

A REDE SEM FIO METROPOLITANA WIMAX



Marcelo Ricardo Barbosa Viana Al CFOE COM
 Paulo César Torres de Almeida Al CFOE COM
 Wilson Castelo Branco dos Santos Al CFOE COM

Jorge de Oliveira Balbino Cap Esp COM¹

RESUMO

Este artigo apresenta, de forma simplificada, as redes sem fio de longo alcance WiMAX, apontando algumas possibilidades de uso nas Unidades do Comando Maior da Aeronáutica (COMAER). As redes WiMAX são uma evolução das tradicionais redes sem fio (Wi-Fi) e solucionam algumas de suas deficiências, como o alcance limitado e protocolos de comunicação pouco seguros (WAP e WEP). Com o uso das WiMAX, é possível conectar entre si, sem qualquer infraestrutura (eletricidade, cabeamento, etc), seções de uma organização militar (em uma área geográfica com raio de até 50 quilômetros) com menor custo do que a fibra óptica ou o cabeamento Ethernet.

Palavras-chave: Tecnologias de rede. Tecnologia WI-FO. Tecnologia WiMAX.

¹ Leitor técnico. Adjunto da Subdivisão de Planejamento do CINDACTA III.

1 HISTÓRICO

A ideia da comunicação sem fio é resultado de uma série de evoluções da ciência, em campos como a matemática e a física. Diversos nomes, como Michael Faraday, James Clerk Maxwell, Heinrich Hertz e Guglielmo Marconi merecem destaque no desenvolvimento da tecnologia.

As comunicações sem fio tiveram um avanço mais acelerado durante as duas Grandes Guerras, fruto da necessidade de uma comunicação mais eficiente que garantisse vantagem estratégica no campo de batalha.

A interconexão dos elementos de uma rede (*hosts*) sem o uso de fios ou cabos é recente, tem cerca de 15 anos. Antes disso, todos os *hosts* eram interligados por cabos coaxiais ou par trançado. Contudo, as novas e crescentes necessidades de flexibilidade e rapidez de montagem/alterações nas redes tornaram o padrão cabeado de redes limitado. A fim de suprir essas deficiências das redes cabeadas, foram criadas as redes *wireless* (Wi-Fi) com tecnologia que proporciona a montagem de redes que conectam computadores e outros dispositivos compatíveis (videogames, *smartphones*, impressoras, etc) que estejam próximos e, conseqüentemente, dentro do alcance de transmissão. A indústria sempre se empenhou em disponibilizar comercialmente a tecnologia de comunicação sem fio, mas a falta de padronização de normas e especificações sempre se mostrou como um empecilho. Para sanar essa deficiência, em 1999, a *Wireless Ethernet Compatibility Alliance* (WECA), consórcio formado por empresas como a Motorola, 3Com, Nokia, entre outras, passou a trabalhar com as especificações do Instituto dos Engenheiros Eletrônicos e Eletricistas (IEEE) mais detalhadamente, a IEEE 802.11, baseada no consagrado padrão de redes com fio, o IEEE 802.3 (Ethernet). Essencialmente, o que mudava de um padrão para o outro eram

suas características de conexão: um tipo funcionava com cabos, o outro, por radiofrequência. A vantagem disso é que não foi necessária a criação de nenhum protocolo específico para a comunicação de redes sem fios baseado nessa tecnologia.

No entanto, com o passar do tempo, o padrão Wi-Fi 802.11 começou a se mostrar deficiente frente às novas demandas: seu alcance é limitado a cerca de cem metros e seus protocolos de segurança (WAP/WEP) são frágeis.

Foi, então, nesse cenário, que surgiram as redes sem fio de longa distância (W-MAN) WiMAX como uma possibilidade de resolver as limitações das redes Wi-Fi, fornecendo suporte à operação sem linha de visada (*Non-line of Sight* - NLOS) e infraestrutura de última milha (*last mile*), em conformidade com o padrão IEEE 802.16 que representa a base de sua tecnologia possibilitando, assim, o avanço das redes sem fio.

O benefício crucial do padrão WiMAX é a oferta de conexão internet banda larga de longo alcance (até 50 quilômetros) em regiões onde não existe infraestrutura de cabeamento telefônico ou de TV por Cabo que, sem a menor dúvida, é muito mais custoso. Essa característica do WiMAX pode ser explorada em Organizações Militares situadas em locais remotos, onde não há infraestrutura adequada (abrigos, energia,...) que possibilite a instalação de pontos de repetição entre essas seções (algumas vezes distantes quilômetros umas das outras), permitindo, assim, conectar todas as seções dessas OM em rede. Com o WiMAX, esses setores de trabalho podem ser interligados em rede de uma forma mais econômica e rápida do que por métodos tradicionais (cabeamento Ethernet ou fibra óptica).

2 INTRODUÇÃO

| | | | | |
|---------|----------------|------|------------|------|
| R. CFOE | Belo Horizonte | n. 5 | p. 47 - 68 | 2010 |
|---------|----------------|------|------------|------|

Recentemente novas tecnologias de redes sem fio têm sido desenvolvidas pelo IEEE, em conjunto com a indústria, com foco em interoperabilidade, suporte ao protocolo IP e a altas taxas de transmissão.

Um exemplo é a tecnologia Wi-Fi, baseada no padrão IEEE 802.11, que consiste em uma solução já amplamente difundida de redes locais sem fio (WLAN). O Wi-Fi suporta operação em bandas não licenciadas (2,4 e 5,8 GHz, no Brasil) e área de cobertura na ordem de centenas de metros e com taxas de transmissão de até 54 Mbit/s.

Na mesma linha da tecnologia Wi-Fi, o IEEE especificou as bases da tecnologia WiMAX, utilizando o padrão IEEE 802.16. Trata-se de uma tecnologia de rede metropolitana sem fio (WMAN), com suporte à cobertura na ordem de quilômetros e taxas de transmissão de até 74 Mbit/s, além de qualidade de serviço (QoS) e interfaces para redes IP, ATM, E1/T1 e Ethernet.

O termo WiMAX foi criado por um grupo de indústrias conhecido como WiMAX Forum, cujo objetivo é promover a compatibilidade e interoperabilidade entre equipamentos baseados no padrão IEEE 802.16. Este padrão é similar ao padrão Wi-Fi (IEEE 802.11), que já é bastante difundido, porém agrega conhecimentos e recursos mais recentes, viabilizando uma grande variedade de serviços de banda larga sem fio, incluindo Voz sobre IP (VoIP) e vídeo sob demanda.

3 PADRÃO IEEE 802.16

A primeira versão do padrão 802.16 foi estabelecida em 2001, após dois anos do início do desenvolvimento da norma. O WiMAX cobriria apenas a faixa de frequências de 10 GHz a 66 GHz e só operaria em linha de visada, o que significa que o receptor precisaria ser visível para o emissor. Em 2003, foi publicada a versão 802.16c, que

especificava um conjunto de perfis para a operação do sistema na faixa de 10 GHz a 66 GHz e contribuía para garantir a interoperabilidade entre diferentes fabricantes. No início de 2004, foi publicada a versão 802.16.2-2, que correspondia a um conjunto de “melhores práticas” para a implantação da rede WiMAX, em diversos cenários possíveis no mundo real.

No entanto, a necessidade de operar em linha de visada representaria um fator limitante para a adoção da tecnologia, pois dificultaria a sua implantação, principalmente em áreas urbanas. Com o objetivo de superar a limitação de linha de visada, o IEEE publicou, ainda em 2003, a versão 802.16a, que especifica a operação em faixas de frequências entre 2 e 11 GHz.

Em 2004, foi publicada a versão 802.16-2004, que incorporou a versão 802.16a e especificou as regras para a interoperabilidade nas frequências até 66 GHz (com foco nas faixas até 11 GHz) e que está sendo adotada como base para o desenvolvimento dos primeiros chipsets WiMAX. Finalmente, foi desenvolvida a versão 802.16e, que passou a suportar mobilidade entre células e viabilizou o desenvolvimento dos primeiros processadores para PC's com WiMAX e Wi-Fi embutidos, com chegada ao mercado no início de 2007.

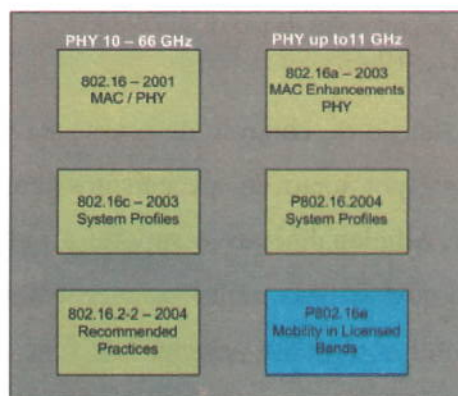


Figura 1: Versões do padrão IEEE 802.16

Fonte: Elaborada pelos autores.

A versão atual do padrão IEEE 802.16 (IEEE 802.16-2004) especifica a interface aérea para frequências até 66 GHz e inclui a camada de enlace de dados (MAC) e múltiplas camadas físicas (PHY), segundo a arquitetura de protocolos ilustrada pela figura 2.

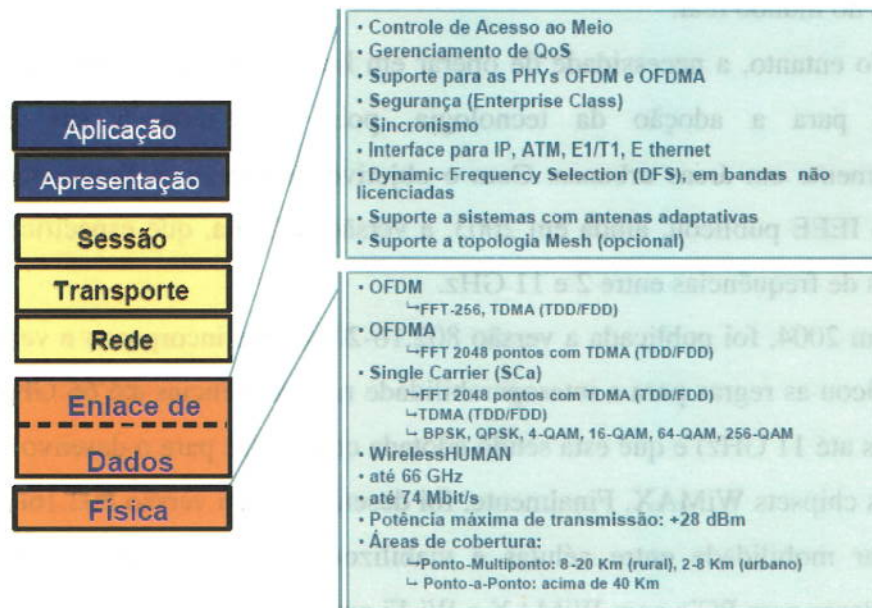


Figura 2: Arquitetura de protocolos da tecnologia WiMAX
Fonte: INSTITUTE..., 1999.

A camada MAC tem a função de controle de acesso ao meio e de garantia do nível de QoS na interface aérea, por meio de mecanismos dinâmicos de reserva de banda e priorização de tráfego. Adicionalmente, o suporte a múltiplas interfaces para camadas físicas e para a rede-núcleo bem como os mecanismos de sincronismo e segurança da informação constitui o conjunto principal de funcionalidades da camada MAC especificada no padrão 802.16. Esse conjunto de funcionalidade nas camadas física e de enlace dá suporte à operação em cenários NLOS.

4 ARQUITETURA E TOPOLOGIA DE REDE

A topologia e a arquitetura de rede especificada pelo IEEE 802.16a estão ilustradas na figura 6. São definidos os elementos *Base Station* (BS) e *Subscriber Station* (SS). A BS realiza a interface entre a rede sem fio e uma rede-núcleo (Core Network), suportando interfaces IP, ATM, Ethernet ou E1/T1. A SS permite ao usuário ter acesso à rede, por intermédio do estabelecimento de enlaces com a BS, em uma topologia Ponto-Multiponto. Como alternativa a essa topologia, o padrão especifica a topologia Mesh (opcional), na qual uma SS pode se conectar a uma ou mais SS intermediárias, até atingir a BS. Nesse caso, trata-se de uma rede *multihop*, que representa uma estratégia interessante para expandir a área de cobertura total da rede sem a necessidade de um aumento proporcional do número de BSs, o que representa uma economia significativa nos custos de implantação, já que as SSs deverão ter custo bem inferior ao das BSs.

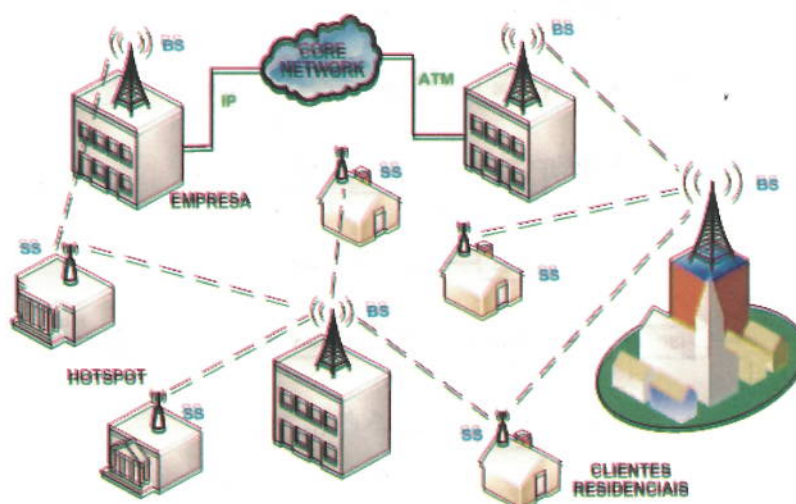


Figura 3: Topologia e arquitetura de rede da tecnologia WiMAX
Fonte: Elaborada pelos autores.

| | | | | |
|---------|----------------|------|------------|------|
| R. CFOE | Belo Horizonte | n. 5 | p. 47 - 68 | 2010 |
|---------|----------------|------|------------|------|

5 TIPOS DE MODULAÇÃO

5.1 Modulação OFDM

A modulação Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) representa um elemento fundamental para suportar operação sem linha de visada na tecnologia WiMAX, em razão do alto desempenho alcançado. Trata-se de uma técnica de multiplexação de informações em um conjunto de subcanais modulados por subportadoras de banda estreita ortogonais entre si que possibilitam o reagrupamento do sinal transmitido, mesmo que a conexão entre o transmissor e o receptor tenha sido multipercurso.

Esse esquema de modulação pode ser implementado como um banco de filtros, como mostra a figura 4.

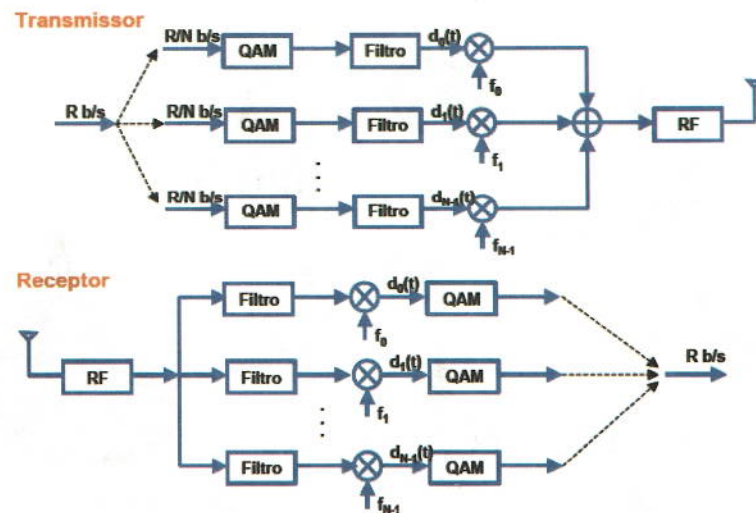


Figura 4: Modulação OFDM implementada por meio de banco de filtros
Fonte: WIMAX'S..., 2004.

Nesse caso, uma sequência de bits transmitida a uma taxa de R bits/s é multiplexada em N subcanais, resultando na transmissão de R/N bits/s sobre cada subportadora. Essa estratégia tem como benefício imediato a possibilidade de utilização de equalizadores simplificados nos receptores.

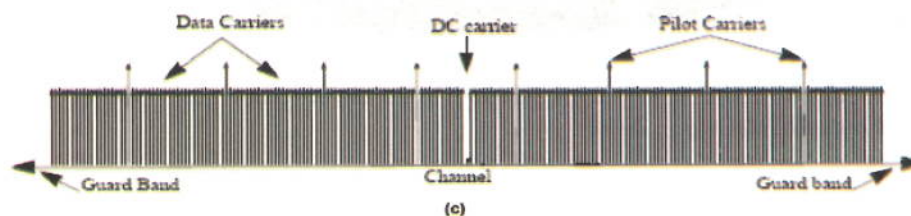


Figura 5: Modulação OFDM na tecnologia WiMAX.
Fonte: WIMAX'S..., 2004.

Apesar da sua complexidade, a técnica OFDM oferece uma forma eficaz de superar os desafios de propagação em um ambiente NLOS.

5.2 Modulação adaptativa

Na tecnologia WiMAX, além do esquema de multiplexação OFDM, adota-se um esquema de modulação adaptativa, conforme figura 6. Nesse esquema, a definição da modulação a ser adotada na camada física é realizada pelo requisito de taxa de transferência do usuário e pela relação sinal-ruído do enlace. Condições de propagação severas ou enlaces muito longos requerem esquema de modulação de menor nível e mais robusto, portanto. Nesse caso, em detrimento da taxa de transmissão, é garantida uma comunicação estável a taxas mais baixas.

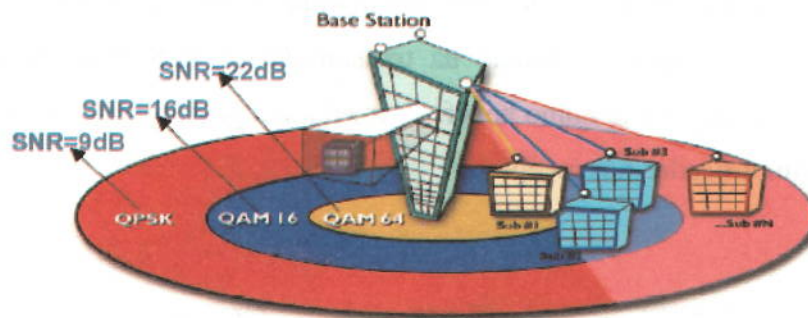


Figura 6 : Esquema modulação adaptativa adotado na tecnologia WiMAX
 Fonte: WIMAX 'S..., 2004.

Quando altas taxas são necessárias e as condições de propagação são favoráveis, usualmente enlaces de curta a média distância e esquemas de modulação de alta eficiência espectral são empregados para garantir taxas elevadas de transmissão. Isso significa que locais mais próximos da Estação Base terão uma taxa de transmissão mais alta porque utilizarão uma modulação QAM-64 (8 bytes por ciclo), enquanto que pontos com maior distância radial terão menor taxa, pois utilizarão a modulação QPSK (4 bits por ciclo).

A chave na modulação adaptativa é que ela aumenta a faixa na qual uma modulação de mais alta ordem pode atuar, uma vez que é feita adaptação conforme distância e condições de desvanecimento (particularmente crítico em ambientes NLOS), ao invés de, como nos sistemas tradicionais, manter um esquema de modulação fixo, eficiente para as piores condições, porém lento.

6 OPERAÇÃO SEM LINHA DE VISADA (NLOS)

| | | | | |
|---------|----------------|------|------------|------|
| R. CFOE | Belo Horizonte | n. 5 | p. 47 - 68 | 2010 |
|---------|----------------|------|------------|------|

A definição da operação em linha de visada é estabelecida com base nas zonas de Fresnel. O conceito formal da chamada “zona de Fresnel” é o lugar geométrico cuja abrangência é modelada através de zonas volumétricas elipsoidais em torno do eixo de visada direta entre transmissor e receptor.

A questão fundamental para a operação em linha de visada está em torno da primeira zona de Fresnel, que é o espaço livre necessário para que não haja reflexão da onda do sinal direto transmitido até que ele chegue à antena receptora, impedindo, dessa forma, que exista interferência com os sinais de fase invertida. Dentro da primeira zona de Fresnel, não pode haver obstáculos, a fim de evitar essa interferência de propagação. Os obstáculos à propagação do sinal de rádio podem provocar, entre outros efeitos, a difração.

Desse modo, a abertura da primeira zona de Fresnel, que depende da frequência de operação e das distâncias para os obstáculos, impõe um limite mínimo à altura da antena transmissora.

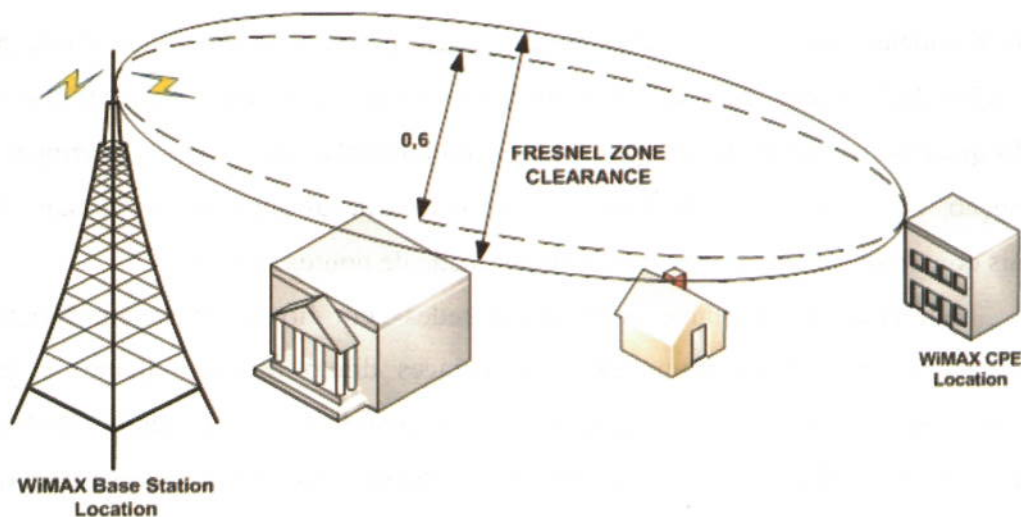


Figura 7: Zonas de Fresnel e a definição de operação em linha de visada
Fonte: Elaborada pelos autores.

Em contrapartida, em um link NLOS (sem linha de visada), o sinal transmitido alcança o receptor através de reflexões, dispersões e difrações. Esses sinais são compostos de múltiplas componentes que percorrem caminhos diretos, refletidos, também formados por energia dispersa e sinais difratados, apresentando diferentes atrasos de espalhamento, atenuação, polarização e estabilidade em comparação com o sinal que percorre o caminho direto.

Esse fenômeno de transmissão multipercurso pode acarretar uma mudança na polarização do sinal transmitido e, em virtude disso, algumas aplicações comuns na operação em linha de visada, como a frequência de reuso, por exemplo, podem ser problemáticas se implantadas em sistemas NLOS. A forma como os sistemas de rádio utilizam estas transmissões multipercurso é a chave para o fornecimento do serviço em condições NLOS.

A operação em frequências abaixo de 11 GHz (padrão atual do WiMAX) implica a transmissão em enlaces de radiofrequência com comprimentos de onda suficientemente longos para tornar desnecessária a condição de visada direta para a operação. Adicionalmente, a recepção de sinais em multipercurso é possível nessa faixa de frequências, o que pode ser aproveitado para aumentar ainda mais o desempenho na recepção. Isto resolve grande parte dos problemas de alcance das redes sem fio em locais com muitas construções (grande quantidade de pontos cegos).

Um problema bastante comum em redes sem fio baseadas em NLOS é o desbalanceamento de cobertura entre os enlaces direto (estação-cliente) e reverso (cliente-estação), ou seja, a cobertura do sinal no sentido reverso é menor. De fato, em vários cenários práticos foi constatado que as estações clientes sofrem restrições quanto ao consumo de potência e quanto a potência máxima de transmissão, resultando em uma tendência natural para que a cobertura seja limitada pelo enlace reverso. Para minimizar o problema do desbalanceamento de cobertura entre os enlaces, o padrão 802.16 adota a

técnica de subcanalização, representada na figura 8, que consiste em utilizar toda a potência disponível em apenas 25% das subportadoras no enlace reverso, o que permite elevar a potência efetiva em um fator de quatro vezes nas subportadoras selecionadas. O preço a ser pago pelo aumento de cobertura por meio da subcanalização é a redução na vazão máxima suportada pelo enlace, uma vez que 75% do total de subportadoras não estão sendo utilizadas.



Espectro de transmissão direto. Cada slot representa uma portadora de RF e sua potência.



Sinal utilizando todas as subportadoras, porém com um quarto da potência; assim o alcance será menor.

Figura 8: Esquema de subcanalização na tecnologia WiMAX

Fonte: Elaborada pelos autores.

Espectro de transmissão do cliente usando somente um quarto das portadoras, mas ao mesmo nível de potência da estação base. Assim o alcance será o mesmo, porém com um quarto das subportadoras disponíveis.

7 SEGURANÇA

A NSCA 7-13/2006 é a norma que especifica quais aspectos devem ser considerados quanto ao emprego de redes sem fio no COMAER (BRASIL, 2006).

As considerações que cabem nesse caso estão no item 3.11 (Soluções Técnicas Baseadas em Redes Sem Fio) dessa norma:

a) 3.11.1 - o emprego de redes sem-fio para estabelecer conectividade entre estações ou entre redes que integram a INTRAER só poderá ser efetivado com autorização do DECEA; e

b) 3.11.2 - o emprego de redes sem-fio como solução técnica de TI para atender a atividades ou sistemas de interesse do COMAER só poderá ser efetivado com autorização do DECEA, mesmo que estas atividades ou sistemas estejam isolados da INTRAER e que sua operação tenha caráter temporário.

A proteção contra intrusão e a segurança na troca de dados entre os componentes da rede WiMAX foram aprimoradas em relação ao que é utilizado nas redes Wi-Fi 802.11 (protocolos de segurança WAP e WEP). Nas redes WiMAX, um sistema de verificação de autenticidade e de troca de chaves criptográficas entre os usuários e as estações base, semelhante ao que já é utilizado nas transações bancárias pela internet, garante um alto grau de confidencialidade, confiabilidade e autenticidade dos dados. A NSCA 7-13/2006 é a norma que especifica quais aspectos devem ser considerados quanto ao emprego de redes sem fio no COMAER (BRASIL, 2006).

As considerações que cabem nesse caso estão no item 3.11 (Soluções Técnicas Baseadas em Redes Sem Fio) dessa norma:

a) 3.11.1 - o emprego de redes sem-fio para estabelecer conectividade entre estações ou entre redes que integram a INTRAER só poderá ser efetivado com autorização do DECEA; e

b) 3.11.2 - o emprego de redes sem-fio como solução técnica de TI para atender a atividades ou sistemas de interesse do COMAER só poderá ser efetivado com autorização do DECEA, mesmo que estas atividades ou sistemas estejam isolados da INTRAER e que sua operação tenha caráter temporário.

A proteção contra intrusão e a segurança na troca de dados entre os componentes da rede WiMAX foram aprimoradas em relação ao que é utilizado nas redes Wi-Fi 802.11 (protocolos de segurança WAP e WEP). Nas redes WiMAX, um sistema de verificação de autenticidade e de troca de chaves criptográficas entre os usuários e as estações base, semelhante ao que já é utilizado nas transações bancárias pela internet, garante um alto grau de confidencialidade, confiabilidade e autenticidade dos dados.

7.1 O acesso

Para o início da utilização do serviço, é necessário estabelecer um canal de comunicação confiável a fim de validar as SS (usuários) e as BS (estações base). Ao iniciar o serviço, a SS busca uma BS por um canal de controle. A SS é autenticada pela BS pelo protocolo *Privacy Key Management* (PKM), o qual verifica se o Certificado de Autenticidade (X.509) da SS é válido e está devidamente cadastrado na infraestrutura de Chaves Públicas (PKI). Com isso são geradas e trocadas as chaves de segurança, efetivando a conexão.

As associações de segurança (verificação dos Certificados X.509 e dos MAC) têm o intuito de proteger a conexão de transporte entre a SS e a BS por meio de criptografia DES e AES e duas chaves de criptografia (uma associação estática que é estabelecida durante a inicialização do enlace na estação base e uma chave dinâmica que é alterada em determinados momentos). O certificado padrão X.509 identifica a estação cliente e compartilha uma chave de autorização entre duas estações, permitindo a BS configurar parâmetros na SS. Utiliza uma criptografia RSA com um *hash* (verificador de integridade), que informa o emissor do certificado, período de validade e assinatura. O *Privacy Key Management* distribui um *token* (código) de autorização para a estação cliente por meio de informações como fabricante do dispositivo e certificado.

7.2 Confidencialidade

Durante o trânsito das informações, é necessário que os pacotes enviados e recebidos tenham a garantia de que não sejam vistos por ninguém para quem a mensagem não tenha sido endereçada. Também é de fundamental importância que a informação não seja adulterada durante o seu percurso. Para isso, o WiMAX implementa *Data Encryption Standard* (DES) com extensões para *Advanced Encryption Standard* (AES), ou seja, o tráfego é criptografado e autenticado fim-a-fim através de *Extensible Authentication Protocol* (PKM-EAP).

8 LIMITAÇÕES DA TECNOLOGIA

Apesar das inúmeras aplicações do WiMAX, foram percebidas pelas empresas que estão fazendo uso da tecnologia algumas limitações, dentre as quais destacam-se:

- a) uma grande variação na velocidade real de transmissão;
- b) possibilidade de ocorrência de sobreposição de utilização de frequência com algum serviço já existente;
- c) inviabilização da tecnologia em alguns países devido ao estabelecimento de de uma política específica para proteção do investimento, pois oferece serviços (internet em dispositivos móveis, VoIP), que poderiam conflitar com a tecnologia de telefonia móvel tradicional;
- d) limitações, na faixa de frequências mais altas, quanto a interferências pela chuva, causando diminuição de taxas de transferências e diminuição do raio de cobertura; e

e) lentidão do link, caso sejam utilizados muitos computadores por ponto de acesso. Apesar de a taxa de transferência ser a mesma na área de cobertura de um ponto de acesso, essa será dividida por cada cliente conectado ao ponto.

9 APLICAÇÕES

Podem-se apontar diversas possibilidades de aplicação do WiMAX no COMAER, dentre as quais serão citadas duas:

1) em Unidades localizadas em áreas rurais, com suas seções dispostas de forma dispersa no terreno e com pouca infraestrutura entre elas.

A título ilustrativo, vamos utilizar como exemplo um Destacamento de Detecção e Telecomunicações, cuja imagem de satélite é vista abaixo. Podemos notar, ao analisar a imagem, que as seções desta OM (pontos A, B, C e D) estão dispersas em um raio médio de 500 metros. A conexão dessas seções em rede utilizando Wi-Fi é inviável nesse caso porque a distância entre os pontos que se deseja alcançar ultrapassa em muito os 100 metros que a Wi-Fi cobre, tornando necessária a instalação de pontos de repetição (que exigem abrigo e energia) no meio do caminho. Além disso, o custo para conectar essas seções em rede utilizando fibra óptica ou cabeamento Ethernet com repetidores pode ser alto. Com o WiMAX, é possível conectá-las apenas instalando um ponto central de onde o sinal será difundido (por exemplo, o ponto A, Comando). Como a distância envolvida é muito menor que o alcance máximo coberto pelo WiMAX (50 Km), a taxa de transmissão será alta dentro da área de interesse (marcada em azul), pois teremos uma alta relação sinal/ruído, o que permitirá o uso de uma modulação com maior velocidade de transferência, como a QAM-64 (devido à modulação autoadaptativa).

Diversos sinais poderão trafegar com segurança nessa rede: imagens de câmeras de vigilância, telefonia, dados etc.

O raio de alcance amplo do WiMAX permite que outra possibilidade seja explorada: conectar esta OM remota que, em grande parte dos casos, fica localizada em áreas rurais, ao provedor de acesso à internet da cidade mais próxima, tarefa que, com a Wi-Fi, exigiria o uso de repetidores no percurso do sinal, tornando o projeto oneroso.

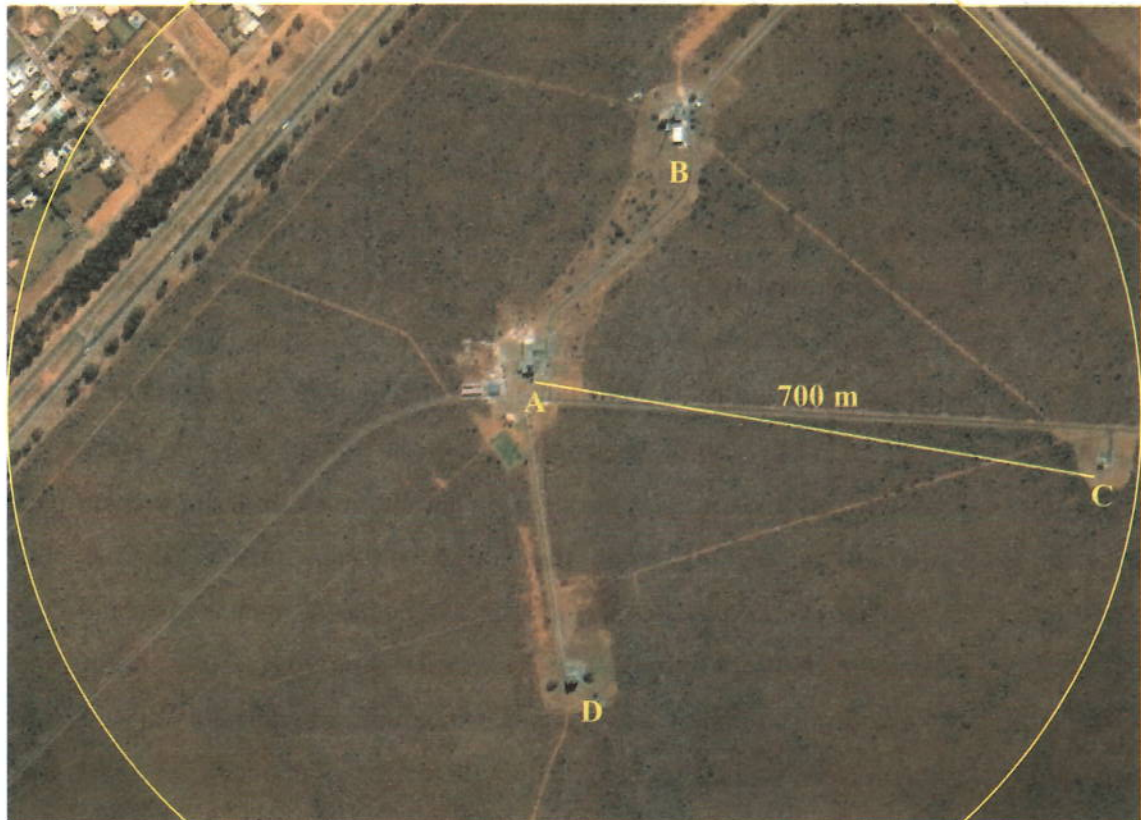


Figura 9: Imagem de satélite de um Destacamento de Detecção e Telecomunicação
Fonte: GOOGLE, 2010.

2) organizações militares situadas geograficamente dentro de um raio de até 50 quilômetros podem ser interligadas em rede com o WiMAX, possibilitando as essas OM usufruir de todas as facilidades que uma rede *wireless* com mobilidade dispõe. Como exemplo, podemos usar as unidades da FAB da região de Brasília, cujas instalações (ver imagem abaixo) estão dispostas dentro de um raio de 15 quilômetros.



Figura 10: Imagem de satélite das unidades da FAB na região de Brasília
Fonte: GOOGLE, 2010.

| | | | | |
|---------|----------------|------|------------|------|
| R. CFOE | Belo Horizonte | n. 5 | p. 47 - 68 | 2010 |
|---------|----------------|------|------------|------|

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As redes *wireless* de alcance metropolitano (WiMAX) suprem as deficiências das redes Wi-Fi, que têm alcance limitado a cerca de 100 metros e protocolos de segurança pouco confiáveis.

As WiMax resolvem a deficiência de alcance das Wi-Fi e garantem a segurança do tráfego de dados através do protocolo de gerenciamento de chaves criptográficas (PKM). Essa tecnologia permite o fornecimento de acesso banda larga, VOIP e inúmeros serviços, especialmente em locais onde a infraestrutura de rede cabeada não está disponível.

Diversas unidades localizadas em áreas próximas podem ser interligadas em rede com segurança. Os custos de ligações telefônicas podem ser reduzidos e todas as vantagens que uma rede sem fio proporciona estão disponíveis.

Unidades localizadas em locais remotos e com pouca infraestrutura nas imediações podem interconectar seus diferentes setores, mesmo os mais afastados.

Apesar do custo inicial da instalação e das suas deficiências, como a taxa de transmissão baixa para distâncias maiores e a falta de autenticação no sentido usuário-estação base, as várias possibilidades de aplicação no COMAER tornam o WIMAX um excelente recurso a ser empregado.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **NSCA 7-13**: segurança de sistemas de tecnologia da informação no comando da aeronáutica. Brasília: [s.n], 2006.

GOOGLE Maps. Disponível em: <<http://www.google.com.br>>. Acessado em: 15 jul. 2010.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. Air Interface for fixed broadband wireless access. New York: ANSI/IEEE, 2004. 340p. Disponível em:<http://wirelessman.org/tg1/docs/802161-00_01r4.pdf>. Acessado em: 15 ago. 2010.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer Specifications. New York: ANSI/IEEE, 1999. 528p. Disponível em:<<http://www.csse.uwa.edu.au/adhocnets/802.11-1999.pdf>>. Acessado em: 20 ago. 2010.

TELECO: inteligência em telecomunicações. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/>>. Acessado em: 25 jul. 2010.

WIMAX'S technology for LOS and NLOS environments. 2004. 19p. Disponível em: <<http://techrepublic.com.com/5221-6230-0.html?tag=tr-nav>>. Acessado em: 10 ago. 2010.