamforming*, o formato do feixe é criado no momento em que o sinal é gerado pela antena, e este feixe pode ser diferente para cada estação ou mesmo transmissão. Um exemplo de *beamforming* pode ser observado na Figura 11.

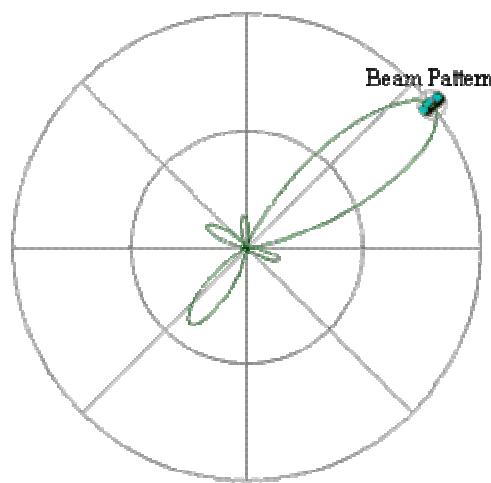


Figura 11 - Exemplo de *Beamforming*

Quando uma estação assinante é ligada, ela passa por um processo de *scanning*, procurando pela presença de alguma estação base no local para poder se associar. Durante este processo, a estação base verifica qual foi a origem do sinal, efetua cálculos referentes à distância e modulação, e é capaz de gerar o feixe na direção da estação cliente, passando por todo tipo de reflexão ou obstáculos para chegar ao seu destino.

Esta capacidade de adequação da base em relação à posição da estação assinante, também contribui para que o WiMAX não necessite de visada direta, além de dar suporte à maior mobilidade nas estações. Suporte este que não estava

presente na primeira versão 802.16, aprovada em abril de 2002 e chamada de “*Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access*” ou “Interface Aérea para Sistemas Fixos de Acesso Sem Fio de Banda Larga”.

Conforme citado anteriormente, o WiMAX possui um robusto esquema de modulação – processo de se alterar as características de uma onda de rádio ou elétrica, de modo que estas alterações possuam significados para os equipamentos envolvidos na transmissão. As características da onda que podem ser modificadas basicamente são amplitude, fase e freqüência.

Os esquemas de modulação utilizados pelo WiMAX são o QAM-64 (*Quadrature Amplitude Modulation*), o QAM-16 e o QPSK (*Quadrature PhaseShift Keying*).

Devido a estes esquemas de modulação, o WiMAX consegue alcançar elevadas taxas de transmissão mesmo em longas distâncias, obtendo um bom nível de eficiência espectral. Isto é possível devido à capacidade dele alterar o seu esquema de modulação durante a transmissão para, por exemplo, atender uma estação que esteja localizada distante da estação base, evitando perda de dados e mantendo a sua robustez durante a comunicação.

O esquema QAM trabalha basicamente fixando-se a frequência angular da portadora e variando a amplitude e a fase. Já o esquema QPSK, usa o esquema PSK em quadratura. O esquema PSK trabalha variando apenas a fase, mantendo a freqüência e a amplitude inalteradas. Cada uma das quatro fases possíveis representa dois bits de informação, ou seja, há dois bits por símbolo transmitido. O esquema QAM-16 utiliza quatro bits para representar cada símbolo e o esquema QAM-64 utiliza, para cada símbolo, dezesseis bits [3].

Para uma faixa de 25MHz do espectro, o esquema QAM-64 é capaz de atingir taxas próximas a 150Mbps, o QAM-16, taxas próximas a 100Mbps e o QPSK, taxas próximas a 50Mbps [4]. Outras informações referentes às faixas de espectro relacionadas aos esquemas de modulação poderão ser encontradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Taxa de Bits por Tamanho de Canal e Modulação

Tamanho do Canal (MHz)	Taxa de Símbolos	Taxa de Bits (Mb/s) QPSK	Taxa de Bits (Mb/s) QAM-16	Taxa de Bits (Mb/s) QAM-64	Duração de Quadro Recomendada (ms)
20	16	32	64	96	1
25	20	40	80	120	1
28	22.4	44.8	89.6	134.4	1

Quando a estação base não consegue estabelecer um enlace robusto e com qualidade visando o esquema de modulação de maior ordem QAM-64, normalmente empregado para estações próximas à base, o esquema de modulação é reduzido para QAM-16 – utilizada em estações a uma distância média. O esquema pode ainda ser reduzido para QPSK, utilizado para estações distantes da base. Na alteração do esquema de modulação, conforme descrita anteriormente, a distância efetiva entre estação base e assinante é aumentada e a taxa é reduzida.

As modulações QPSK e QAM são geralmente representadas por um diagrama de amplitudes e fases, conhecido por constelação. Nas Figuras 12, 13 e 14, podem ser encontrados, respectivamente, os diagramas de amplitude e fase dos esquemas de modulação QPSK, QAM-16 e QAM-64.

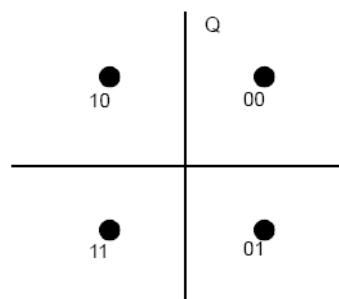


Figura 12 - Constelação QPSK

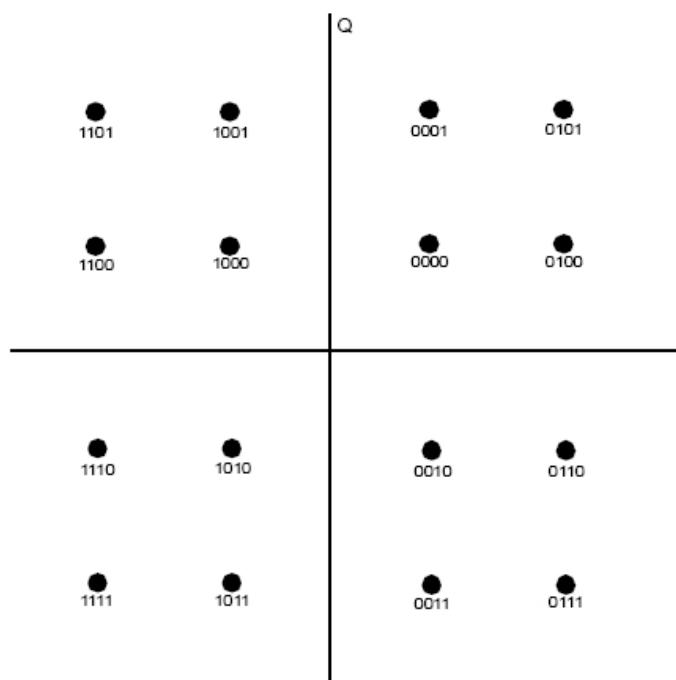


Figura 13 - Constelação QAM-16

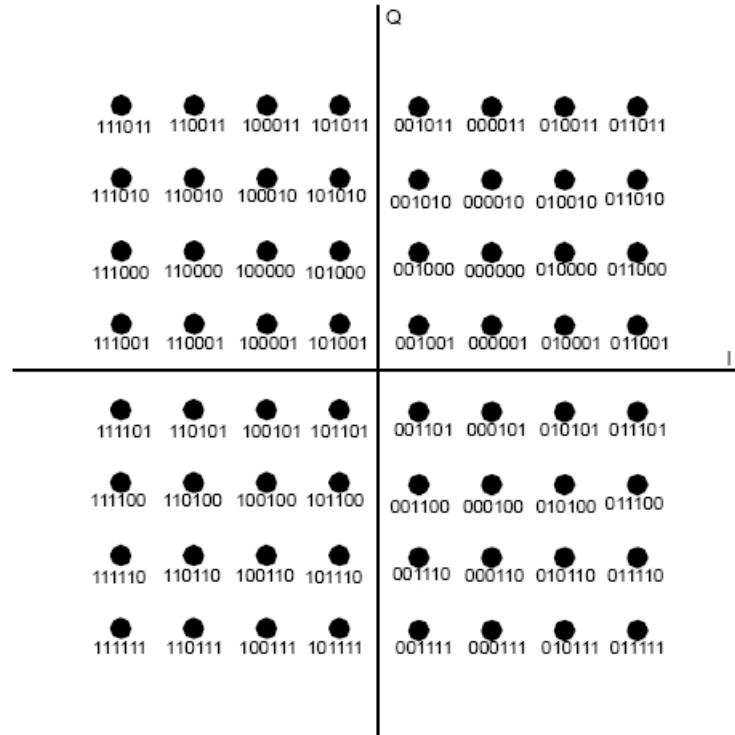


Figura 14 - Constelação QAM-64

A extensão do WiMAX que trata a mobilidade é o 802.16e. O primeiro padrão WiMAX traz apenas suporte para estações fixas. O conceito de “estação fixa” significa que a estação não consegue acessar a rede enquanto a mesma está em movimento, porém, é possível mover a estação assinante de um lugar para outro, e novamente conectar-se a rede.

O padrão IEEE 802.16e [5] trabalha com a mobilidade em tempo real, dando suporte, por exemplo, ao acesso à rede com velocidade veicular, combinando também o próprio acesso fixo.

Esta mobilidade permite que uma série de serviços novos e diferenciados sejam oferecidos aos usuários, inclusive incorporada em equipamentos como celulares, palmtops, entre outros.

3 WI-FI x WIMAX

Em geral, enlaces de equipamentos de rádio frequência em longa distância são bem sensíveis a qualquer problema, seja devido a uma antena não alinhada corretamente, seja por problemas na instalação, permitindo a presença de água nos conectores, entre outros. Estes fatores podem prejudicar bastante a qualidade do acesso.

Se, além da sensibilidade dos equipamentos envolvidos, for levado em consideração o aspecto da mobilidade, novos problemas passam a existir. Na presença de mobilidade, as posições de referência da estação do cliente e da base se alteram, podendo causar problemas para o Wi-Fi se a visada entre o ponto de acesso e a estação for interrompida.

No caso de redes Wi-Fi localizadas em um ambiente *indoor*, a mobilidade não ocasionará problemas se a estação do usuário estiver localizada dentro da área de cobertura da base e se obstáculos não estiverem situados no percurso. Já em um ambiente *outdoor* a situação é um pouco mais complicada, pois devido à grande distância entre estação base e usuário móvel, qualquer alteração na posição do usuário, por menor que seja, pode causar problemas na qualidade do enlace e o Wi-Fi é bem sensível a variações deste tipo.

Por exemplo, seja um *hotspot* localizado no saguão de um aeroporto e um usuário baixando seus e-mails via seu laptop. Suponha que esse usuário precisa se deslocar para o outro lado do saguão e que o percurso entre a posição inicial e a posição final do usuário esteja dentro da área de cobertura da estação base, sem

obstáculos e sem interferências. Nesse caso, esse usuário poderá continuar baixando seus e-mails sem perder a conexão com a rede sem fio.

Um exemplo de um ambiente *outdoor* seria a rede de um provedor de acesso à Internet, que possui uma estação rádio base e uma célula criada com uma antena setorial. Devido à distância em que o assinante se encontrava da estação base, foi instalada uma antena direcional fixada em um mastro apontada para a estação rádio base do provedor.

Em tal ambiente, devido ao tipo de antena, não é permitido que os assinantes sejam móveis, por necessitarem de visada direta e também pela complexidade da instalação.

Entretanto, se o provedor de acesso utilizasse a tecnologia WiMAX, seria possível a mobilidade dos assinantes dentro da área de cobertura da estação base. Assim, a mobilidade dos usuários seria possível não apenas pela tecnologia WiMAX, mas também por causa do equipamento utilizado pelo assinante.

No capítulo seguinte, poderão ser observadas fotos da SS que é utilizada pelo assinante.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo são apresentados os equipamentos WiMAX do fabricante *Navini Networks*, e as fotos e descrições desses equipamentos.

São apresentados também alguns testes, realizados com os equipamentos da *Navini Networks*, com o intuito de monitorar níveis de sinal, distância, modulação, taxas de transferência de dados, entre outros.

4.1 EQUIPAMENTOS WIMAX

Ao contrário do Wi-Fi, que exige antenas externas e cabos, o WiMAX utiliza um equipamento pequeno, que já possui antena integrada e que é de fácil locomoção.

O equipamento testado possui três antenas integradas, sendo duas antenas setoriais nas laterais e uma antena omni-direcional principal. Devido a esta quantidade de antenas e à sua disposição no equipamento, ele é capaz de receber e transmitir informações por todos os lados, o que contribui para sua fácil adaptação ao ambiente.

Nas figuras 15, 16 e 17 poderão ser encontradas fotos do equipamento utilizado pelo assinante. Seu fabricante é a *Navini Networks* e é chamado de CPE (*Customer Premise Equipment*) ou simplesmente SS.



Figura 15 - CPE Navini Networks 01



Figura 16 - CPE Navini Networks 02



Figura 17 - CPE Navini Networks 03

Como pode ser observada nas imagens, a antena omni-direcional é retrátil, e pode ser guardada para facilitar o transporte. Além de retrátil, ela também pode ser removida e em seu lugar pode ser conectada, através de um cabo, uma antena externa. Caso o equipamento se encontre muito distante da base ou em um local de difícil acesso para o sinal por conta de vidros, espelhados ou prédios com poucas janelas que podem dificultar a propagação do sinal, o uso de uma antena externa é importante. Uma outra característica deste equipamento é que pode ser acoplada uma bateria interna semelhante à bateria de um celular, porém com mais capacidade, para permitir sua utilização em locais sem energia elétrica, como um parque ou uma praça.

Foi citado anteriormente que a antena utilizada pela estação base WiMAX é uma antena inteligente, possuindo a capacidade de calcular e gerar a forma de onda na direção que esta alcançará a estação do usuário, no momento de cada transmissão. Uma antena usada pela estação base não possui apenas um ponto de

distribuição como as antenas convencionais. Essa antena possui oito pontos de distribuição, trabalhando como se fossem oito antenas integradas. Variando os pontos de distribuição, ela é capaz de gerar formas de onda diferentes para cada transmissão.

A estação base e a antena são conectadas por nove cabos. Oito cabos são responsáveis pela transmissão e recepção de dados. O nono cabo tem uma função muito importante, pois é utilizado para receber os sinais transmitidos pela própria antena. Esta função serve para calibrar o equipamento e fazer com que o mesmo trabalhe de forma otimizada no local onde foi instalado. Esta função não é automática. Para permitir a ativação dessa função, a estação base deixa de atender os clientes. Assim, tal função é acionada na instalação da estação base e também em eventuais manutenções.

Usando a estação base do fabricante *Navini*, existem dois modelos de antenas que podem ser utilizadas, que são a *omni-direcional* e setorial. O funcionamento dessas antenas é o mesmo descrito nas antenas utilizadas pela tecnologia Wi-Fi. A antena *omni-direcional* poderia, por exemplo, ser instalada no meio de um grande centro e a antena setorial nos arredores de uma cidade.

Na Figura 18, são ilustradas imagens das antenas utilizadas pela estação base e na Figura 19, a própria estação base WiMAX, da *Navini Networks*.



Figura 18 - Antena *Omni-Direcional* e Setorial, respectivamente.



Figura 19 - BTS (Estação Base)

4.2 TESTES COM WIMAX

A seguir, serão apresentados alguns testes efetuados utilizando a tecnologia WiMAX, bem como os resultados obtidos. Os testes foram realizados utilizando equipamentos da *Navini Networks*, instalados na cidade de Miami, na Flórida (EUA).

Dois tipos de testes foram realizados envolvendo a tecnologia WiMAX. O primeiro foi o “*Drive Testing*”, que consistiu em coletar informações do equipamento como nível de sinal, freqüência, distância da base, modulação, entre outras. O segundo foi o “*Location Test*”, que consistiu em fazer testes de *download* e *upload* de arquivos utilizando o protocolo para transferência de arquivos FTP, para medição de taxas de velocidade em diversas localidades. Este segundo teste também foi utilizado para se analisar o desempenho do equipamento em locais onde não havia linha de visada direta (NLOS).

Para a coleta das informações, foi utilizado o *software* “*CPE Constellation Debug Tool*”, instalado em um *notebook* conectado ao CPE, através de um cabo de rede. Foi utilizado também, um segundo *software* chamado “*EMS Beamforming Tool*”, que coletou as informações transmitidas e recebidas pelo CPE. Com estas informações, ele é capaz de gerar as variações de *beamform* ocorridas durante as transmissões. Este segundo *software* coletou informações da estação base e estava instalado em uma estação de gerência, conectada à mesma rede física da estação base, ou seja, o acesso da informação ocorreu através de cabos, e não pela rede sem fio.

Na Figura 20, pode ser observada a topologia da rede utilizada nos testes. Esta rede é composta por um provedor de acesso à Internet de Miami, que permitiu que os testes fossem feitos utilizando sua infra-estrutura.

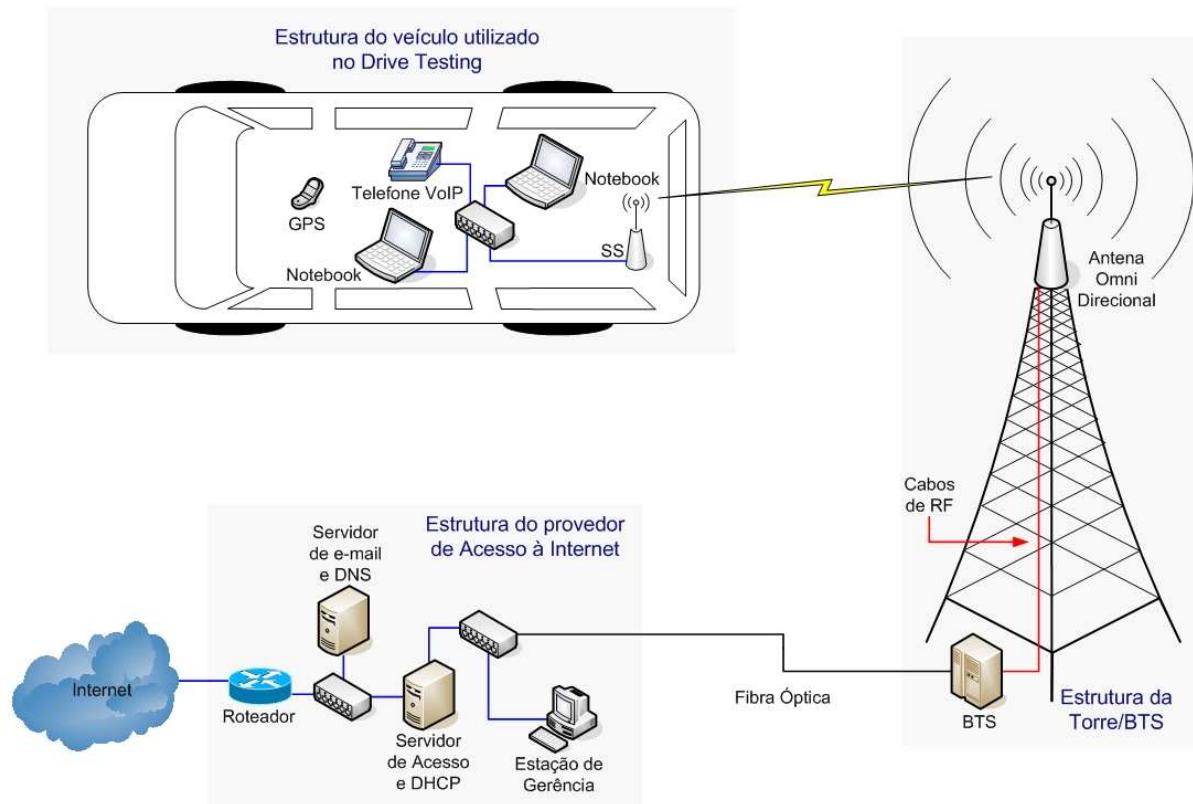


Figura 20 - Topologia da rede utilizada nos testes

4.2.1 Drive Testing

A Tabela 2 foi gerada, utilizando o software *"CPE Constellation Debug Tool"*.

Os dados apresentados nessa tabela foram coletados durante o acesso a alguns sites, com intervalo de coleta de 01 segundo.

Tabela 2 - Informações coletadas do CPE durante uma transmissão

Hora	ID da BTS	Freqüência da Base	Status do CPE	Potência de Trans.	Antena Usada	Distância da Base	Nível de Sinal	Taxa de Download	Esquema de Modulação (Upload)	Esquema de Modulação (Download)
13:03:33	0xcd	2.470.500	Inativo	7	Omni-Dir	3380	-87	0	Não Usado	Não Usado
13:03:34	0xcd	2.470.500	Inativo	6	Setorial 1	3380	-87	0	Não Usado	Não Usado
13:03:35	0xcd	2.470.500	Inativo	7	Omni-Dir	3380	-87	0	Não Usado	Não Usado
13:03:36	0xcd	2.470.500	Inativo	7	Omni-Dir	3380	-87	0	Não Usado	Não Usado
13:03:37	0xcd	2.470.500	Inativo	7	Omni-Dir	3380	-88	0	Não Usado	Não Usado
13:03:38	0xcd	2.470.500	Comunic.	7	Omni-Dir	3360	-86	200	QPSK	QAM16
13:03:39	0xcd	2.470.500	Inativo	7	Omni-Dir	3360	-87	0	Não Usado	Não Usado
13:03:40	0xcd	2.470.500	Inativo	7	Omni-Dir	3360	-87	0	Não Usado	Não Usado
13:03:41	0xcd	2.470.500	Inativo	6	Omni-Dir	3360	-87	0	Não Usado	Não Usado
13:03:42	0xcd	2.470.500	Inativo	7	Omni-Dir	3360	-88	0	Não Usado	Não Usado
13:03:43	0xcd	2.470.500	Inativo	9	Omni-Dir	3360	-89	0	Não Usado	Não Usado
13:03:44	0xcd	2.470.500	Inativo	4	Omni-Dir	3340	-87	0	Não Usado	Não Usado
13:03:45	0xcd	2.470.500	Comunic.	4	Omni-Dir	3380	-87	50	QPSK	QPSK
13:03:46	0xcd	2.470.500	Comunic.	1	Omni-Dir	3360	-87	200	QPSK	QAM16
13:03:47	0xcd	2.470.500	Inativo	7	Omni-Dir	3380	-87	0	Não Usado	Não Usado
13:03:48	0xcd	2.470.500	Inativo	6	Omni-Dir	3380	-87	0	Não Usado	Não Usado
13:03:49	0xcd	2.470.500	Inativo	6	Omni-Dir	3380	-87	0	Não Usado	Não Usado
13:03:50	0xcd	2.470.500	Comunic.	1	Omni-Dir	3380	-87	50	QPSK	QPSK
13:03:51	0xcd	2.470.500	Comunic.	4	Omni-Dir	3380	-87	50	QPSK	QPSK
13:03:52	0xcd	2.470.500	Inativo	7	Setorial 1	3360	-86	0	Não Usado	Não Usado
13:03:53	0xcd	2.470.500	Liberando	2	Setorial 1	3380	-87	50	QPSK	QPSK
13:03:54	0xcd	2.470.500	Inativo	6	Omni-Dir	3380	-86	0	Não Usado	Não Usado
13:03:55	0xcd	2.470.500	Comunic.	6	Omni-Dir	3380	-88	200	QPSK	QPSK
13:03:56	0xcd	2.470.500	Comunic.	0	Omni-Dir	3380	-87	200	QPSK	QPSK
13:03:57	0xcd	2.470.500	Reassoc.	9	Omni-Dir	3380	-87	300	QPSK	QAM16
13:03:58	0xcd	2.470.500	Comunic.	9	Omni-Dir	3380	-87	650	QPSK	QAM16
13:03:59	0xcd	2.470.500	Comunic.	6	Omni-Dir	3380	-87	200	QPSK	QAM16
13:04:00	0xcd	2.470.500	Comunic.	9	Omni-Dir	3360	-87	200	QPSK	QAM16
13:04:01	0xcd	2.470.500	Comunic.	8	Setorial 1	3380	-89	200	QPSK	QAM16
13:04:02	0xcd	2.470.500	Comunic.	5	Setorial 1	3380	-87	200	QPSK	QAM16
13:04:03	0xcd	2.470.500	Reassoc.	10	Setorial 1	3380	-87	200	QPSK	QAM16
13:04:04	0xcd	2.470.500	Comunic.	7	Omni-Dir	3360	-86	400	QPSK	QAM16
13:04:05	0xcd	2.470.500	Inativo	6	Omni-Dir	3380	-86	0	Não Usado	Não Usado
13:04:06	0xcd	2.470.500	Resp Pag	6	Omni-Dir	3380	-87	0	Não Usado	Não Usado
13:04:07	0xcd	2.470.500	Inativo	6	Omni-Dir	3380	-86	0	Não Usado	Não Usado
13:04:08	0xcd	2.470.500	Inativo	7	Omni-Dir	3380	-88	0	Não Usado	Não Usado
13:04:09	0xcd	2.470.500	Comunic.	9	Omni-Dir	3360	-87	200	QPSK	QAM16
13:04:10	0xcd	2.470.500	Comunic.	4	Omni-Dir	3380	-88	300	QPSK	QAM16
13:04:11	0xcd	2.470.500	Comunic.	7	Omni-Dir	3380	-88	200	QPSK	QAM16
13:04:12	0xcd	2.470.500	Comunic.	12	Setorial 2	3380	-87	200	QPSK	QAM16
13:04:13	0xcd	2.470.500	Reassoc.	13	Omni-Dir	3380	-88	350	QPSK	QAM16
13:04:14	0xcd	2.470.500	Comunic.	2	Omni-Dir	3380	-88	200	QPSK	QAM16
13:04:15	0xcd	2.470.500	Comunic.	3	Omni-Dir	3360	-87	50	QPSK	QPSK
13:04:16	0xcd	2.470.500	Comunic.	2	Omni-Dir	3360	-87	200	QPSK	QAM16
13:04:17	0xcd	2.470.500	Reassoc.	8	Omni-Dir	3380	-87	600	QPSK	QAM16
13:04:18	0xcd	2.470.500	Liberando	6	Omni-Dir	3380	-87	200	QPSK	QAM16
13:04:19	0xcd	2.470.500	Inativo	7	Omni-Dir	3380	-88	0	Não Usado	Não Usado
13:04:20	0xcd	2.470.500	Inativo	7	Omni-Dir	3380	-88	0	Não Usado	Não Usado
13:04:21	0xcd	2.470.500	Inativo	7	Setorial 1	3380	-88	0	Não Usado	Não Usado

As descrições dos campos da Tabela 2 são apresentadas a seguir.

- *Hora* – Hora, minuto e segundo em que cada linha da tabela foi coletada.
- *ID da BTS* – Identificação em hexadecimal da BTS que o CPE está associado.
- *Freqüência da Base* – Freqüência que a BTS estava utilizando no momento da comunicação.
- *Status do CPE* – Mostra o estado do CPE no momento da coleta, ou seja, qual operação ele está executando. Os estados do CPE são descritos em seguida.
 - *Inativo* – CPE não está transmitindo nem recebendo informações.
 - *Comunic.* – CPE está transmitindo ou recebendo informações.
 - *Reassoc.* – CPE está sincronizando informações de conexão com a BTS.
 - *Liberando* – CPE finalizou uma comunicação e está liberando a conexão.
 - *Resp Pag* – CPE respondendo paging da BTS. Paging é um processo que é realizado pela BTS e consiste em verificar o status dos CPEs.
- *Potência de Trans.* – Potência utilizada no momento da transmissão
- *Antena* – Antena utilizada pelo CPE na transmissão.
- *Distância da Base* – Distância, em metros, que a BTS calculou até o CPE. Esta distância pode variar durante a comunicação devido a reflexões de sinal.

- *Nível de Sinal* – Nível de sinal, em dB, recebido da BTS.
- *Taxa de Download* – Taxa de *download*, medida em Kbits/s.
- *Esquema de Modulação (Upload)* – Esquema de modulação utilizado no envio das informações.
- *Esquema de Modulação (Download)* – Esquema de modulação utilizado no recebimento das informações.

Na Tabela 2, gerada através do *Drive Testing*, pode ser observada a tecnologia WiMAX variando seus esquemas de modulação durante uma transmissão.

Analizando as informações encontradas na Tabela 2, pode ser constatado que no instante “13:03:38” a estação assinante obteve uma taxa de *download* de 200Kbits/s, com distância da estação base de 3380 metros e utilizando o esquema de modulação QAM-16. Já no instante “13:03:45”, também com distância da estação base de 3380 metros, a estação assinante obteve taxa de apenas 50Kbits/s de *download*. Esta diferença na taxa de *download* foi pelo fato da estação base ter utilizado o esquema de modulação QPSK durante esta transmissão, e como citado anteriormente, o QAM-16 é mais eficiente que o QPSK. Já no instante “13:03:46”, o esquema de modulação foi novamente alterado para o QAM-16, e a estação assinante obteve taxa de *download* de 200Kbits/s. Nesta transmissão a distância calculada da estação base foi de 3360 metros.

Estas variações dos esquemas de modulação, taxas e distâncias podem ser observadas em toda a Tabela 2, demonstrando a eficiência dos esquemas de modulação. É importante ressaltar que apesar da estação estar estacionada, as variações de distância que podem ser observadas foram geradas devido às reflexões de sinal durante a transmissão.

4.2.2 Location Test

Na Tabela 3, são descritos os locais onde o *Location Test* foi realizado. Em cada uma das posições, foram feitos testes de *download* e *upload* de arquivos utilizando FTP. Como pode ser observado na tabela, em algumas localidades não foi localizado o endereço e em outras, a posição GPS não foi consultada.

Os significados das colunas da Tabela 3 são descritos a seguir.

- Índice – Foram utilizadas letras como índice da tabela, para relação com os resultados dos testes feitos em cada localidade.
- Endereço – Endereço onde cada teste foi realizado.
- GPS – Coordenada geográfica obtida através do GPS.
- Distância da BTS – Distância, em metros que a BTS localizou o CPE.
- Graus da BTS – Medida, em radianos, da direção da localização do CPE, a partir da BTS.

- CPE Hexadecimal – Identificação hexadecimal do CPE que está sendo monitorado.
- Observações – Referências do local onde o teste foi realizado.

Tabela 3 - Localidades dos *Location Tests*

Índ.	Endereço	GPS	Distância Da BTS	Graus da BTS	CPE Hexa	OBS
A	BTS	-	300	0º	ffff2acd	OUTDOOR
B	-	N 25.49.40,4 W 80.21.28,9	1000	330º	ffff2acd	OUTDOOR
C	107th NW Ave x 52nd St	N 25.49.18,4 W 80.22.8,8	1200	215º	ffff2acd	NO CARRO
D	-	N 25.49.33,9 W 80.21.4,1	1600	330º	ffff2acd	OUTDOOR
E	-	N 25.48.42,9 W 80.21.58,3	2200	270º	ffff2acd	OUTDOOR
F	38th St x 92nd	N 25.49.31,8 W 80.20.12,8	2300	330º	ffff2acd	OUTDOOR
G	9675 Doral	-	2300	300º	ffff2acd	OUTDOOR
H	97th x Doral	N 25.48.38,2 W 80.21.10,2	2700	290	ffff2acd	OUTDOOR
I	3655 107th NW	-	2890	260º	ffff2acd	INDOOR
J	94th x Doral	N 25.48.40,3 W 80.20.54	2900	300º	ffff2acd	NO CARRO
K	8650 58th St	N 25.49.34 W 80.20.12,8	3100	330º	ffff2acd	NO CARRO
L	107th Ave x 33th St	N 25.48.15,3 W 80.22.5,7	3100	290	ffff2acd	INDOOR
M	99th Ave x 33th St	N 25.48.17,1 W 80.21.10,6	3120	180	ffff2acd	OUTDOOR
N	ALLPLUS	-	3330	270º	ffff2acd	NO CARRO
O	105th Ave x 26 St	-	3750	120	ffff2acd	OUTDOOR
P	2565 107th NW	-	3760	120º	ffff2acd	NO CARRO
Q	25 St x 102th Ave	-	3990	275	ffff2acd	NO CARRO
S	87th Ave x Doral Blvd	N 25.48.34,6 W 80.20.16,5	4000	210º	ffff2acd	OUTDOOR
R	105 St x 97th Ave	-	4150	280	ffff2acd	NO CARRO
T	25 St x 92th Ave	N 25.47.47,1 W 80.20.47,1	4300	290	ffff2acd	INDOOR
U	107th Ave x 20th St	N 25.47.27,9 W 80.22.0	4430	275	ffff2acd	NO CARRO
V	107th Ave x 19th St	-	5000	280	ffff2acd	NO CARRO

Na Tabela 4, são apresentados os resultados dos testes obtidos em cada uma destas localidades. Os resultados básicos guardados foram taxas de *download* e *upload* de arquivos e também porcentagem de perda de pacotes, medida através do comando PING, utilizando o protocolo de controle ICMP.

Tabela 4 - Resultados dos testes do Location Test

índice	Taxa Média de Download (Kbits/s)	Taxa Média de Upload (Kbits/s)	% de Perda de Pacotes	OBS
A	1702,4	937,6	0%	Base Station
B	1235,2	616,8	0%	-
C	724,0	436,0	0%	-
D	528,0	368,0	0%	-
E	376,0	267,2	2%	-
F	314,8	176,0	3%	-
G	392,0	260,8	2%	-
H	244,8	163,2	4%	-
I	310,4	190,4	4%	-
J	457,6	245,6	3%	-
K	334,4	182,8	1%	-
L	332,8	222,4	11%	-
M	411,2	273,6	2%	-
N	288,0	251,2	21%	Estacionamento da AllPlus
O	412,8	275,2	5%	-
P	409,6	273,6	12%	-
Q	264,0	176,0	9%	-
S	284,8	174,4	2%	-
R	254,4	169,6	17%	-
T	83,2	Erro	32%	Upload Falhou
U	216,0	142,4	13%	-
V	177,6	113,6	23%	-

Pode ser observado que mesmo em distâncias relativamente grandes, o WiMAX se comportou de maneira estável e com taxas de download e upload interessantes.

A seguir, podem ser observadas na Figura 21, 06 capturas de tela do software “BTS BeamForming Display” onde podem ser observadas variações de *beamforming* na antena da BTS durante um dos testes realizados. O intervalo de captura de cada tela foi de 1 segundo.

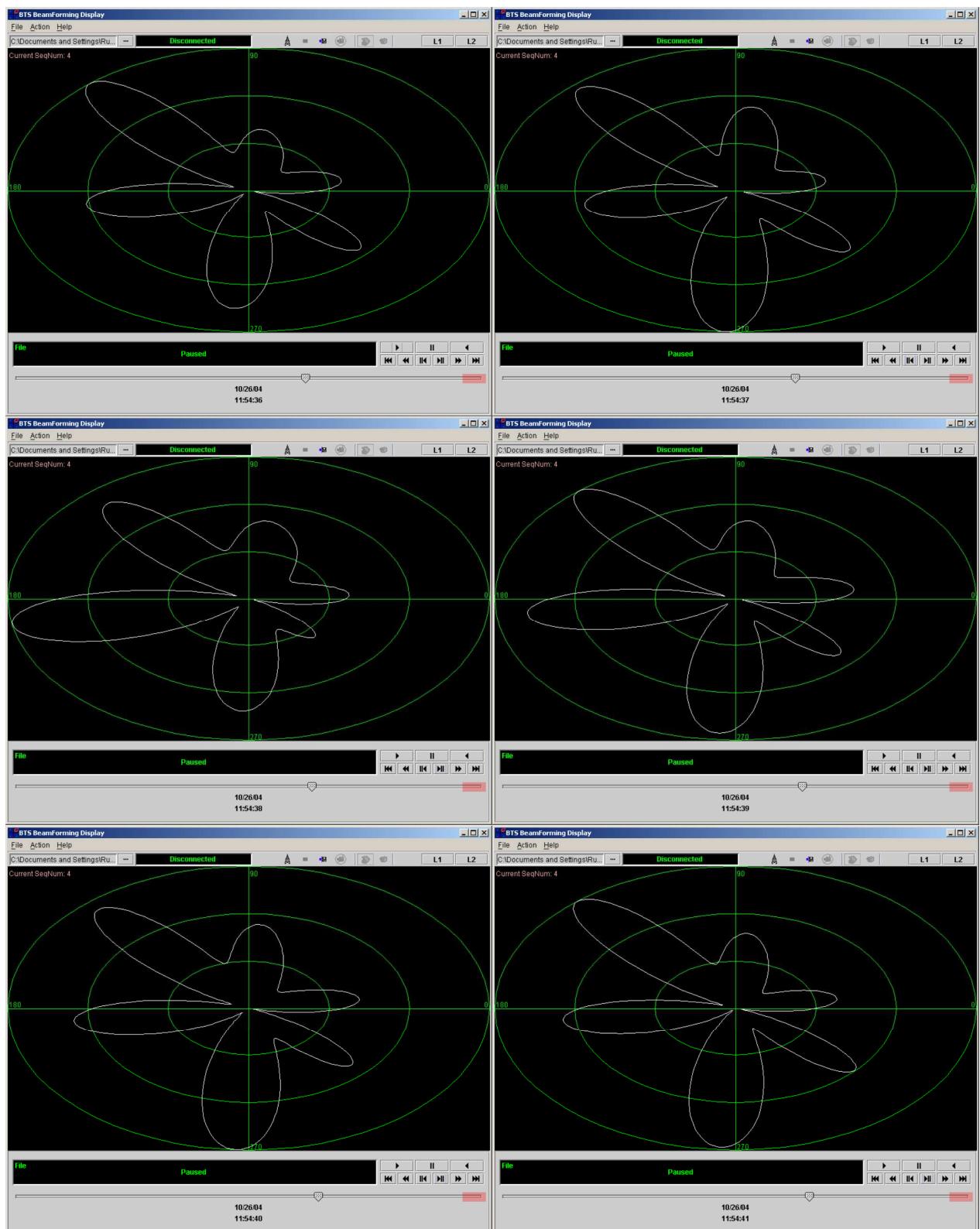


Figura 21 - Telas com Variações de *BeamForming*

Foram feitos, utilizando uma ferramenta de predição, dois mapas simulando a área de cobertura da estação base testada em Miami, operando nas freqüências de 2.4GHz e 2.6GHz. O software utilizado foi o “*MapInfo Professional®*” [12]. Ele é capaz de fazer predição de áreas de cobertura, utilizando informações como tipo de terreno, alturas, tipos de antena, freqüência, potência, etc. É muito utilizado também para aplicações em redes de telefonia celular.

É percebida claramente uma diferença muito grande na área de cobertura dos dois mapas. Esta diferença é devido à potência da BTS e do CPE, que no caso da de 2.6GHz, por ser uma freqüência licenciada, sua utilização pode ser feita com uma potência de transmissão maior que na freqüência de 2.4GHz, que é uma aberta. Nas imagens também pode ser observado que o tipo de antena utilizada na base foi a antena *Omni-Direcional*.

Um outro detalhe importante é que a *Navini Networks* possui BTS e CPE para cada tipo de freqüência, pois os componentes e tipos de antena também são diferentes. A *Navini Networks* possui soluções para as freqüências de 2.3GHz, 2.4GHz, 2.5 a 2.6GHz e 3.4 a 3.6GHz.

Nas Figuras 22 e 23, podem ser observados dois mapas da cidade de Miami juntamente com a diferença da área de cobertura da estação base nas freqüências de 2.4GHz e 2.6GHz, respectivamente.

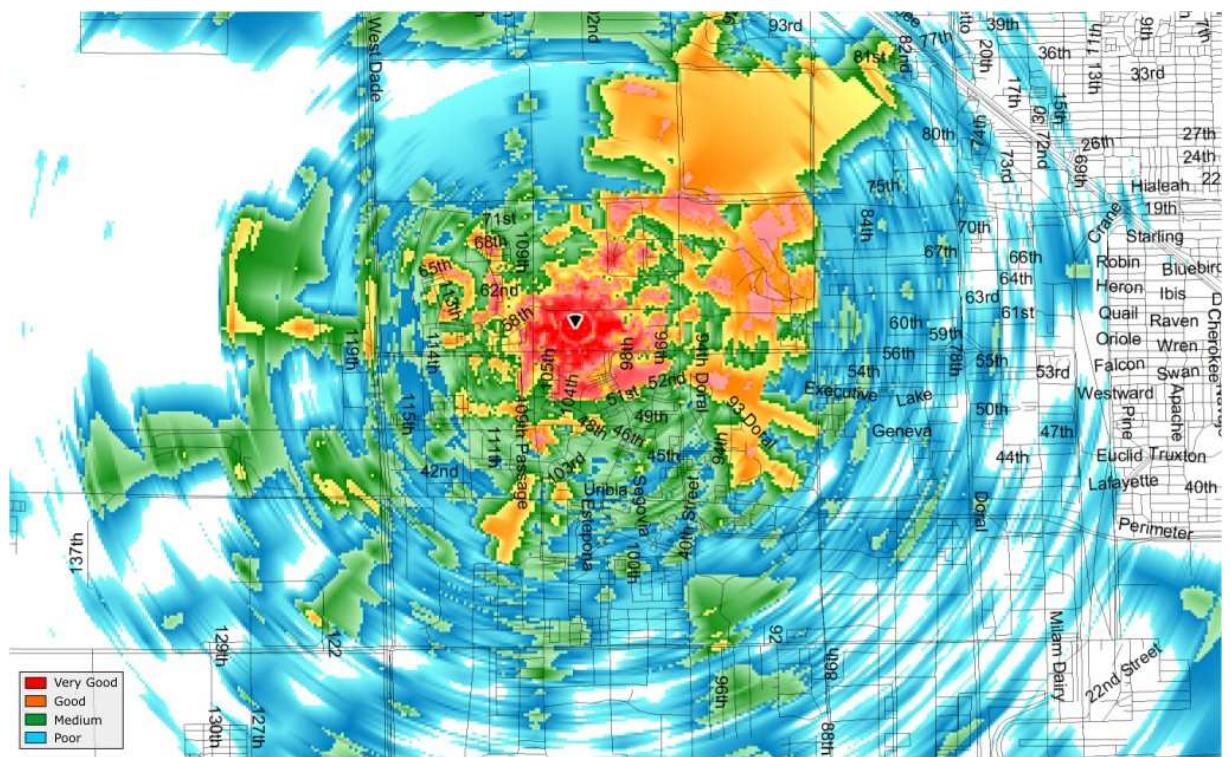


Figura 22 - BTS em Miami a 2.4GHz

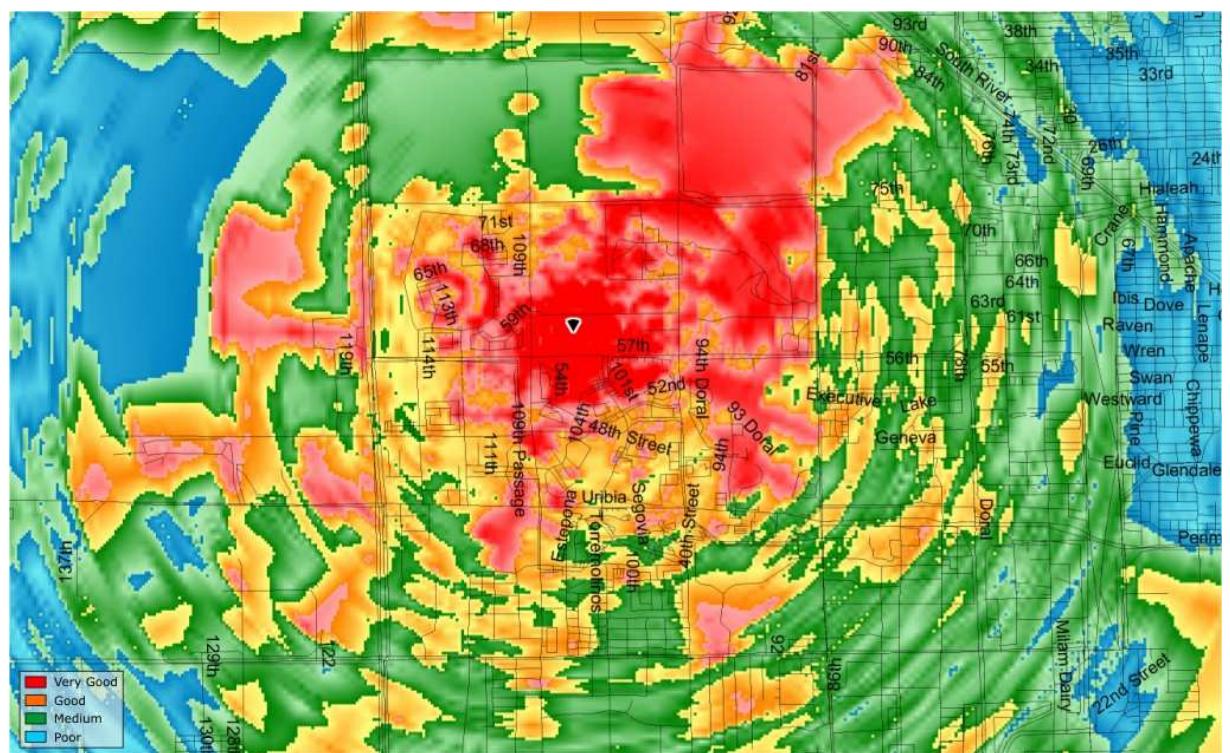


Figura 23 - BTS em Miami a 2.6GHz

4.2.3 Considerações Finais

Com a realização de testes com a tecnologia WiMAX, do fabricante *Navini Networks*, pôde ser observada a importância:

- dos esquemas de modulação presentes na sua camada física, bem como o seu comportamento em diversos ambientes e distâncias;
- da tecnologia WiMAX operar em uma faixa de frequência licenciada, possibilitando trabalhar com uma área de cobertura muito maior, e obtendo, devido aos esquemas de modulação utilizados, taxas de transferência de dados mais altas em grandes distâncias.

Pôde ser observada também a facilidade de locomoção da SS, pois mesmo não trazendo ainda suporte à mobilidade em tempo real, mover a SS de um local para outro foi uma tarefa muito simples.

5 CONCLUSÕES

O Wi-Fi é uma tecnologia que provê suporte à mobilidade em pequenos espaços e ambientes fechados, apresentando dificuldades para trabalhar em ambientes externos devido à sua sensibilidade e a características que a própria tecnologia traz na sua camada física.

Para resolver problemas de alcance com o Wi-Fi, podem ser utilizadas soluções como substituir antenas convencionais por antenas de maior ganho, ou mesmo instalar amplificadores de potência. Entretanto, estas soluções podem gerar problemas, pois elas não alteram a sensibilidade dos equipamentos, e da mesma forma que o sinal é amplificado, os ruídos presentes também são. Outro detalhe importante é que o problema não é resolvido se simplesmente o ganho e a potência na base forem aumentados, pois da mesma forma que a estação precisa receber sinal da base, a base precisa receber sinal da estação e, neste caso, os dois lados precisam ter sua infra-estrutura alterada. Esta necessidade de mudança na infra-estrutura somada com a distância que os equipamentos estão um do outro dificulta a mobilidade em grandes distâncias nesta tecnologia.

A primeira versão do WiMAX apresenta apenas suporte para estações assinantes fixas, mas ainda sim, permite a possibilidade desta estação assinante se deslocar de seu local padrão e ser novamente ligada em outro local, desde que esteja dentro da área de cobertura da estação base. Esta locomoção poderia ser, por exemplo, de um lado da cidade para o outro. Isto se tornou possível devido à nova camada física que a tecnologia utiliza.

Os equipamentos testados operavam na freqüência de 2.4GHz. Entretanto, conforme visto nos mapas, se a rede estiver operando com uma freqüência licenciada e rádios com potências mais altas, a área de cobertura passa a ser maior, e devido aos esquemas de modulação utilizados, também se tem velocidades maiores em grandes distâncias.

O mercado das telecomunicações já aguarda ansioso pela chegada desta tecnologia e todos esperam que ela seja uma tecnologia tão ou mais promissora que o Wi-Fi, pois os benefícios e serviços trazidos para o mercado e para os usuários são inúmeros.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEEE Standards 802.11. **Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications**, Publicado em 1999.
- [2] ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações. **Resolução nº. 365**. http://www.anatel.gov.br/biblioteca/Resolucao/2004/res_365_2004.pdf Acessado em 17 ago 2005.
- [3] IEEE Standards 802.16™ for Local and metropolitan area networks. Part 16: **Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems**. PDF: SS95246 Publicado em 01 out 2004.
- [4] TANENBAUM, A. S. **Redes de Computadores**. Tradução da quarta edição. Rio de Janeiro. Elsevier, 2003.
- [5] IEEE Standards 802.16e™ for Local and metropolitan area networks. Part 16: **Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems**. Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1 PDF: SE95394 Publicado em 28 fev 2006.
- [6] **WiMAX: Um Bem Necessário.** <http://www.teleco.com.br/emdebate/eprado09.asp> Acessado em 05 ago 2005.
- [7] **Diagramas de Irradiação de Antenas.** <http://www.hyperlinktech.com>. Acessado em 30 ago 2005.
- [8] **Equipamentos – Navini Networks.** <http://www.navini.com>. Acessado em 17 set 2005.
- [9] **Intel and WiMAX.** http://www.intel.com/standards/case/case_wimax.htm Acessado em 12 ago 2005.
- [10] **Testes com WiMAX** – Os testes foram realizados em Miami, no período de 24 out 04 a 29 out 2004.
- [11] **BreezeNET PRO.11 Series – User's Guide**. BreezeCOM Ltd. 1999.
- [12] **Software MapInfo® Professional**. <http://www.mapinfo.com>