

**FABIO MANUEL PASCHOALINI**

**WI-FI E WIMAX: TECNOLOGIAS EM REDES SEM FIO**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2007

**FABIO MANUEL PASCHOALINI**

**WI-FI E WIMAX: TECNOLOGIAS EM REDES SEM FIO**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Área de Concentração:  
Redes de Computadores

Orientador:  
Prof. Luiz Henrique Andrade Correia

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2007

### **Ficha Catalográfica**

Paschoalini, Fabio Manuel

Wi-Fi e WiMAX Tecnologias em Redes Sem Fio / Fabio Manuel Paschoalini. Lavras – Minas Gerais, 2007. 51p : il.

Monografia de Graduação – Universidade Federal de Lavras. Departamento de Ciência da Computação.

1. Introdução. 2. O Padrão 802.16. 3. O Padrão 802.11. 4. Comparando os Padrões 802.11 e 802.16. 5. Análise de uma Rede Wireless. 6. Conclusão. I. Paschoalini, F. M. II. Universidade Federal de Lavras. III. Título.

**FABIO MANUEL PASCHOALINI**

**WI-FI E WIMAX: TECNOLOGIAS EM REDES SEM FIO**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em 21 de Março de 2007

---

Prof. Cláudio Fabiano Motta Toledo

---

Prof. José Monserrat Neto

---

Prof. Luiz Henrique Andrade Correia  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por iluminar meu caminho, fazendo com que sempre sejam tomadas as melhores decisões possíveis e que permitiu que esse meu objetivo fosse cumprido.

Agradeço também aos meus pais, Helio Paschoalini e Ires Manuel Paschoalini, meus irmãos, Augusto Manuel Paschoalini e Renato Manuel Paschoalini, que sempre estiveram ao meu lado nos momentos alegres e nos momentos difíceis, fazendo com que nunca pensasse em desistir deste meu objetivo.

Um agradecimento especial ao orientador, Luiz Henrique Andrade Correia, que teve paciência e compreensão necessária para que eu realizasse este trabalho tranquilamente.

Obrigado a todos que tornaram isso possível!

## **Wi-Fi e WiMAX: Tecnologias em Redes Sem Fio**

### **RESUMO**

A utilização das redes de computadores hoje é cada vez maior e essas redes podem ser interligadas de diversas maneiras, como é o caso das redes de computadores cabeadas e as redes de computadores sem fio.

Este trabalho descreve duas tecnologias de redes sem fio, WiMAX e Wi-Fi, com o objetivo de compará-las, realizando uma análise de uma rede sem fio de computadores e com isso, mostrando a utilização mais correta destas tecnologias.

**Palavras-Chaves:** Redes Sem Fio, WiMAX, Wi-Fi.

### ***Wi-Fi e WiMAX: Technology at Wireless Network***

#### ***ABSTRACT***

*Nowadays computer networks are widely used and these networks can be linked in many different ways, as it is the case of wired networks and wireless networks.*

*This work describes two wireless network technologies, WiMAX and Wi-Fi, seeking to compare them, making an analysis of one wireless computer network, in order to show the most correct use of these technologies.*

**Keywords:** *Wireless NetWork, Wi-MAX, Wi-Fi.*

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. Contextualização e Motivação.....	1
1.2. Objetivos e Estrutura do Trabalho.....	2
<b>2. O PADRÃO 802.16.....</b>	<b>3</b>
2.1. Pilha de Protocolo.....	4
2.2. Camada Física (PHY).....	4
2.2.1. WirelessMAN-SC.....	5
2.2.2. WirelessMAN-SCa.....	6
2.2.3. WirelessMAN-OFDM.....	7
2.2.4. WirelessMAN-OFDMA.....	7
2.2.5. WirelessHUMAN.....	8
2.3. Camada de Controle de Acesso ao Meio.....	8
2.3.1. Subcamada de Segurança.....	8
2.3.2. Subcamada de Convergência Comum.....	9
2.3.2.1. Formatos do MAC PDU.....	10
2.3.2.2. Fragmentação e Empacotamento.....	13
2.3.2.3. Formato de Quadro do Padrão 802.16.....	14
2.3.2.4. Escalonamento.....	16
2.3.2.5. Requisição e Concessão de Largura de Banda.....	17
2.3.3. Subcamada de Convergência Específica.....	18
2.4. Arquiteturas.....	18
2.4.1. Topologia Ponto a Ponto.....	19
2.4.2. Topologia Ponto-Multiponto.....	19
2.4.3. Topologia Mesh.....	20
2.5. Família do Padrão 802.16.....	21
2.5.1. Padrão 802.16d.....	21
2.5.2. Padrão 802.16e.....	21
2.5.3. Resumo da Família do Padrão 802.16.....	22
<b>3. O PADRÃO 802.11.....</b>	<b>23</b>
3.1. Pilha de Protocolos.....	24
3.2. Camada Física.....	24
3.3. Subcamada MAC.....	26
3.3.1. Formato do Quadro 802.11.....	31
3.4. Comunicação Wireless 802.11x.....	33
3.5. Família dos Padrões 802.11.....	35
3.5.1. Padrão 802.11a.....	35

3.5.2. Padrão 802.11b.....	35
3.5.3. Padrão 802.11g.....	35
3.5.4. Padrão 802.11n.....	36
3.5.5. Resumo da Família do Padrão 802.11.....	36
<b>4. COMPARANDO OS PADRÕES 802.11 E 802.16.....</b>	<b>37</b>
4.1. Alcance.....	38
4.2. Mobilidade.....	38
4.3. Qualidade de Serviço.....	39
4.4. Segurança.....	40
4.5. Largura de Banda.....	40
<b>5. ANÁLISE DE UMA REDE WIRELESS.....</b>	<b>41</b>
5.1. Descrição da Rede Wireless.....	41
5.2. Características dos Equipamentos.....	42
5.3. Classificação da Rede.....	45
5.4. Conclusões sobre a Rede Wireless.....	47
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....</b>	<b>49</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Pilha de Protocolo do Padrão 802.16.....	4
Figura 2.2: Modulação Adaptativa.....	5
Figura 2.3: Quadro Ajustável.....	6
Figura 2.4: Formato do MAC PDU.....	11
Figura 2.5: Cabeçalho Genérico do MAC PDU.....	11
Figura 2.6: Cabeçalho de Requisição de Banda no MAC PDU.....	12
Figura 2.7: Mensagem de Gerenciamento.....	13
Figura 2.8: Estrutura do Subquadro de Downlink.....	14
Figura 2.9: Estrutura do Subquadro de Uplink.....	15
Figura 2.10: Transmissão do Subquadro de Downlink e Uplink no FDD.....	15
Figura 2.11: Transmissão do Subquadro de Downlink e Uplink no TDD.....	16
Figura 2.12: Formato de CS PDU para conexões ATM.....	18
Figura 2.13: WiMAX como Backhaul para Rede Wi-Fi.....	19
Figura 2.14: Topologia Ponto-Multiponto.....	20
Figura 2.15: Topologia de Rede Mesh.....	20
Figura 3.1: Pilha de Protocolo.....	24
Figura 3.2: Conexão entre Notebook e PDA via infravermelho.....	25
Figura 3.3: Técnica FHSS.....	25
Figura 3.4: Técnica DSSS.....	26
Figura 3.5: Envio do RTS de A para B.....	28
Figura 3.6: Envio do CTS de B para A.....	28
Figura 3.7: Rajada de Fragmentos.....	29
Figura 3.8: Tempos de Espaçamentos do 802.11.....	30
Figura 3.9: Formato Genérico do Quadro.....	31
Figura 3.10: Quadro de Controle e Quadro de Dados.....	32
Figura 3.11: Modo Ad-hoc.....	33
Figura 3.12: Modo Infra-Estrutura (BSS).....	34
Figura 3.13: Extended Service Set.....	34
Figura 4.1: Abrangência dos Padrões 802.x.....	38
Figura 4.2: Mobilidade dos Padrões.....	39
Figura 5.1: Esboço da Rede Wireless a ser descrita.....	41
Figura 5.2: Antena Omnidirecional.....	43
Figura 5.3: Antena Direcional.....	43
Figura 5.4: Antena Setorial.....	44
Figura 5.5: Orinoco AP2000.....	44
Figura 5.6: CPE TeraMax.....	45
Figura 5.7: Rede Norte - Rede UFLANET.....	45
Figura 5.8: Rede Praça - Rede UFLANET.....	46
Figura 5.9: Rede UNIMED - Rede UFLANET.....	46
Figura 5.10: Rede Praça - Rede UFLANET e Rede Vale do Sol - Rede UFLANET.....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Família do Padrões 802.16.....	22
Tabela 3.1: Família do Padrões 802.11.....	36
Tabela 4.1: Qualidade de Serviço.....	40
Tabela 4.2: Confronto das Larguras de Banda dos Padrões 802.11 e 802.16.....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPs	<i>Adaptive Burst Profiles</i>
ACK	<i>Affirmative Acknowledgment</i>
AP	<i>Access Point</i>
BE	<i>Best Effort</i>
BPSK	<i>Binary Phase Shift Keying</i>
BR	<i>Bandwidth Request</i>
BS	<i>Base Station</i>
BSS	<i>Basic Service Set</i>
BWA	<i>Broadband Wireless Access</i>
CCK	<i>Complementary Code Keying</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CID	<i>Conection Identifier</i>
CPE	<i>Customer Premise Equipment</i>
CPS	<i>Common Part Sublayer</i>
CRC	<i>Ciclic Redundance Check</i>
CS	<i>Convergence Sublayer</i>
CSMA/CA	<i>Carrier Sense Multiple Access/Colision Avoidance</i>
CSMA/CD	<i>Carrier Sense Multiple Access/Colision Detection</i>
CTS	<i>Clear to Send</i>
DCF	<i>Distributed Coordination Function</i>
DES	<i>Data Encryption Standart</i>
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
DIFS	<i>DCF Interframe Spacing</i>
DL-MAP	<i>Downlink Map</i>
DSA	<i>Dynamic Service Addition</i>
DSC	<i>Dynamic Service Change</i>
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
EC	<i>Encription Control</i>
EDCA	<i>Enhanced DCF Channel Access</i>
EIFS	<i>Extender Interframe Spacing</i>
EKS	<i>Encription Key Sequence</i>

ESS	<i>Extended Service Set</i>
ESSID	<i>Extended Service Set Identifier</i>
FCH	<i>Frame Control Header</i>
FDD	<i>Frequency-Division Duplexing</i>
FEC	<i>Forward Error Correction</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
FHSS	<i>Frequency Hopping Spread Spectrum</i>
GPC	<i>Grant Per Connection</i>
GPSS	<i>Grant Per SS</i>
HCCA	<i>HCF Controlled Channel Access</i>
HCF	<i>Hybrid Coordination Function</i>
HCS	<i>Header Check Sequence</i>
HR-DSSS	<i>High Rate Direct Sequence Spread Spectrum</i>
HT	<i>Header Type</i>
HUMAN	<i>High-Speed Unlicensed Metropolitan Area Networks</i>
IBSS	<i>Independent Basic Service Set</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISM	<i>Industrial Scientific Medical</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LEN	<i>Length</i>
LLC	<i>Logic Link Control</i>
LOS	<i>Line of Sight</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MACA	<i>Multiple Access with Collision Avoidance</i>
MACAW	<i>Multiple Access with Collision Avoidance for Wireless</i>
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i>
NLOS	<i>Non Line Of Sight</i>
nrtPS	<i>Non-real-time Polling Service</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OFMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PCF	<i>Point Coordination Function</i>
PDA	<i>Personal Digital Assistants</i>

PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
PHY	<i>Physical</i>
PIFS	<i>PCF InterFrame Spacing</i>
PKM	<i>Privacy Key Management</i>
PMP	<i>Point-MultiPoint</i>
PPP	<i>Point to Point Protocol</i>
Pwr	<i>Power Management</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RLC	<i>Radio Link Control</i>
RSA	<i>Rivest, Shamir, Adleman</i>
Rsv	<i>Reserved</i>
rtPS	<i>Real Time Polling Service</i>
RTS	<i>Request to Send</i>
SA	<i>Security Associations</i>
SDU	<i>Service Data Unit</i>
<i>SIFS</i>	<i>Short InterFrame Spacing</i>
SOFDMA	<i>Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
SS	<i>Subscriber Station</i>
TDD	<i>Time Division Duplexing</i>
TDM	<i>Time Division Multiplex</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TFTP	<i>Trivial File Transfer Protocol</i>
UGS	<i>Unsolicited Grant Service</i>
UIUC	<i>Uplink Interval Use Code</i>
UL-MAP	<i>Uplink Map</i>
UNII	<i>Universal Networking Information Infrastructure</i>
VPN	<i>Virtual Private Network</i>
WAP	<i>Wireless Application Protocol</i>
WDS	<i>Wireless Distribution System</i>
WEP	<i>Wireless Equivalent Privacy</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>

WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Contextualização e Motivação

Talvez muitos não saibam, mas as comunicações sem fio são utilizadas em larga escala e estão cada vez mais presentes no nosso dia a dia [1]. Essas comunicações sem fio vêm para satisfazer diversas necessidades e desejos, tais como: conforto, comodidade, flexibilidade. Podemos notar sua presença em diversos aparelhos: no controle remoto da televisão, do aparelho de som, do portão eletrônico, em celulares, notebooks, *Personal Digital Assistants* (PDAs), bem como para resolver diversos problemas que ao longo do tempo foram surgindo.

A comunicação por infravermelho é muito utilizada em diversos aparelhos eletrônicos, como controles remotos e, atualmente, até em celulares para a transferência de dados de um aparelho para outro [1]. Outra tecnologia sem fio é o chamado Bluetooth, baseado no padrão 802.15 [2], que não alcança longas distâncias e é comumente utilizado em celulares, mas com a grande vantagem de reconhecer qualquer aparelho ou dispositivo que também utilize essa tecnologia.

Ao longo do tempo profissionais e fabricantes de equipamentos da área de redes perceberam que era possível unir as redes de computadores com a comunicação sem fio. Começaram então a desenvolver aparelhos que faziam a comunicação sem fio destes computadores em rede. Surgiram alguns problemas, pois não havia um padrão entre esses aparelhos, assim o *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) decidiu que era necessária a criação de um padrão e que este fosse aberto. O IEEE criou uma equipe de pesquisadores destinada à criação deste padrão para as redes sem fio.

O primeiro padrão dessas redes foi o 802.11, conhecido comercialmente como *Wireless Fidelity* (Wi-Fi). Como a evolução dos computadores, notebooks, PDAs e celulares atualmente é muito rápida, há uma grande necessidade das redes sem fio acompanharem esta evolução, para atender as mais diversas aplicações, tais como, acesso a internet em aeroportos, universidades, bibliotecas sem a utilização de cabeamento.

Devido aplicações mais robustas, esse padrão não satisfaz certas exigências como segurança, qualidade de serviço, largura de banda, entre outros, sendo assim, surgiu um novo padrão o *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) para suprir es-

sas exigências e outras necessidades.

Portanto, pode-se dizer que os grandes impulsionadores destas tecnologias foram os celulares e os notebooks, atualmente os eletro-eletrônicos mais vendidos, bem como a necessidade de poder usá-los em qualquer local que se esteja [1].

As motivações deste trabalho: i) a crescente evolução das tecnologias de redes de computadores sem fio, cujo mercado tem investido bastante; ii) a socialização da internet como meio de comunicação, lazer e trabalho que através de enlaces sem fio poderia atingir uma grande área de cobertura. Levando assim este tipo de serviço onde não é possível a utilização de cabos; iii) a crescente utilização dos serviços de banda larga, e que estes cheguem ao ponto de serem gratuitos; iv) uma contribuição para a popularização destas tecnologias fazendo com que não se utilize mais linhas telefônicas, ainda muito utilizadas, para acesso a internet, sendo que não foram projetadas para este fim.

## **1.2. Objetivos e Estrutura do Trabalho**

Este trabalho tem como principal objetivo realizar um estudo e uma análise de uma tecnologia emergente em redes de computadores sem fio, o WiMax, baseado no padrão 802.16 e certificado pelo IEEE.

Será apresentado e analisado um outro padrão, o Wi-Fi, afim de se comparar com o padrão 802.16. Para tanto, serão utilizados normas técnicas do próprio padrão IEEE 802.16, IEEE 802.11, artigos e diversos outros tipos de materiais.

Por fim será feita uma análise de uma rede sem fio, classificando-a quanto a sua topologia, descrevendo as características dos equipamentos utilizados e, por fim, será feita uma conclusão com alguns comentários sobre esta rede sem fio.

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: o Capítulo 2 descreve as características do padrão de redes sem fio, 802.16. No Capítulo 3, será descrito outro padrão de redes sem fio, o padrão 802.11. O Capítulo 4 traz uma comparação de alguns aspectos desses dois padrões descritos anteriormente. No Capítulo 5 é apresentada uma análise de uma rede sem fio de computadores e o Capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho.



## 2. O PADRÃO 802.16

Com os avanços tecnológicos das redes de computadores, a procura dos usuários pelos serviços de *Internet* faz com que haja uma evolução cada vez maior dessas redes facilitando assim a implementação das mesmas em diversos tipos de ambientes. Há uma grande exigência por parte dos usuários por serviços como compartilhamento de arquivos, jogos em redes, entre outros, tanto no cenário comercial quanto no cenário doméstico.

Existem hoje duas tecnologias mais difundidas em banda larga: i) a *Digital Subscriber Line* (xDSL) [3] que é um conjunto de tecnologias que fornecem transmissão de dados digital e que utiliza a própria linha telefônica existente, sendo assim, cabeada; ii) o *Broadband Wireless Access* (BWA) [4], um outro conjunto de tecnologias que utiliza o ar como meio de transmissão de dados. É interessante observar que a segunda tecnologia, BWA, tem uma grande vantagem sobre a primeira, xDSL, por não necessitar de cabeamento.

WiMAX é o nome popular de uma das mais recentes tecnologias, dos últimos cinco anos, que se refere as *Wireless Metropolitan Area Network* (WMAN), vindo para suprir as necessidades e as restrições das outras tecnologias. Para tanto, é necessário que essa tecnologia consiga atingir altas taxas de transmissão, alcance uma grande área de cobertura e que possa ter um grande número de usuários [5].

A tecnologia WiMAX baseia-se na família de padrões do IEEE, sendo descrita como o padrão 802.16. Inicialmente as faixas de frequência utilizadas eram entre 10 GHz e 66 GHz; causando assim alguns empecilhos devido ao comprimento da onda e ao baixo aproveitamento da banda.

As atualizações dos padrões já começam a trabalhar com frequências mais baixa, na faixa de 2 a 11 GHz, utilizando modulação *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), o que já foi um grande avanço sobre o padrão anterior.

O padrão 802.16-2004, reúne todas as modificações e melhorias dos padrões anteriores. Outro padrão da família 802.16 é o 802.16e que permitirá maior mobilidade para os usuários na área de serviços WiMAX [5].

## 2.1. Pilha de Protocolo

O padrão a ser estudado refere-se a uma pilha de protocolo bastante parecida com a maioria das famílias de padrões do IEEE 802, contendo um número maior de divisões, como é ilustrado na Figura 2.1:

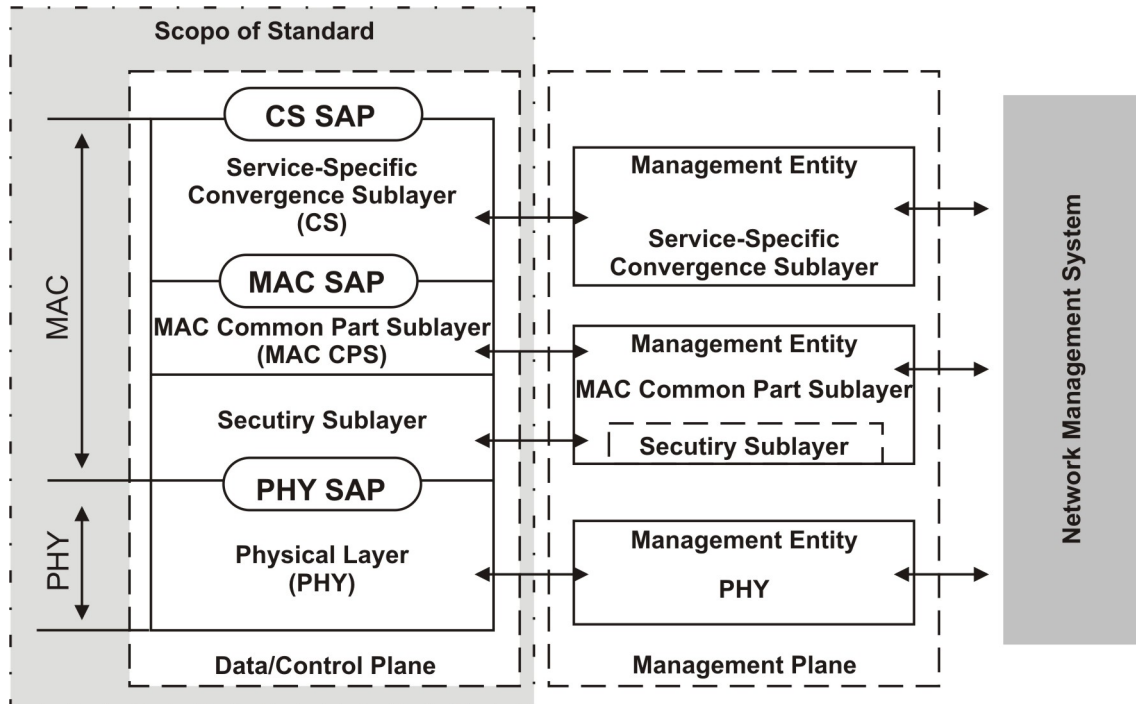


Figura 2.1: Pilha de Protocolo do Padrão 802.16

A pilha de protocolo é dividida em duas partes: a camada PHY (Física) e a camada *Medium Access Control* (MAC). A camada de enlace de dados é dividida em três subcamadas: subcamada de segurança (*security sublayer*), subcamada de convergência comum (MAC CPS - *Common Part Sublayer*) e subcamada de convergência de serviços específicos (CS - *Convergence Sublayer*) [6]. A seguir, descreveremos cada uma das camadas e subcamadas do padrão 802.16.

## 2.2. Camada Física (PHY)

A camada física (PHY) da pilha de protocolo segue as especificações do padrão 802.16, tais como: estrutura de multiplexação, vazão, sincronização de transmissores e receptores, correção de erros e definição do espectro de frequência.

Esta camada física pode ser descrita com maiores detalhes, analisando as especificações de cada divisão com as quais ela pode trabalhar. Assim descreveremos com mais de-

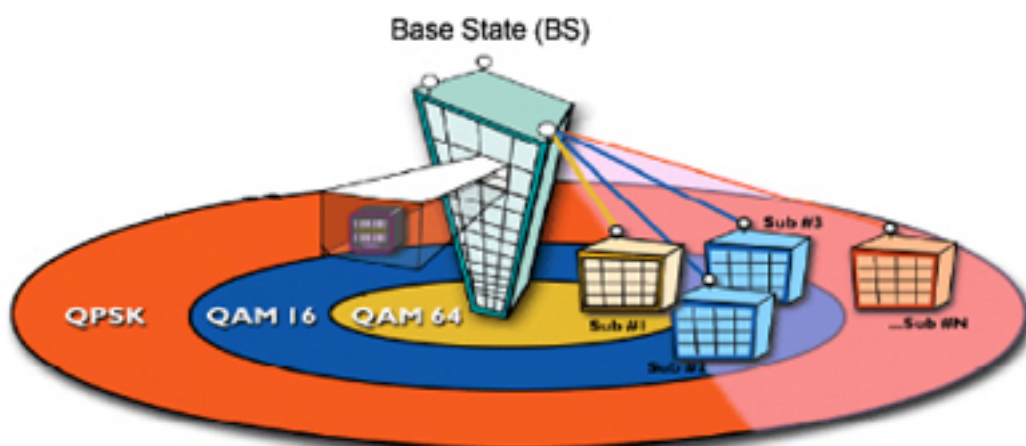
talhes cada uma destas especificações.

### 2.2.1. WirelessMAN-SC

A Wireless MAN-SC trabalha na faixa de frequência que varia de 10 GHz a 66 GHz, opera com linha de visada ou *Line of Sight* (LOS), suporta dois tipos de métodos de *duplexing*, o *Frequency Division Duplexing* (FDD) e o *Time Division Duplexing* (TDD). Pode-se utilizar vários perfis de transmissão adaptativa (ABPs – *Adaptive Burst Profiles*) ou modulação adaptativa, onde os parâmetros de transmissão podem ser ajustados de acordo com cada estação [5].

Este esquema de ABPs possui três tipos de modulações diferentes: o *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM-64), *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM-16) e *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK). A escolha dessa modulação está condicionada à qualidade do enlace. Nos casos onde se deseja qualidade do enlace elevada, o perfil escolhido é o QAM-64. Onde os enlaces requerem estabilidade e qualidade da conexão, o perfil ideal é o QPSK e para enlaces onde há possibilidade de atenuação de sinal é utilizado o QAM-16.

Esse sistema de perfil também leva em conta a distância da *Subscriber Station* (SS) até a *Base Station* (BS). Estações que estiverem mais longe da BS, utilizarão o esquema de modulação QPSK, SS que estiverem a uma distância mediana da BS, utilizará o esquema QMA-16 e para as SSs que estiverem a uma distância mais curta, o esquema a ser aplicado é o QAM-64 (Figura 2.2) [5].

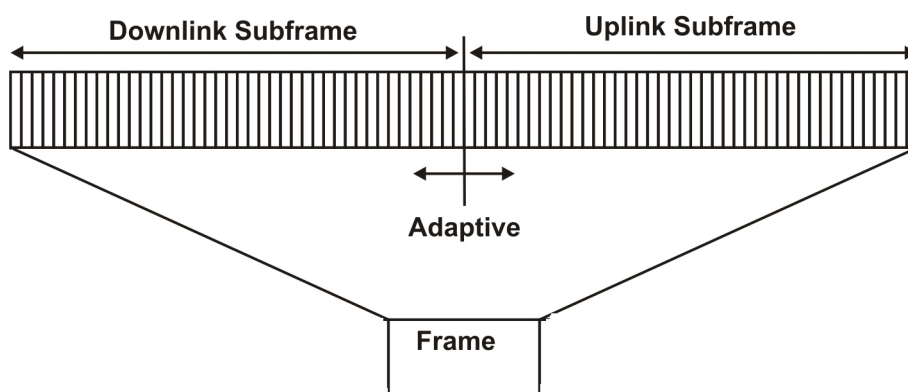


**Figura 2.2: Modulação Adaptativa**

Na WirelessMAN-SC o subquadro de *downlink* utiliza a técnica *Time Division Multiplex* (TDM), realizando a difusão da informação que é destinada para cada estação de um

mesmo setor, já o subquadro de *uplink*, utiliza uma combinação de duas técnicas, *Time Division Multiple Access* (TDMA) e *Demand Assigned Multiple Access* (DAMA).

O FDD suporta *full-duplex* e *half-duplex*, isto porque ele utiliza divisão de faixa por frequência, e cada frequência pode utilizar modulações diferentes. Já no TDD, cada quadro possui tamanho fixo, mas pode-se ajustar uma porção do quadro destinado para *uplink* (*Uplink Subframe*) e *downlink* (*Downlink Subframe*) (Figura 2.3) [7]. Com isso é possível ajustar a capacidade de transmissão tanto para *downlink*, quanto para *uplink*. Os *slots* de tempo de cada quadro podem ser alocados para uma única SS ou para um grupo de SSs.



**Figura 2.3: Quadro Ajustável**

O mapeamento de *downlink* é enviado no início de cada subquadro por uma BS, para determinar os *slots* de tempo de uma determinada SS. Este mapeamento demonstra os dados que serão esperados para esta transmissão, assim como alguns parâmetros de transmissão que também serão utilizados (ABP). A alocação de *slots* de tempo é feita pela BS. Há um grande problema em se utilizar o TDD, devido ao atraso de propagação do sinal pelo meio, no caso o ar, fazendo com que os quadros sejam recebidos após um intervalo de tempo no destino. Pode-se notar então que, para o TDD funcionar corretamente, deve existir uma sincronização entre os quadros das SSs e os quadros BS, mas mesmo assim para que não ocorra atraso é necessário que as SSs iniciem a transmissão de seus slots de tempo antecipadamente.

### 2.2.2. WirelessMAN-SCa

Segundo [6], a WirelessMAN-SCa opera nas faixas de frequência abaixo de 11 GHz e suporta dois métodos de *duplexing* FDD e TDD. É baseado em transmissão por *Single Carrier* (SC) ou única portadora, devido a sua faixa de frequência, é capaz de trabalhar

sem linha de visada ou *Non Line of Sight* (NLOS). O *downlink* utiliza a técnica de TDM ou TDMA e o *uplink* utiliza TDMA. Suporta modulação adaptativa (ABP) e técnica de correção de erros antecipadas *Forward Error Correction* (FEC), esta técnica consiste em realizar as correções de erros sem retransmissão da mensagem através do uso de códigos de redundância, tanto a detecção quanto a correção é feita pelo receptor, isso só pode ser feito devido a outra técnica que é a *Reed-Solomon GF (256)*, que acrescenta alguns bits extras aos dados antes da transmissão. A FEC é utilizada no *downlink* e no *uplink*. Acrescenta melhorias nas estruturas dos quadros para poder contornar a condição de transmissão sem visada de linha NLOS [6].

### 2.2.3. WirelessMAN-OFDM

A WirelessMAN-OFDM baseada em um outro esquema de modulação o *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), que transmite em múltiplos canais espaçados ortogonalmente e ao mesmo tempo, evitando interferências [8]. Trabalha em faixas de frequência abaixo de 11 GHz, e também opera sem linha de visada. A transmissão OFDM possui 256 subportadoras, sendo que nem todas são utilizadas para transmitir os dados, apenas 200 delas. As restantes são utilizadas como subportadoras de guarda. Suporta ABPs e FEC, tanto para o *uplink* como para o *downlink*. Um quadro consiste de um *Downlink Subframe*, que é composto por um único *Physical Protocol Data Unit* (PHY PDU), e um *Uplink Subframe*, que é composto por um ou mais PHY PDUs.

Os PHY PDUs são formados por algumas partes, no início existe um preâmbulo, que é utilizado para a sincronização. Após este preâmbulo existe um outro campo chamado de *Frame Control Header* (FCH) que é um campo de controle que tem uma série de funções, incluindo mapeamento. Logo após o campo de controle existem diversos *Downlink Bursts*, cada um podendo utilizar diferentes ABPs. Esta camada pode ter diferentes estruturas de transmissão dependendo do tipo de topologia que se utilizará, PMP (*Point-Multi-Point*) ou Mesh [6].

### 2.2.4. WirelessMAN-OFDMA

A WirelessMAN-OFDMA tem suas faixas de frequência abaixo de 11 GHz, utiliza o modelo de modulação *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) mas com um número muito maior de subportadoras: 2048. O termo *Multiple Access* é devido ao elevado número de portadoras [6]. Este grande número de subportadoras acarreta no au-

mento de requisições de sincronização, assim tornando mais lento o *Fast Fourier Transform* (FFT). Por estes e alguns outros motivos esta interface não tem despertado um grande interesse na sua utilização, sendo mais bem vista a com 256 subportadoras.

### **2.2.5. WirelessHUMAN**

A WirelessHUMAN atende algumas funcionalidades específicas para operar em banda de frequência não licenciada as *High-Speed Unlicensed Metropolitan Area Networks* (HUMAN). Opera nas faixas de 5 GHz a 6 GHz, através de canais com um espaçamento de 5 MHz, propondo trabalhar com aparelhos que estejam na mesma faixa de frequência. Ainda é mais um modelo ou um conceito do que uma implementação em si [9].

## **2.3. Camada de Controle de Acesso ao Meio**

A camada de controle de acesso ao meio (MAC) é a camada subsequente a camada física e está dividida em três subcamadas: a subcamada de segurança ou de privacidade, subcamada de convergência comum e a subcamada de convergência de serviços específicos, tem como função fornecer serviços à camada subsequente a ela, a camada de rede (Figura 2.1).

A camada MAC deve suportar tráfego contínuo de dados e tráfego em rajadas, mas com um certo nível de qualidade de serviço (QoS) adicional, de acordo com cada uso. É orientada a conexão e inclui a subcamada de serviços específicos que se conecta à camada superior: a subcamada comum do MAC, que é a responsável pelas funções-chaves da camada MAC. Logo em seguida tem-se a subcamada de segurança.

O protocolo MAC foi projetado para tipos de aplicações como *Wireless broadband* ponto-multiponto, mas mesmo assim suporta ponto a ponto, com grandes chances de suportar taxas elevadas de *downlink* e *uplink*.

### **2.3.1. Subcamada de Segurança**

A subcamada de segurança é uma das três subcamadas que integram a camada MAC. Ela provê aos assinantes privacidade com autenticação ou uma larga faixa de banda através da rede wireless. Faz isto aplicando encriptação às conexões entre a SS e a BS [10]. A BS protege contra acesso não autorizado aos serviços de transporte de dados, forçando a criptografia do fluxo de serviços através da rede. Com isso, fornece uma forte proteção

contra roubo de serviços [6].

Nesta subcamada são empregados dois tipos de protocolos, o primeiro é um protocolo de encapsulamento para assegurar os pacotes de dados pelas redes BWA. Este protocolo define em primeiro lugar um conjunto de suítes de criptografia suportada, o pareamento dos dados encriptados, e em seguida regras para aplicação desses algoritmos no MAC PDU *payload*. O segundo é o *Key Management Protocol* (PKM), protocolo de gerenciamento de chaves que fornece a distribuição segura das chaves de dados da BS para a SS. Com este protocolo de gerencia de chaves, as SS e as BS sincronizam as chaves de dados, além disso, a BS usa esse protocolo para reatualização periódica das chaves.

O protocolo de autenticação PKM utiliza certificação digital X.509, algoritmo *Rivest, Shamir, Adleman* (RSA) [11] de encriptação de chave publica, e forte algoritmos de encriptação para troca de chaves entre uma SS e uma BS. O PKM foi desenvolvido através do conceito de *Security Associations* (SA), que nada mais é que um conjunto de métodos de criptografia, e que possui uma série de informações sobre quais algoritmos devem ser utilizados, quais chaves utilizar, entre outros parâmetros [6]. Uma BS autentica um cliente SS durante a troca inicial de autorização. Cada SS já tem um certificado digital X.509 emitido pelo fabricante. Este certificado digital já é a chave publica das SSs e o seu endereço MAC.

### **2.3.2. Subcamada de Convergência Comum**

A camada de convergência comum da camada MAC tem como funcionalidades o estabelecimento e o gerenciamento das conexões realizadas entre as BS e as SSs, suporte a qualidade de serviço (QoS) e gerenciamento de largura de banda. Com todas essas funções, ela recebe e envia dados de outras camadas de convergência e faz todos os ajustes que forem necessários para adequação do tipo de conexão MAC [6].

A subcamada de convergência comum é orientada a conexão, com o propósito de mapeamento de serviço nas SSs e associação de níveis de QoS de uma conexão. Uma vez estabelecida esta conexão é necessário uma manutenção contínua, dependendo do tipo de serviço conectado. Essas conexões são baseadas no *Connection Identifier* (CID), composto por um conjunto de 16 bits e que pode requerer alguma garantia de banda ou senão banda sobre demanda quando estiver estabelecendo a conexão [10].

Para cada SS existe um identificador único que é o endereço MAC, este endereço é

composto por 48 bits, utilizado para estabelecer e autenticar uma conexão entre uma BS e uma SS. Na inicialização da conexão de uma SS é designado outro tipo de conexão que são as conexões de gerenciamento em algumas direções, dependendo da requisição de QoS e de acordo com o tipo de gerenciamento. Na verdade, são três tipos de conexões estabelecidas: conexão base, conexão primária de gerência e conexão secundária de gerência, sendo que a terceira pode ser opcional.

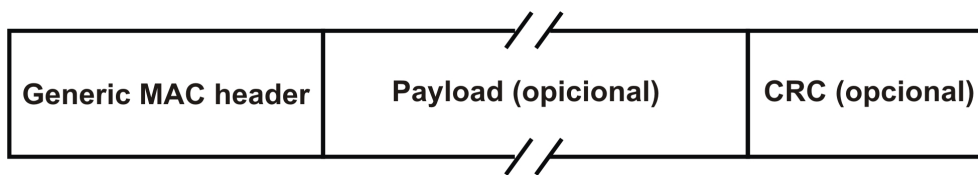
A conexão de base é usada para enviar mensagens pequenas ou curtas de gerência MAC, mensagem *Radio Link Control* (RLC) e que sejam urgentes entre a SS e a BS. A conexão primária é utilizada para enviar mensagens um pouco maiores ou mais longas e que não sejam tão urgentes sendo menos sensíveis ao atraso, e a conexão secundária envia mensagens de gerência também tolerantes ao atraso de outros tipos de protocolos, como o *Dynamic Host Configuration Protocol* (DHCP), *Trivial File Transfer Protocol* (TFTP) e *Simple Network Management Protocol* (SNMP) [6].

A seguir serão descritos com maiores detalhes algumas das especificações da subcamada de convergência comum da MAC, como o formato de quadro, fragmentação e empacotamento, formato do MAC PDU, escalonamento e, requisição e concessão de largura de banda.

### **2.3.2.1. Formatos do MAC PDU**

O MAC PDU (*Protocol Data Unit*) possui tamanho variável, é a unidade de dados onde são realizadas as trocas entre as camadas MAC de uma SS e uma BS. Está dividido em três partes: a primeira parte é o cabeçalho de tamanho fixo (seis bytes), seguido pelo *payload* que possui tamanho variável e opcionalmente um protocolo de correção de erros, *Cyclic Redundance Check* (CRC), de 4 bytes. Pode-se verificar que este MAC PDU terá um tamanho mínimo de 6 bytes, pois o *payload* pode estar vazio e o CRC, sendo opcional, pode ser omitido, e terá um tamanho máximo de 2048 bytes com todos os campos inclusos. Vale ressaltar que este MAC PDU de tamanho mínimo tem uma função importante pois ele é responsável pela requisição da largura de banda. No *payload* é onde se encontram dados da subcamada de convergência, mensagens de gerenciamento da MAC, MAC SDUs ou fragmentos de MAC SDUs encapsulados. (Figura 2.4) [10].

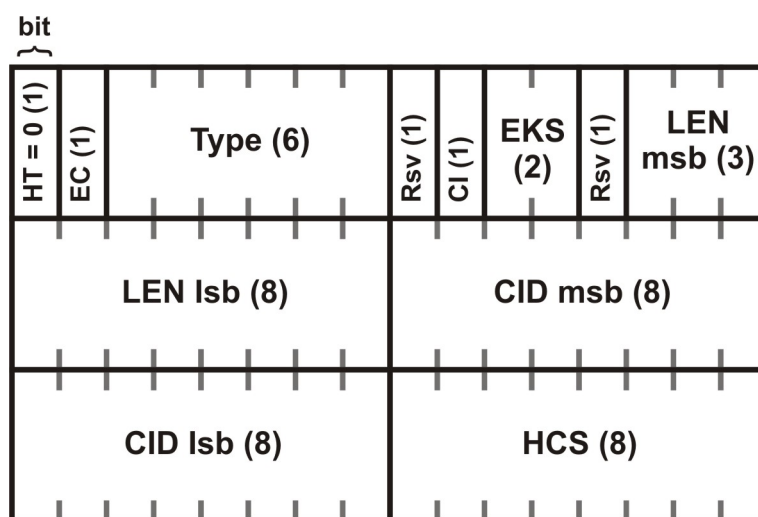




**Figura 2.4: Formato do MAC PDU**

Como o MAC PDU tem o *payload* e o CRC, que são opcionais, ele pode assumir duas formas ou dois tipos de cabeçalhos. Um deles seria o de requisição de largura de banda e o outro seria um cabeçalho genérico.

O cabeçalho genérico do MAC PDU ilustrado pela Figura 2.5 é composto pelos seguintes campos [12]:

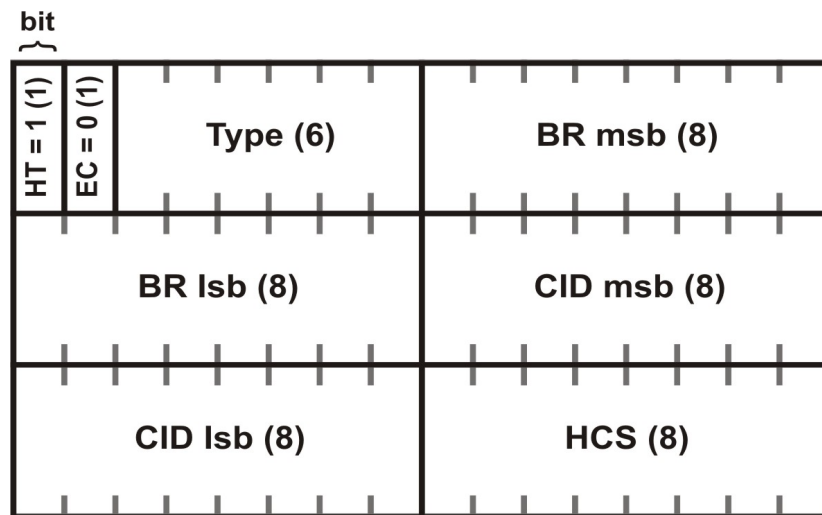


**Figura 2.5: Cabeçalho Genérico do MAC PDU**

- *Header Type* (HT) de tamanho 1 bit, indicará se o cabeçalho é genérico (HT=0) ou se trata de um cabeçalho de requisição de banda (HT=1);
- *Encryption Control* (EC), indica se o *payload* vai ser ou não criptografado;
- *Type*, informa o tipo de quadro e se existirá algum tipo de fragmentação ou compactação;
- *Reserved* (Rsv) bit reservado para uso futuro;
- *Idicator CRC* (IC), indicará se haverá o campo de CRC do fim do MAC PDU;
- *Encryption Key Sequence* (EKS) indica a chave de criptografia que é utilizada para criptografar o quadro;
- *Length* (LEN), indica o tamanho total do MAC PDU;

- *Connection Identifier* (CID), indica a qual conexão a que pertence o MAC PDU;
- *Header Check Sequence* (HCS), campo correspondente a sequência que verificará o cabeçalho.

O cabeçalho mostrado na Figura 2.6 é o cabeçalho de requisição de largura de banda, sendo composto por campos como: HT em 1, o campo EC setado em 0 porque não há criptografia, o campo *type* que pode assumir dois tipos de valores diferentes, quando em 0 requisição de banda incremental e quando em 1, requisição de banda agregada, o campo *Bandwidth Request* (BR) que tem um tamanho de 16 bits, que informa a quantidade de banda que é necessária para o transporte de uma quantidade de bytes e os restantes dos campos com as mesma características do cabeçalho genérico [12].



**Figura 2.6: Cabeçalho de Requisição de Banda no MAC PDU**

Além desses dois tipos de cabeçalho existem ainda outros tipos de cabeçalhos que podem ser encontrados no *payload* de um MAC PDU. São eles:

- *Mesh*: indica o *node ID* em uma topologia de rede *Mesh*;
- Fragmentação: controla o processo de fragmentação do MAC SDUs (*Service Data Unit*), podendo ser fragmentado tanto na SS como na BS;
- *Grant Management*: utilizado para requisição de banda *piggyback*, que consiste na solicitação de banda junto a um quadro de dados;
- Empacotamento: é o processo inverso da fragmentação, encapsula vários MAC SDUs em um único MAC PDU podendo ocorrer na SS ou na BS;
- Retransmissão: utilizado para pedir a retransmissão de um ou mais MAC SDUs

caso haja algum tipo de problema na transmissão;

- *Fast-Feedback Allocation*: acelera a troca de informação na camada física;

Os cabeçalhos e os subcabeçalhos que foram descritos anteriormente levam a existência de tipos de quadro diferentes e que serão explicados abaixo [9]:

- Quadros de Dados: levam subcabeçalho junto do *payload*, transmitidos na conexão de dados;
- Quadros de Gerenciamento: carregam junto ao *payload* mensagens de gerenciamento MAC, transmitidos nas conexões de gerência e tem o formato ilustrado pela Figura 2.7;



**Figura 2.7: Mensagem de Gerenciamento**

- Quadro de Requisição de Banda: não possui *payload*, usado no cabeçalho de requisição de banda, possuindo apenas cabeçalho.

### 2.3.2.2. Fragmentação e Empacotamento

A fragmentação é o processo pelo qual são divididos os MAC SDUs em pedaços menores ou fragmentos e que serão transportados pelo MAC PDU, que tem o controle desta fragmentação, devido ao subcabeçalho de fragmentação, sendo transportado juntamente com os cabeçalhos de controle no MAC PDU [12].

A SS monta corretamente o *payload* original através dos campos de controle, mas em caso de perda, todos os MAC PDUs são descartados para que se possa encontrar o primeiro fragmento novamente, ou no caso de ser um MAC PDU não fragmentado, a detecção deste MAC PDU.

O empacotamento é o processo pelo qual é utilizado o encapsulamento de fragmentos MAC SDUs ou alguns MAC SDUs em um único MAC PDU [13]. Podem existir MAC SDUs de dois tipos, um de tamanho fixo e um de tamanho variado. Com isso, tem-se dois procedimentos para o empacotamento desses tipos de MAC SDUs. No caso do MAC SDU variável, existe a necessidade de se colocar alguns subcabeçalhos para informar o tamanho dos MAC SDUs junto às informações de controle, facilitando assim o processo de empaco-

tamento e fragmentação. Já no caso dos MAC SDUs fixos, não há necessidade de inserir estes subcabeçalhos extras, pois sabe-se antecipadamente qual o tamanho dos MAC SDUs.

Após o recebimento desses MAC PDUs pelos seus destinos, eles são remontados de modo que os MAC SDUs geradores sejam restaurados idênticos aos originais mas sem que o receptor desses MAC SDUs saibam que eles foram fragmentados ou empacotados.

O padrão 802.16 permite que esses dois processos, tanto de fragmentação quanto de empacotamento ocorram simultaneamente, com isso, haverá um maior aproveitamento da banda.

### 2.3.2.3. Formato de Quadro do Padrão 802.16

O padrão 802.16 do IEEE adotou quadros divididos em *time-slots* com tempo de duração de 0,5 até 2 ms, para identificar as transmissões da camada física e para alocação de largura de banda. Sendo assim temos subdivisões que são os subquadros de *downlink* e de *uplink*.

No subquadro de *downlink* existem três campos, o preâmbulo, o *Downlink Map* (DL-MAP) e o *Uplink Map* (UL-MAP), utilizados para transmissões físicas no *downlink*, ou seja, largura de banda e perfis de perda no *uplink*. Como mostra a Figura 2.8 [12].

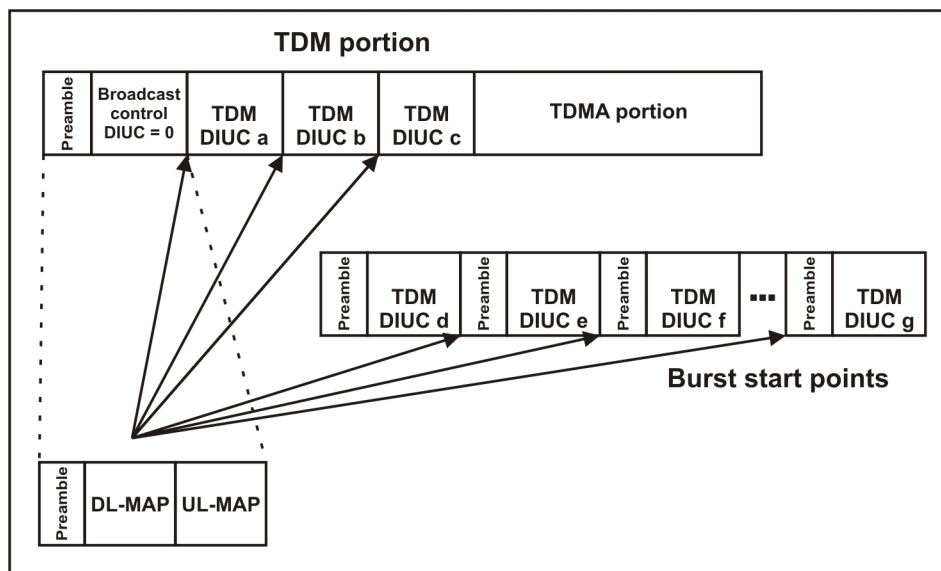
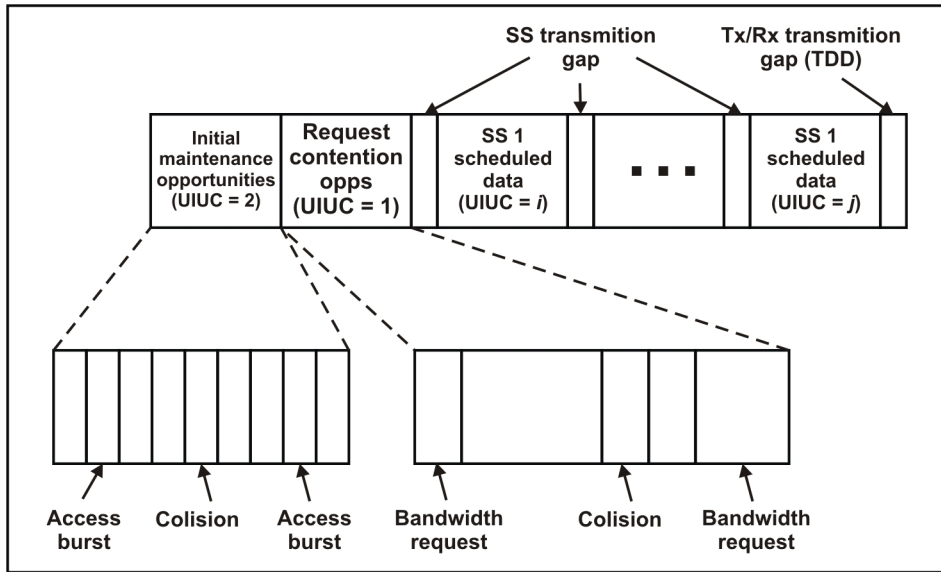


Figura 2.8: Estrutura do Subquadro de Downlink

O DL-MAP também é responsável por informar parâmetros que dizem a respeito do sistema para que as outras SSs possam saber quando se conectar. Informa também algumas especificações das transições da camada física que ocorrem devido a mudança de perfis

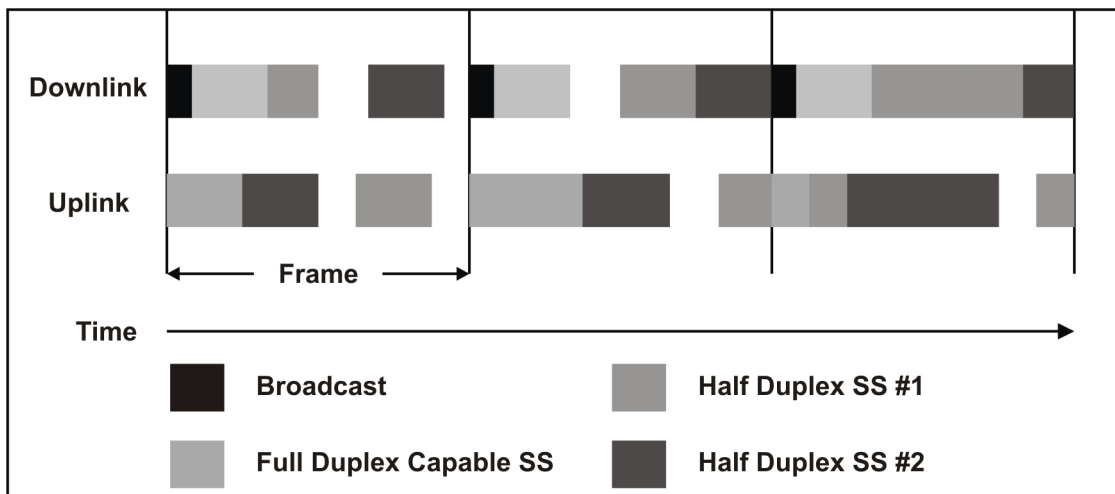
adaptativa, entre outras modificações como mudança de FEC, mudança de modulação.

No subquadro *uplink*, como mostra a Figura 2.9, existe um campo chamado *Uplink Map* (UL-MAP) que permite que uma determinada SS requisiute uma largura de banda e que as SSs restantes façam sua requisição de banda através de alocação usando *Uplink Interval Use Code* (UIUC). Isso é feito no início do UL-MAP para que haja largura de banda garantida [12].



**Figura 2.9: Estrutura do Subquadro de Uplink**

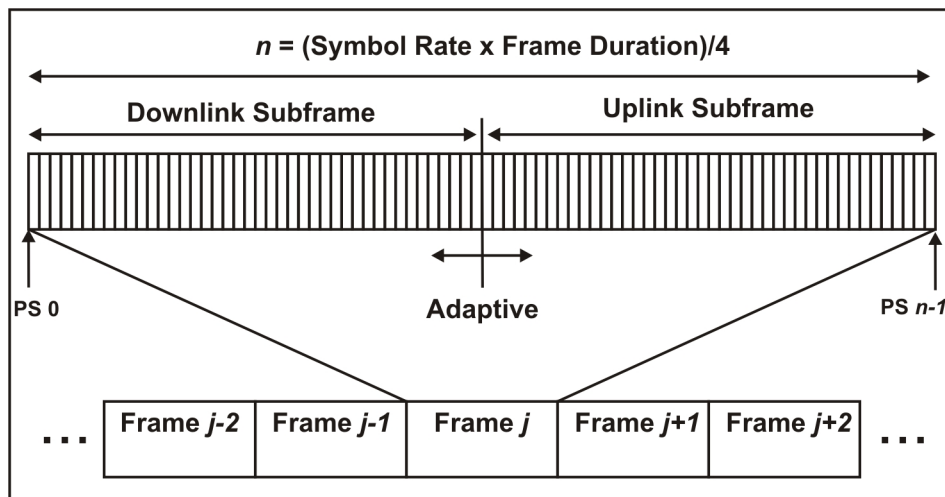
Como visto anteriormente, o padrão 802.16 suporta dois tipos de *duplexing*, o FDD e o TDD. No caso do FDD os subquadros de *downlink* e *uplink* estão alocados em faixas de frequências separadas, conforme ilustra a Figura 2.10 [13].



**Figura 2.10: Transmissão do Subquadro de Downlink e Uplink no FDD**

O FDD utiliza quadros de duração fixa nas transições dos subquadros de *downlink* e de *uplink* o que permite a utilização de diferentes modulações e estações SS *full-duplex* e estações SS *half-duplex* simultaneamente. Nesta *duplexing* é utilizada a técnica de TDM com uma pequena parcela de TDMA com acréscimo de preâmbulos extras para que tenha um melhor aproveitamento. Caso haja muitas SSs utilizando esta *duplexing*, a perda de sincronização pode ocorrer com uma frequência maior. A inserção de preâmbulos extras resolve este tipo de problema.

No caso da *duplexing* TDD, a transmissão de subquadros *downlink* e *uplink*, compartilha a mesma faixa de frequência, porem em intervalos de tempo diferentes, mas podendo ser ajustados conforme a largura de banda (Figura 2.11) [7].



**Figura 2.11: Transmissão do Subquadro de Downlink e Uplink no TDD**

### 2.3.2.4. Escalonamento

O escalonamento é um serviço que define o tipo de prioridade de transmissão para cada conexão existente. Toda conexão tem um CID que se enquadra em um tipo pré-definido de escalonamento. Essas classes pré-definidas possuem alguns parâmetros que quantificarão os pré-requisitos de QoS [14]. O gerenciamento do escalonamento é feito através da mensagem de gerência da *Dynamic Service Addition* (DAS) e da *Dynamic Service Change* (DSC).

Existem quatro classes de serviços: *Unsolicited Grant Service* (UGS), *Real Time Polling Service* (rtPS), *Non-real-time Polling Service* (nrtPS) e *Best Effort* (BE) [7].

- UGS: esta classe está voltada para serviços que necessitam de tráfego em tempo real com tamanho de pacotes fixo, gerando assim um fluxo de dados contínuo.

Neste caso, ao estabelecer uma conexão utilizando essa classe é fornecida uma taxa fixa de largura de banda determinada pela BS sem que a SS solicite. Com isso as UGS não podem disputar oportunidades de acesso aleatório de transmissão.

- rtPS: projetada para suportar serviços que necessitem de tráfego em tempo real, mas com fluxo de dados variável, ou seja, pacotes de dados de tamanho variável. Uma SS solicita uma determinada largura de banda. Este tipo de classe também não pode disputar acesso aleatório de transmissão.
- nrtPS: desenvolvida para serviços que não necessitam de tráfego em tempo real, é voltada para tráfego tolerante a atrasos e com fluxo variável. Trabalha com o sistema de *polls* (fichas) de transmissão, isto garantirá que haja oportunidade de transmissão mesmo que tenha congestionamento. Podem disputar acesso aleatório de transmissão para a requisição de banda.
- BE: projetada para fornecer serviços baseados em tráfego de melhor esforço, mais utilizado para transmissão de dados, com fluxo dados variável, sendo assim pacotes de dados com tamanho variável. Não se tem nenhuma garantia de atraso ou de vazão. Uma SS terá a oportunidade de disputa para envio de um pedido de requisição de largura de banda através de duas formas: em *slots* de tempo aleatório ou em oportunidades de transmissão dedicada.

### **2.3.2.5. Requisição e Concessão de Largura de Banda**

A Requisição de largura de banda é o processo pelo qual uma SS indica para uma BS que necessita de uma alocação de largura de banda. Essas requisições são feitas através de uma das três conexões de gerenciamento, que irão negociar parâmetros e classes de serviços.

Existem dois tipos de requisição as incrementais e as agregadas. A requisição incremental é aquela onde será adicionada a banda requerida à banda já existente da conexão, já a requisição agregada substitui a largura de banda da conexão existente pela nova requisição de banda. Para que haja este dois tipos de requisição de banda, as SSs devem enviar periodicamente requisições de banda e essas atualizações irão depender da função da classe de serviço utilizada e da qualidade do enlace.

As concessão são feitas através dos CIDs, e podem ser de dois tipos, uma através de

*Grant Per Connection* (GPC) e outra por *Grant Per SS* (GPSS). No caso da GPC a concessão é dada especificamente para um CID, pois se fosse para vários CIDs, ocorreria *overhead* devido ao aumento dos UL-MAP, no caso GPSS todas as SSs seriam atendidas e cada SS compartilharia esta largura de banda, referente aos critérios de QoS.

### 2.3.3. Subcamada de Convergência Específica

Última parte integrante da camada MAC, a subcamada de convergência específica, tem como funcionalidades as adaptações necessários para qualquer cliente de rede Wi-MAX. Esta subcamada é dita específica porque diferem dependendo da tecnologia do cliente. Existem por enquanto dois tipos de especificações da subcamada de convergência *Convergence Sublayer* (CS), a *Packet CS* e a *ATM CS* [6].

A *Packet CS* é um tipo de serviço da subcamada de convergência específica para transporte dos protocolos baseados em pacotes, o *Ethernet*, o Protocolo de Internet (IP) e o Protocolo Ponto a Ponto (PPP). Esta subcamada utiliza os serviços da camada MAC para executar suas funções, tais como, classificação dos MAC PDUs de protocolos e camadas superiores na conexão apropriada, envio de CS PDU resultante para a camada MAC SAP, recepção de CS PDU da camada MAC SAP, recuperar informações de qualquer cabeçalho que por algum motivo não apareceu e opcionalmente a supressão de cabeçalho.

Outro tipo de serviço é o *ATM CS* baseado em uma rede ATM. Este serviço é uma interface lógica que associa diferentes serviços ATM com a subcamada de convergência comum da camada MAC. O *ATM CS* foi projetada para dar suporte a convergência de MAC PDUs do protocolo de uma das camadas das redes ATM. Aceita células ATM, classifica se solicitado, entrega o CS PDU (Figura 2.12) para a camada MAC SAP apropriada, suprime cabeçalho, preserva ou habilita o QoS e a largura de banda, ajustando todos os parâmetros necessários de uma rede ATM [10].



Figura 2.12: Formato de CS PDU para conexões ATM

## 2.4. Arquiteturas

O padrão 802.16 baseia-se em duas arquiteturas diferentes, uma arquitetura fixa baseada no padrão 802.16-2004 e outra arquitetura móvel baseada no padrão 802.16e, todos



eles homologados pelo IEEE. Dentro dessas arquiteturas temos tipos de topologias diferentes como por exemplo: as topologias ponto a ponto, ponto-multiponto e *Mesh*.

### 2.4.1. Topologia Ponto a Ponto

Na topologia ponto a ponto a ligação é feita de um único ponto de origem e um único ponto de destino, esta ligação é exclusiva e pode ser utilizada para diferentes aplicações, como interligação de redes corporativas, de acesso a internet ou ainda ligação direta ao cliente final [15]. Tanto a primeira como a segunda aplicação podem ser conhecidas como *Backhaul* de uma rede para outra (Figura 2.13). Como se trata de uma tecnologia de redes sem fio, a ligação entre esses dois pontos é feita por dois rádios com antenas direcionadas e podem ser tanto LOS como NLOS.

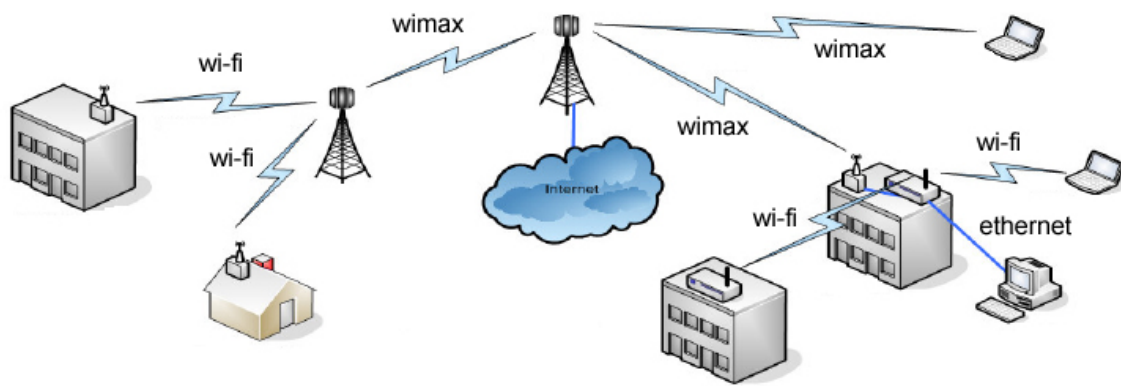
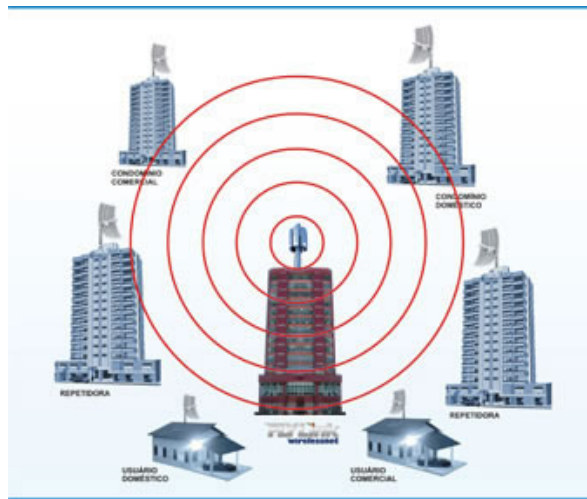


Figura 2.13: WiMAX como Backhaul para Rede Wi-Fi

### 2.4.2. Topologia Ponto-Multiponto

A topologia ponto-multiponto nada mais é que a ligação de um único ponto de origem para vários pontos de destino. Com isso atende diversos usuários ao mesmo tempo, mas com uma diferença da topologia ponto a ponto, utiliza apenas uma BS (Figura 2.14) [16].

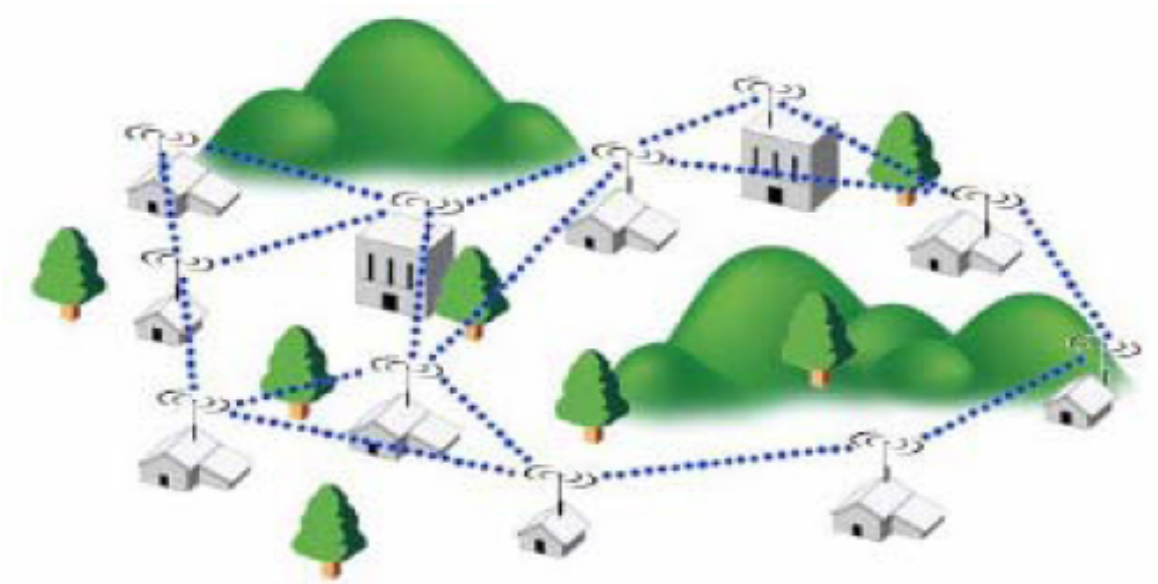
Para esse tipo de ligação são utilizadas antenas omnidirecionais ou diretivas setoriais, dependendo da área de cobertura que se deseja atingir. As áreas de cobertura formadas pelas antenas são denominadas células. Do mesmo modo que a topologia ponto a ponto, pode-se utilizar esta topologia para ligações de redes corporativas, acesso a internet e outros tipos de aplicação [16].



**Figura 2.14: Topologia Ponto-Multiponto**

### 2.4.3. Topologia Mesh

A topologia *mesh* é uma topologia de redes em malha ou *multihop*, onde além das ligações das SS com as BS, existem ligações de uma SS com outra SS, e portanto pode-se ter um escoamento maior do tráfego de dados na rede. Este tipo de topologia pode ser interessante pois ampliaria esta rede sem a necessidade de implantação de novas BS, visto que a implementação de uma BS tem um alto custo em relação a implantação de uma SS. Funciona como as outras duas topologia a única diferença é somente no tipo da estrutura (Figura 2.15) [17].



**Figura 2.15: Topologia de Rede Mesh**

## 2.5. Família do Padrão 802.16

O padrão 802.16 não é único, e sim um conjunto de padrões que vem sofrendo alterações, com o intuito de melhorar cada vez mais. Dentre esse conjunto de padrões os mais importantes são: o 802.16d e o 802.16e. O primeiro é dito como WiMAX fixo e o segundo como WiMAX móvel. O protocolo 802.16 foi desenvolvido para trabalhar com frequência de 10 a 66 GHz, com visada direta, taxas de transmissão de até 134 Mbps e um alcance de 5Km. A seguir serão descritos com maior detalhes os dois padrões que evoluíram do padrão 802.16.

### 2.5.1. Padrão 802.16d

O padrão 802.16d é uma evolução do padrão que o antecedeu, o 802.16a, pode ser chamado de 802.16-2004 ou 802.16REVd [18]. Conhecido também como Wi-MAX fixo ou nomádico, pois permite apenas uma pequena mobilidade, já que não suporta *handoffs*. *Handoffs* nada mais são do que a troca de uma célula para a outra durante a comunicação. Homologada pelo IEEE em junho de 2004, opera na faixa de frequência de 2 a 11 GHz e trabalha com ou sem linha de visada. As taxas de transferência podem chegar até 75 Mbps e utiliza o tipo de modulação OFDM. Tem um alcance de 5 a 10 Km e dependendo do tipo de equipamento, antenas com maior ganho e potência entre outros parâmetros, podendo alcançar cerca de 50 Km.

### 2.5.2. Padrão 802.16e

Conhecido também como WiMAX móvel, por suportar troca de células durante a transmissão (*handoffs*), roaming e otimizações para mobilidade [18]. Ratificado em dezembro de 2005, opera em frequência que variam de 2 a 6 GHz sem a necessidade de visada direta e taxas de transferência de até 15 Mbps. O raio de alcance de uma célula pode variar de 2 a 5 Km, sendo assim o alcance deste padrão estará restrito apenas ao conjunto de células existentes. Utiliza uma técnica de modulação chamada *Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access* (SOFDMA) transmite através de multiportadoras com subcanalização.

WiBro é um padrão baseado no IEEE 802.16e, desenvolvido na Coreia, só que este não pode ser considerado WiMAX, pois não é certificado e nem segue os perfis do WiMAX fórum [18].

### 2.5.3. Resumo da Família do Padrão 802.16

A seguir é apresentado uma tabela (Tabela 2.1) com um resumo geral do padrão descrito anteriormente e dos outros dois padrões em maior evidência na atualidade.

**Tabela 2.1: Família do Padrões 802.16**

	802.16	802.16a/d	802.16e
Homologado	Dezembro de 2001	Janeiro de 2003 / Junho de 2004	Dezembro de 2005
freqüência	10 – 66 GHz	2 – 11 GHz	2 – 6 GHz
Condições do Canal	LOS	LOS e NLOS	NLOS
Taxa de Transmissão	Até 134 Mbps	Até 75 Mbps	Até 15 Mbps
Modulação	QPSK, 16 QAM e 64 QAM	OFDM e OFDMA	OFDM e OFDMA
Mobilidade	Fixa	Fixa e mobilidade restrita	Móvel
Alcance	2 – 5 Km	5 – 10 Km (ou até 50 Km)	2 – 5 Km

### 3. O PADRÃO 802.11

Os avanços nas comunicações e nos equipamentos dos últimos anos possibilitaram o surgimento de várias tecnologias que cada vez mais tentam atender as necessidades dos usuários de um modo geral e com a melhor qualidade possível.

Equipamentos como PDAs, notebooks, celulares, trouxeram grandes avanços nas tecnologias wireless e, atualmente as comunicações sem fio ganharam um espaço considerável nas transmissões de dados, não apenas existindo em comunicações em grandes distâncias mais também agora em ambientes locais [19].

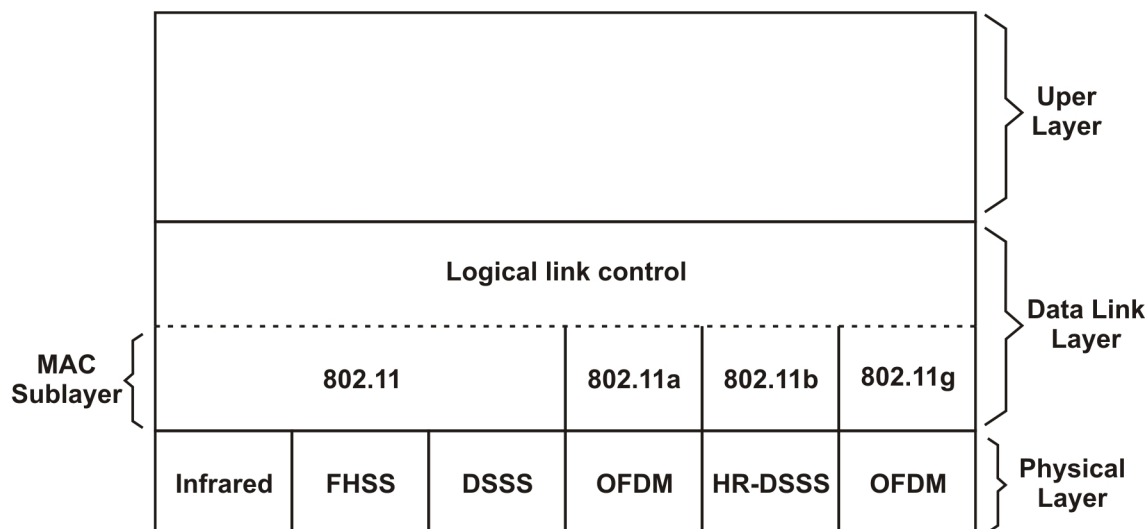
As redes sem fio, além de proporcionar mobilidade para diversos equipamentos, possibilitam a construção de uma rede onde a infra-estrutura de cabeamento convencional é de difícil instalação ou de alto custo, viabilizando pontos de rede com eficiência e um custo/benefício iguais ou até melhor se comparados ao do sistema cabeado [19].

No início do desenvolvimento das redes sem fio houve um grande problema: incompatibilidade, pois os equipamentos receptores e transmissores a rádio de ondas curtas que eram vendidos não seguiam nenhum padrão [20]. O IEEE criou um grupo de pesquisa destinado a criação de um padrão aberto para que a redes sem fio pudesse se tornar cada vez mais uma realidade. Esse padrão foi denominado 802.11, nasceu em meados de 1990 e ficou inerte por algum tempo, pois suas taxas de transferência de dados eram a ordem de Kbps. Conforme as taxas de transferência aumentavam e chegavam a ordem de Mbps, estas tecnologias passaram a ser vistas como tecnologias promissoras e começaram a receber cada vez mais investimentos e incentivos para construção de equipamentos.

O padrão 802.11, também conhecido como Wi-Fi, homologado em 1997, pode funcionar tanto na presença de uma BS ou *Access Point* (AP) (modo infra-estrutura), quanto na ausência dela, transmitindo de um computador a outro (modo Ad-hoc). Inicialmente o padrão funcionava com velocidades de 1 ou 2Mbps. Assim, em 1999 foram publicados os padrões 802.11a e o 802.11b que tinham as mesmas faixas de frequência que o 802.11, mas sendo que o primeiro alcançava uma velocidade de até 54Mbps e o segundo 11Mbps, aumentando a família de padrões 802.11. Também foi criado o padrão 802.11g que utilizava a modulação do 802.11a e a mesma faixa de frequência do 802.11b e atingia uma velocidade de até 54 Mbps [20]. Nas próximas seções descreveremos o padrão 802.11.

### 3.1. Pilha de Protocolos

Este padrão é baseado na pilha de protocolo ilustrado na Figura 3.1 sendo a camada física deste padrão corresponde a camada física do modelo *Open Systems Interconnection* (OSI).



**Figura 3.1: Pilha de Protocolo**

A camada de enlace de dados se divide em duas subcamadas: a subcamada MAC que determinará quem irá transmitir e a subcamada *Logic Link Control* (LLC) responsável pela interface única com a camada superior (camada de rede). A LLC faz com que a camada superior receba as informações sem a necessidade de que saiba que tipo de rede 802 foi utilizada [21]. A seguir será explicada cada subdivisão dessa pilha de protocolo.

### 3.2. Camada Física

Os quadros do padrão 802.11 só são possíveis de serem enviados devido as cinco técnicas de transmissão utilizadas na camada física das redes sem fio, *Infrared*, *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS), *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS), *High Rate Direct Sequence Spread Spectrum* (HR-DSSS), *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM).

A técnica de *Infrared* usa feixes de luz infravermelho que é capturado por um receptor sensível a mesma faixa de radiação enviada pelo emissor, essa comunicação de raios por infravermelho pode atingir velocidades de 9.600 bps até 4 Mbps. A desvantagem dessa técnica é que ela só pode ocorrer “um para um” um único emissor para um único receptor, não possibilitando a troca simultânea de dados [1].

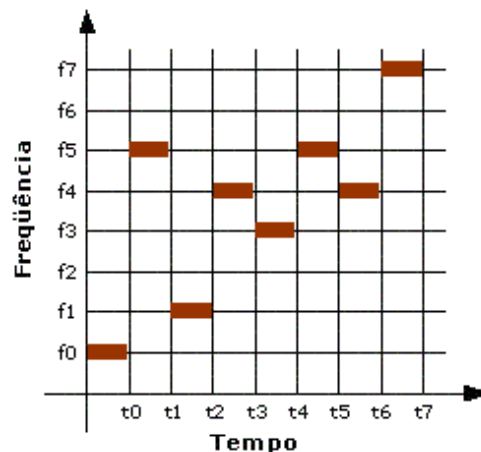
A *Infrared* é vista nos dias atuais, em diversos aparelhos, mais comumente nos celulares, mas também podendo ser encontrados em outros equipamentos como os PDAs e os notebook (Figura 3.2). Esta técnica é encontrada também em teclados e mouses sem fio. Geralmente utilizados em pequenos aparelhos e que não necessitem de longos alcances [1].



**Figura 3.2: Conexão entre Notebook e PDA via infravermelho**

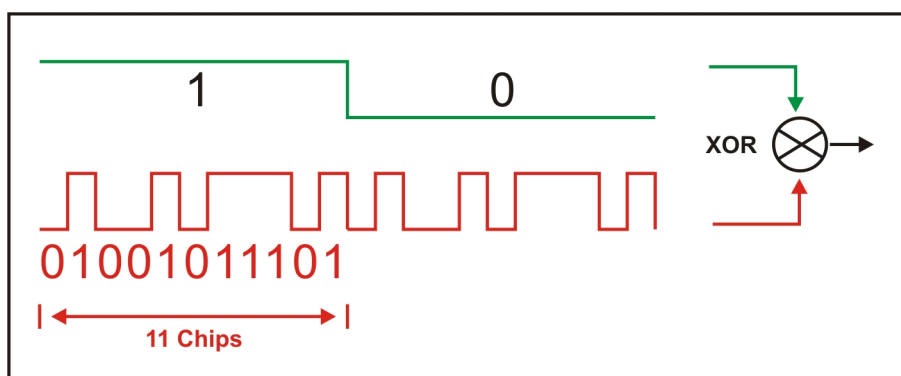
Três dessas técnicas são baseadas no sistema de *Spread Spectrum* onde a ideia é a de espalhamento espectral, criada pelos militares durante a segunda guerra mundial para que não pudesse monitorar e nem interromper os sinais de rádio emitidos. O sinal é transmitido, codificado, modificado e espalhado pelo espectro de frequência, sendo assim o sinal original ocupa uma banda menor do que o no espectro espalhado [22]. Com isso foi possível ter transmissões a rádio de altas taxas e confiabilidade.

A primeira delas a ser vista é a FHSS ou também conhecida como Salto em Frequência, as informações saltam em uma sequência de frequência pseudo-aleatória, esta sequência é gerada por um circuito pseudo-aleatório, mas que na verdade já trabalha em um padrão pré-determinado. As estações devem estar sincronizadas para que seja possível saber em qual salto de frequência serão transmitidas as informações (Figura 3.3) [23].



**Figura 3.3: Técnica FHSS**

A segunda técnica é a da DSSS (Figura 3.4), conhecida como Sequência Direta baseada-se na divisão do tempo de duração de um bit, este tempo é subdividido em 11 intervalos curtos denominadas chips. Esses chips são transmitidos paralelamente em canais estacionários de 22MHz de frequência cada. O *Code Division Multiple Access* (CDMA) usado em telefonia celular, utiliza desse princípio de sequência direta. Por exemplo, o bit 1 (01001011101) pode ser transmitido enviando a sequência de seu chip, que é própria de cada estação, sendo assim seu bit 0 (10110100010) pode ser transmitido usando o complemento do bit 1 [23].



**Figura 3.4: Técnica DSSS**

A terceira técnica baseada no *Spread Spectrum* é a HR-DSSS, uma técnica de dispersão de espectro, utilizada no padrão 802.11b e permite taxas como 1Mbps, 2Mbps, 5,5Mbps e 11Mbps, utilizando para isto 11 milhões de chips por segundo na banda de 2,4 GHz. Assim tem um alcance 7 vezes maior do que o OFDM usado pelo padrão 802.11a.

Nas duas taxas de transmissão mais baixas (1Mbps e 2Mbps) funciona a 1Mbaud e 1bits/ baud ou 2bits/ baud, utilizando modulação BPSK (*Binary Phase Shift Keying*), nas duas mais elevadas (5,5Mbps e 11Mbps) funcionam a 1.375Mbaud com 4bits/ baud e 8bits/ baud, sendo compatíveis com o DSSS.

Outra técnica utilizada pelas redes sem fio é a OFDM que transmite em até 54Mbps na banda *Industrial Scientific Medical* (ISM), operando em 5GHz com a frequência dividida em 52 subportadoras, sendo que 4 delas para sincronização e as outras 48 para a transmissão dos dados, esta técnica é bem resistente a interferência múltiplas e aos atrasos.

### 3.3. Subcamada MAC

A subcamada MAC é uma das partes integrantes da camada de enlace de dados jun-



tamente com a LLC. Esta subcamada é intermediária da camada física e da subcamada LLC que está ligada a próxima camada, a de rede. Tem por função o controle do envio de dados de alto nível.

O protocolo desta subcamada admite dois modos de função de coordenação, um deles é o chamado *Point Coordination Function* (PCF) para redes que tenha BS, e o outro é conhecido como *Distributed Coordination Function* (DCF) mais apropriado para as redes que trabalham em modo Ah-doc.

Essas duas funções foram propostas devido a uma deficiência das transmissões a rádio, onde não é possível escutar o barramento ao mesmo tempo em que se transmite, com isso os rádios são todos *half-duplex*, isso é, a transmissão se dá somente em um sentido, ou está transmitindo ou está recebendo, isto em uma mesma faixa de frequência.

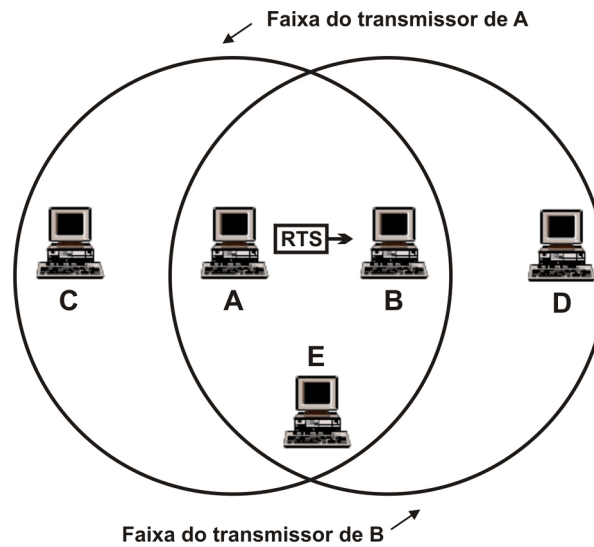
A primeira função a ser descrita será o DCF que utiliza um protocolo semelhante ao *Carrier Sense Multiple Access/Colision Detection* (CSMA/CD) usados nas redes *Ethernet*, o *Carrier Sense Multiple Access/Colision Avoidance* (CSMA/CA) que trabalha de dois modos.

Um dos modos é baseado no *MACA for Wireless* (MACAW) que nada mais é que a melhoria do *Multiple Access with Collision Avoidance* (MACA) [24]. Funciona da seguinte maneira, um pequeno quadro (30 bytes) de requisição de transmissão chamado *Request to Send* (RTS) é enviado para a estação receptora, esta por sua vez é estimulada a enviar um outro quadro, o *Clear to Send* (CTS), autorizando a transmissão, isso faz com que as estações vizinhas detectem uma transmissão e assim evitem de transmitir durante a recepção de um quadro maior.

Como os quadros que não tinham sucesso de envio só eram detectados na camada de transporte, gastava-se então muito tempo para identificar o erro, assim foi necessário a criação de medidas para que não perdesse este tempo, identificando o erro antecipadamente. Uma das maneiras para se resolver este problema foi a inserção de um quadro *Affirmative Acknowledgment* (ACK) depois do envio de cada quadro com sucesso, além de algoritmos para controle de fluxo de dados individual, usando o algoritmo de *backoff* [21] e um mecanismo de troca de mensagens sobre o congestionamento da rede.

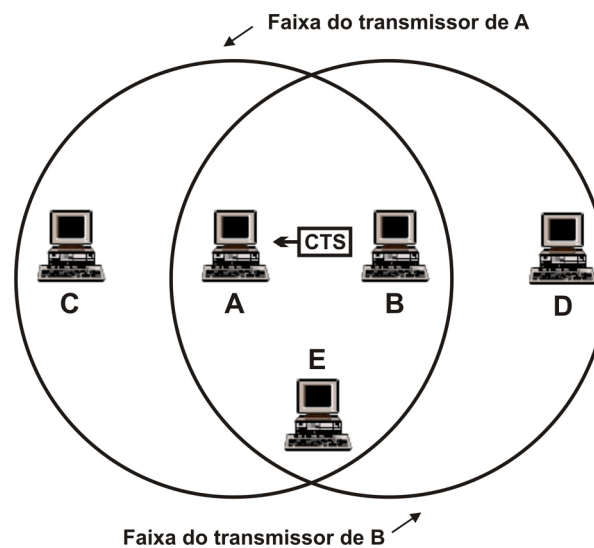
Exemplificando o que foi dito anteriormente, supondo que a estação *A* qualquer queira transmitir para uma outra estação *B*. *A* inicia a transmissão enviando um RTS para

*B* como mostra a Figura 3.5, esse quadro RTS informa o tamanho do quadro que será transmitido. *B* responde com um quadro CTS (Figura 3.6) com o comprimento do quadro copiado do RTS de *A*. Após o recebimento do CTS, *A* começa a transmitir [21].



**Figura 3.5: Envio do RTS de A para B**

As estações que conseguem escutar o RTS estão na mesma faixa de abrangência da estação *A* (estações *C* e *E*), sendo assim, ficam inativas sem que possa interferir na recepção do CTS por *A*. As estações que podem ouvir o CTS estão na mesma faixa de *B* (estações *D* e *E*), ficando também inativos até que *B* receba a transmissão do quadro por inteiro e seu tamanho pode ser verificado analisando o CTS [21].



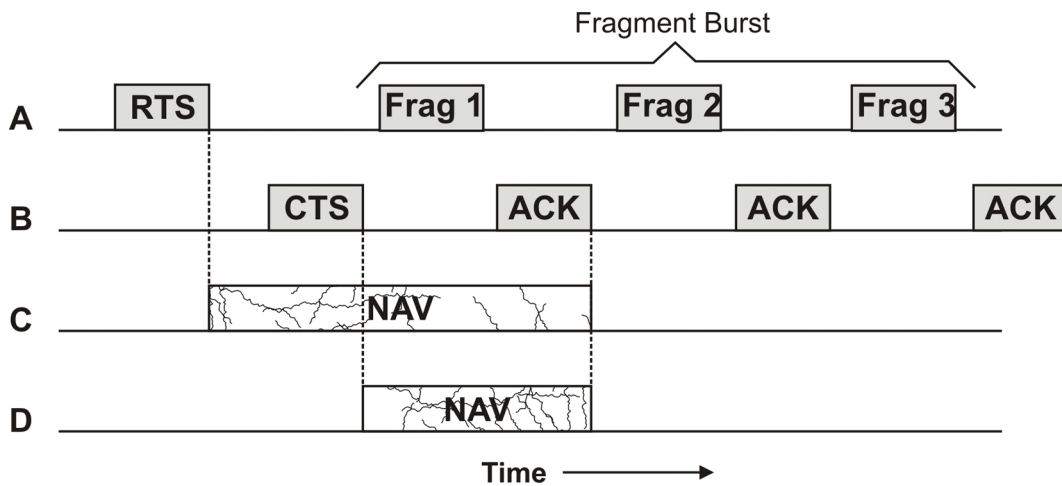
**Figura 3.6: Envio do CTS de B para A**

Como a estação *C* está somente faixa de *A*, pode ouvir o RTS, sendo assim se ele

não interferir na recepção do CTS, já que não o ouvi, estará livre para transmitir. A estação *D* escuta somente o CTS e não escuta o RTS, logo está próxima a estação receptora, com isso, ficará inativo até que a transferência do quadro seja terminada. Agora como a estação *E* consegue ouvir tanto o RTS como o CTS enquadra-se na mesma situação de *D*, tendo que ficar inativa [21].

O outro modo baseia-se na escuta do canal, a estação que deseja transmitir fica escutando o canal para saber se está inativo, caso seja positivo a estação começará transmitir, caso negativo ela espera até que o canal seja desocupado. Notando-se uma colisão as estações que estavam transmitindo esperam um determinado tempo para que possam tentar transmitir novamente. Esta espera é baseada no algoritmo de recuo binário exponencial usado na redes *Ethernet* [21].

Um grande problema enfrentado pelas redes sem fio são as interferências, a maior parte delas causadas pelo uso de banda ISM não licenciada, assim não se recomenda quadros de tamanhos grandes. O protocolo 802.11 permite que esses quadro sejam fragmentas em quadro menores para que diminua a possibilidade de ocorrência de erros, sendo chamado de rajada de fragmentos (Figura 3.7).



**Figura 3.7: Rajada de Fragmentos**

A segunda função de coordenação a ser descrita é o PCF que baseia no controle da ordem de transmissão, verificando as estações que querem transmitir para que assim não haja colisões.

Esta verificação é conhecida como *polling* que consiste na seguinte idéia, é enviado um quadro (10 a 100 vezes por segundo) com informações do sistema, para ordenar quem irá transmitir e ainda convidar estações que não estejam nesse serviço de *polling*. O PCF

ainda sim garante largura de banda e qualidade de serviço.

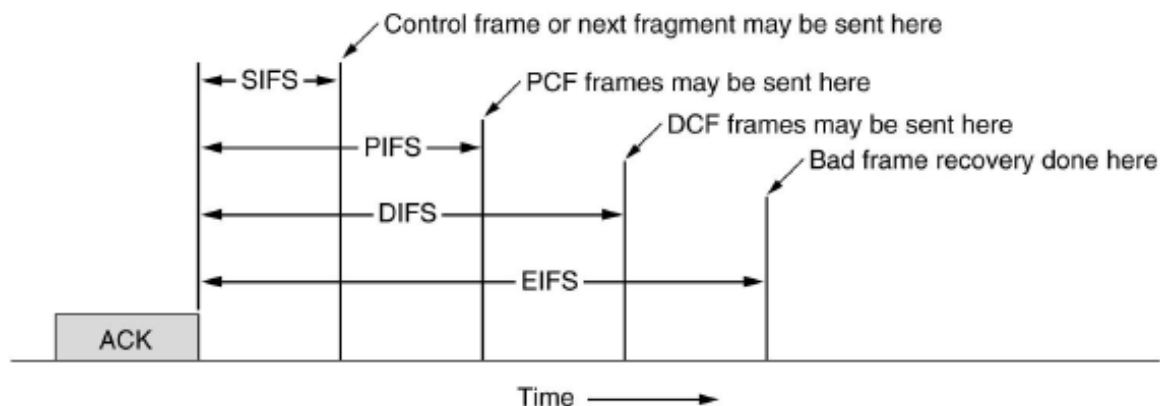
O IEEE 802.11 oferece também uma outra função de coordenação bem interessante que é uma mistura dessas duas funções de coordenação vistas anteriormente, o DCF e o PCF, formando assim o *Hybrid Coordination Function* (HCF) baseado em dois métodos de priorização do fluxo de tráfego de maior interesse, o *Enhanced DCF Channel Access* (EDCA) e o *HCF Controlled Channel Access* (HCCA) [25].

O EDCA irá determinar quais tráfegos têm maior prioridade na transmissão de pacotes e quais tráfegos terão menor prioridade, assim os que tiverem menor prioridade terão um tempo maior de espera para transmitir [25]. Cada prioridade, receberá um tempo chamado de TXOP, intervalo de tempo onde cada estação poderá transmitir os pacotes em um superquadro.

O HCCA determina o intervalo de tempo do envio dos pacotes e da polling. A grande diferença entre o PCF e o HCCA é que o HCCA pode determinar classes de tráfego. O HCF pode informar as SSs o tamanho da fila para um determinado fluxo ou também dar prioridade para algumas estações.

Com o modo HCCA de operação híbrida é possível configurar a qualidade do serviço com grande precisão sendo que as próprias estações possam determinar parâmetros específicos como taxas de dados, entre outros. Com isso é possível aplicações que tenham alto grau de desempenho [25].

Para que no modo HCF possa coexistir os outros dois modos, o DCF e o PCF em uma mesma célula, são definidos quatro tempos (Figura 3.8), e que serão descritos em seguida [21].

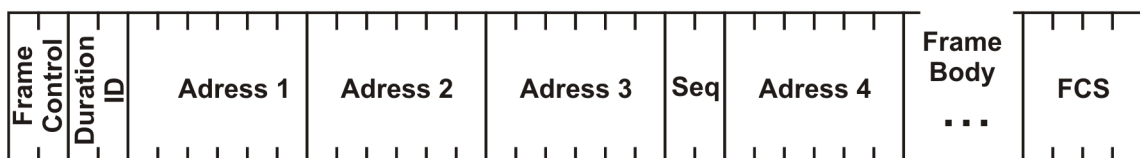


**Figura 3.8: Tempos de Espaçamentos do 802.11**

- *Short InterFrame Spacing* (SIFS): pequeno espaço entre dois quadros que permitem que os fragmentos de uma mesma comunicação possa ser transmitir primeiro;
- *PCF InterFrame Spacing* (PIFS): tem por função apoderar-se do canal de transmissão, caso não haja nenhum sinal de transmissão depois do tempo decorrido do SIFS.
- *DCF Interframe Spacing* (DIFS): tempo pelo qual qualquer estação pode se apoderar do canal para transmissão, enviando um novo quadro, podendo ocorrer colisões mas isso é solucionado utilizando o algoritmo de recuo binário exponencial.
- *Extender Interframe Spacing* (EIFS): tempo com baixa prioridade, com função de avisar o recebimento ou informar a presença de quadros defeituosos.

### 3.3.1. Formato do Quadro 802.11

Os quadro do padrão 802.11 seguem o formato genérico ilustrado na Figura 3.9. Nota-se algumas peculiaridades sobre o tipo e o comprimento de alguns campos, mas em contra partido existem algumas características encontradas nos quadros das redes *Ethernet*. O preâmbulo faz parte da camada física e guarda informações como o tipo e o comprimento dos quadros presentes nos cabeçalhos de dados enviados [25].

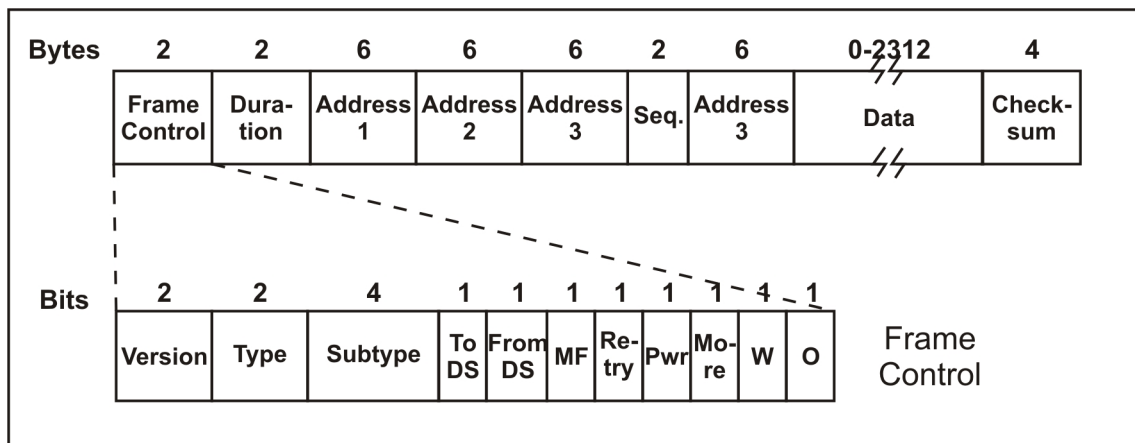


**Figura 3.9: Formato Genérico do Quadro**

Os quadros podem ser de diferentes tipos dependendo da função implementada pelo quadro. Os quadro utilizados pela MAC são de três tipos diferentes: gerência, controle e dados.

O primeiro campo de um quadro de dados é o quadro de controle, composto por 2 bytes, que pode ser visto na Figura 3.10. O quadro de controle é dividido em 11 campos diferentes e tem importância relevante na transmissão dos quadros na rede [26].

- *Version*: composto por 2 bits, permite que dois tipos diferentes de versões de protocolos sejam usados em uma mesma célula;



**Figura 3.10: Quadro de Controle e Quadro de Dados**

- *Type*: também composto por 2 bits, que indicará o tipo de quadro, controle, dados ou gerência;
- *Subtype*: composto por 4 bits classificando o quadro em um quadro de solicitação de transmissão ou de permissão de transmissão;
- *To DS / From DS*: todos os dois campos com tamanho de 1 bit, e indicará se o quadro está indo ou se ele está chegando do sistema de distribuição entre as células.
- *MF*: composto por 1 bit que indica se ainda existem fragmentos para receber;
- *Retry*: bit responsável por marcar se o quadro está sendo retransmitido, assinalado em quadro onde ocorrem erros;
- *More*: caso exista quadro adicionais para serem recebidos ;
- *Power Management (Pwr)*: indica se a estação que transmitiu o quadro esta em modo ativo (*active modo*) ou em modo de economia de energia (*power save mode*).
- *WEP (W)*: indica se há ou não autenticação e criptografia WEP (*Wireless Equivalent Privacy*) nos quadros;
- *Order (O)*: indica a ordem em que os quadros serão recebidos;

O segundo campo é o *duration* que determinara quanto tempo terá o quadro e sua confirmação, ou seja, o tempo que o quadro irá ocupar o canal de transmissão. Seguindo temos os campos *Address 1*, *Address 2*, *Address 3* e *Address 4*, onde o primeiro indica o

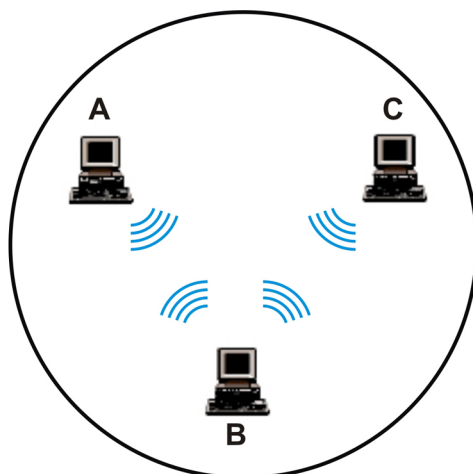
endereço de origem da transmissão, os dois seguintes indicaram controle da BS caso tenha mudança de células, e o último indica o endereço de destino. O campo *seq.* tem a função de numerar os fragmentos dos quadros, sendo dos seus 16 bits (2 bytes), 4 bits para indicar o fragmento e 12 bits para o quadro.

O campo *data* de tamanho variável pode chegar até 2.312 bytes, e contem os dados a serem transmitidos. O último campo que compõem o quadro MAC é o *checksum*, responsável pela checagem do quadro.

Os outros dois tipos de quadros não serão mostrados, mais os campos descritos anteriormente são bem parecidos aos do quadro de gerenciamento, com um pequeno detalhe que esses quadros são restritos apenas a sua célula e o quadro de controle são bem menores restringindo-se apenas ao campo *subtype*.

### 3.4. Comunicação Wireless 802.11x

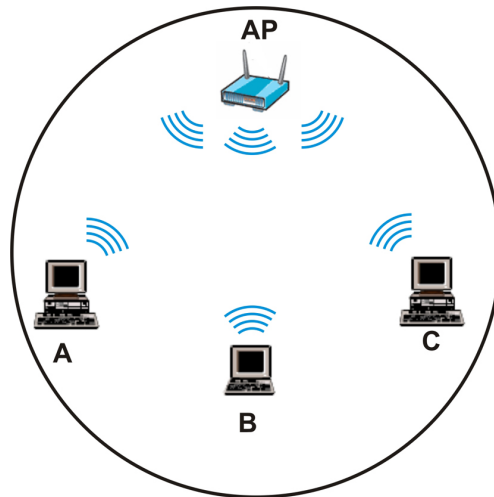
A comunicação wireless no padrão 802.11x pode ser feita conectando dois dispositivos diretamente, uma outra maneira de se ligar os dispositivos é um esquema onde abrange uma determinada área ou célula, tendo um ponto central de acesso para a comunicação, assim como o sistema de telefonia celular. O primeiro modo é mais conhecido como Ad-hoc e o segundo como infra-estrutura [1].



**Figura 3.11: Modo Ad-hoc**

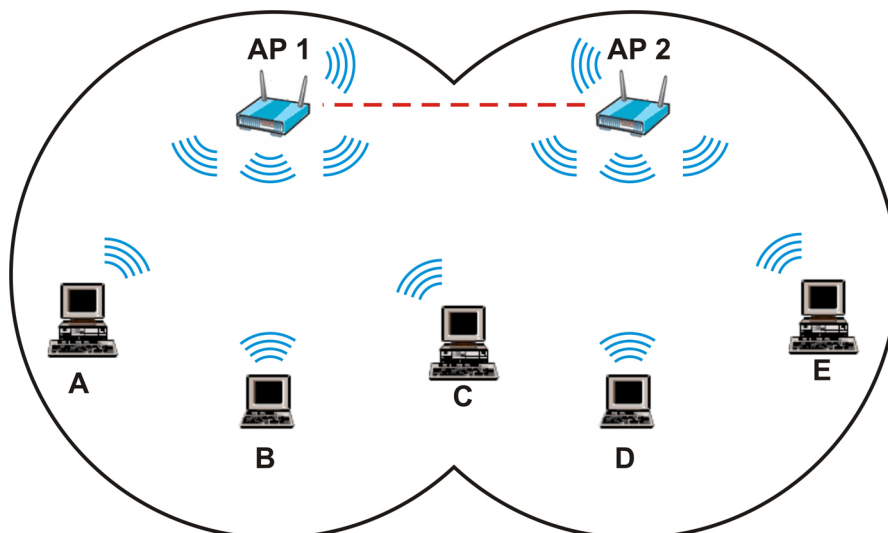
O Ad-hoc (Figura 3.11) é um modo onde não há uma topologia predeterminada, sendo assim pode ligar um computador a outro diretamente como em uma rede *Ethernet* sem a necessidade de um *hub wireless*, e no caso de redes sem fio é possível interligar mais de dois computadores sem a necessidade de um ponto central de acesso ou AP (*Access*

Point) [27]. Para que essas máquinas se comuniquem, devem estar na mesma área de alcance, de acordo com o conceito *Independent Basic Service Set* (IBSS) isso sem perder performance e nem velocidade mas restringindo a área de alcance do sinal [1].



**Figura 3.12: Modo Infra-Estrutura (BSS)**

O infra-estrutura (Figura 3.12) é um modo que necessita de um ponto de acesso ou AP que vai intermediar a comunicação entre os dispositivos da rede wireless, assim a área de abrangência correspondente de um AP é denominada *Basic Service Set* (BSS) [1].



**Figura 3.13: Extended Service Set**

Existe a possibilidade de ligação de duas ou mais BSSs constituindo assim uma *Extended Service Set* (ESS) (Figura 3.13), sendo que em cada BSS existe um AP responsável pela interligação dos dispositivos, aumentando a área de cobertura wireless. Cada ESS tem um *Extended Service Set Identifier* (ESSID) que é um identificador ESS e para que um



dispositivo se comunique com um outro os dois tem que estar configurados com o mesmo ESSID [1].

A união de duas ou mais BSSs pode ser feita de duas maneiras. A mais comum é a utilização de um cabo de rede via LAN *Ethernet*. A outra maneira é a interligação dos APs conhecida como *Wireless Distribution System* (WDS) que permite ligar vários APs sem a necessidade de cabeamento [1].

## **3.5. Família dos Padrões 802.11**

O padrão 802.11 homologado pelo IEEE não é o único, existem algumas derivações e melhorias desse padrão, mas sendo ainda sim da mesma família dos padrões 802.11x que é constituído pelas extensões 802.11a/b/d/e/f/g/h/i/j/k/m/n/p/r/s/t/u/v. Atualmente os mais utilizados são os padrões 802.11a/b/g, com uma grande promessa de sucesso do padrão 802.11n [28].

### **3.5.1. Padrão 802.11a**

Trabalha na frequência de 5GHz conhecida como *Universal Networking Information Infrastructure* (UNII), usa a técnica de modulação OFDM. Com velocidades de até 54Mbps dentro das normas do IEEE e de 72Mbps a 108Mbps com padrões dos fabricantes de equipamentos wireless. A grande vantagem deste padrão é a pouca interferência e a desvantagem é que não apresenta compatibilidade com os outros padrões mais utilizados [28].

### **3.5.2. Padrão 802.11b**

O padrão 802.11b opera na faixa de frequência de 2.4GHz ou também chamada de ISM e que não necessita de licenciamento para sua utilização. Utiliza o DSSS e a técnica de modulação *Complementary Code Keying* (CCK), as taxas de velocidade podem atingir 11Mbps com fallback para 5.5Mbps, 2Mbps e 1Mbps. Trabalho basicamente com dois tipos de topologia de rede, infra-estrutura e Ad-hoc. Compatível com a extensão 802.11g. A grande desvantagem é a alta interferência devido a utilização de banda não licenciada [28].

### **3.5.3. Padrão 802.11g**

Assim como o 802.11b também opera na faixa de frequência não licenciada de 2,4GHz com uma diferença: é possível atingir taxas de velocidades de até 54Mbps. Utiliza

duas técnicas de modulação, a OFDM que atinge taxas de 54Mbps e fallback de 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6Mbps, e a CCK que atinge 11Mbps e fallback de 5.5, 2, 1Mbps. Sendo assim, mantendo compatibilidade com o 802.11b. Apresenta melhor rendimento do que os outros em vista da taxa de transmissão por distância alcançada. A grande vantagem é a velocidade mas tendo as mesmas desvantagens do anterior [28].

### 3.5.4. Padrão 802.11n

Ainda em fase final de homologação esta extensão também conhecida como *Multiple-In, Multiple-Out* (MIMO) Wi-Fi, onde usará a tecnologia MIMO que permitira aos equipamentos se comunicarem com mais de uma antena ao mesmo tempo e cada uma podendo manipular mais de um sinal ao mesmo tempo. A grande vantagem é que aumenta o alcance e o tráfego de informações e será compatível com os padrões acima [28].

### 3.5.5. Resumo da Família do Padrão 802.11

A seguir é apresentado uma tabela (Tabela 3.1) com um resumo geral do padrão 802.11 e dos outros padrões mais utilizados hoje em dia.

**Tabela 3.1: Família do Padrões 802.11**

	802.11	802.11a	802.11b	802.11g
Homologado	Julho de 1997	Setembro de 1999	Setembro de 1999	Junho de 2003
Taxa de Transmissão	2 Mbps	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps
Alcance	100 m	50 m	100 m	100 m
Fallback	1 Mbps	48Mbps, 36Mbps, 24Mbps, 18Mbps, 12Mbps, 9Mbps e 6Mbps	5,5Mbps, 2Mbps, 1Mbps	48Mbps, 36Mbps, 24Mbps, 18Mbps, 12Mbps, 9Mbps e 6Mbps
freqüência	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Modulação	FHSS ou DSSS	OFDM	DSSS	OFDM ou DSSS
Compatibilidade	802.11	802.11a	802.11b/g	802.11b/g

## 4. COMPARANDO OS PADRÕES 802.11 E 802.16

No Capítulo 4 é apresentada uma comparação entre dois padrões que foram descritos nos Capítulos 2 e 3. Esta comparação entre essas duas tecnologias em redes sem fio, mostrará apenas alguns aspectos que as tornam diferentes, sem um aprofundamento maior, levando em consideração os seguintes aspectos: alcance, mobilidade, qualidade de serviço, segurança e largura de banda.

A grande dúvida que poderia surgir entre esses dois padrões, é se estes vieram pra competir ou se eles seriam complementares, apesar de estarem inseridos em um mesmo contexto. Mesmo que se tenha aspectos em comum, cada padrão está destinado a resolução de problemas diferentes, ambos criam uma área ao redor de suas BS como se fossem uma célula, usam às vezes as mesma técnicas, como é o caso do OFDM, mas por outro lado em outros aspectos eles divergem bastante.

A grande diferença entre essas dessas tecnologias é que elas foram criadas para aplicações completamente diferentes. Se analisar as características dos dois padrões, nota-se que o 802.16 tem uma abrangência bem maior, na casa dos quilômetros, sendo assim tendo como crucial algumas características como segurança e privacidade das informações transmitidas. Este padrão usa um sistema que analisa a relação sinal/ruído para adaptar-se à melhor transferência das informações, com isso pode-se assegurar que é uma tecnologia apropriada para dar acesso a banda larga sem fio em grandes áreas ou áreas metropolitanas (BWA), competindo com tecnologias como *cable modems* e xDSL.

Por outro lado, o padrão 802.11 é o mais utilizado atualmente tem uma abrangência bem menor do que o padrão 802.16, variando na casa dos metros. Com isso as prestadoras de serviços de acesso a banda larga sem fio fazem adaptações ou utilizam-se de equipamentos mais potentes para conseguir um alcance maior, na faixa de alguns quilômetros, sendo que sua real finalidade é a utilização em âmbito local ou *Wireless Local Area Network* (WLAN). Apesar de suportar aplicações de alto desempenho essas redes foram criadas para dar maior mobilidade as redes locais cabeadas.

Sendo assim o padrão 802.16 foi criado para suprir as necessidades não atendidas pelo sistema Wi-Fi, como um complemento para essa outra tecnologia de redes sem fio, tanto no uso comercial como no uso residencial e nos mais diversos setores, podem até

mesmo trabalhar em conjunto com tecnologias cabeadas para prover a extensão ao acesso de banda larga em locais onde uma infra-estrutura de cabeamento não fosse possível.

## 4.1. Alcance

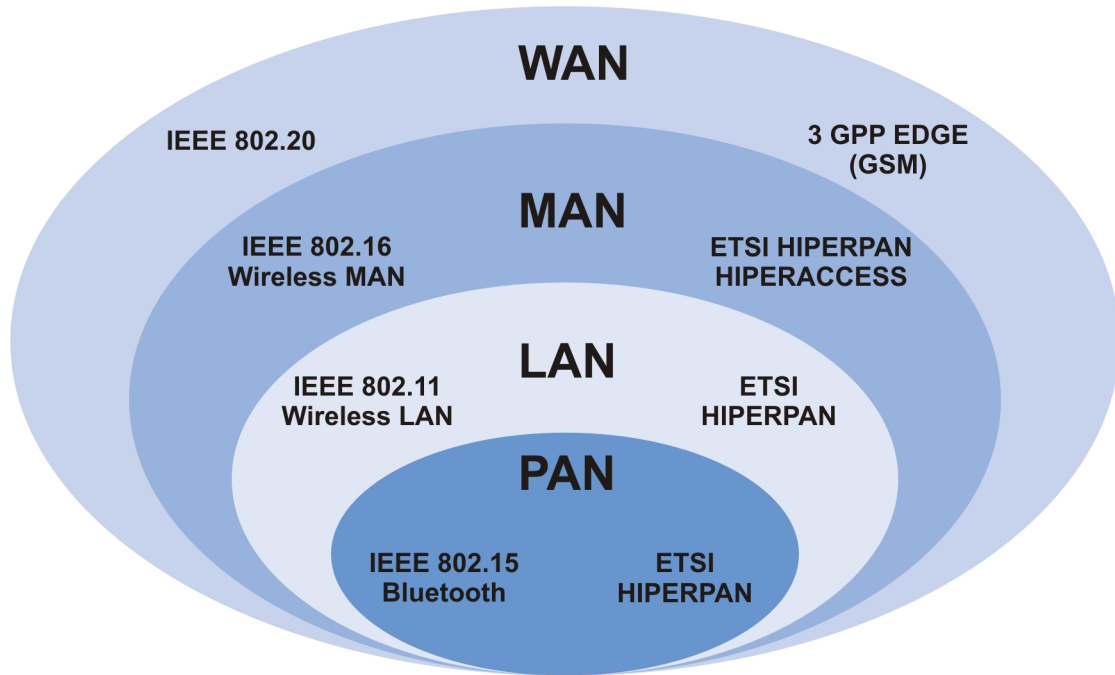


Figura 4.1: Abrangência dos Padrões 802.x

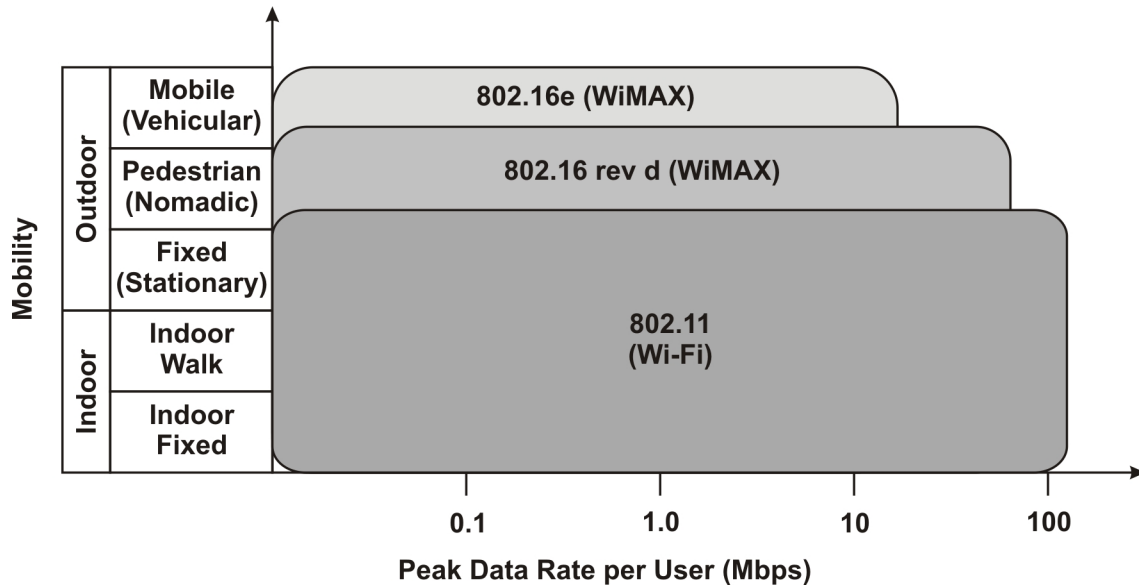
O alcance dos padrões definidos pelo IEEE, visto na Figura 4.1, mostra bem a hierarquia da área de abrangência de cada padrão e assim pode-se observar que os dois padrões que foram vistos anteriormente tem alcances diferentes sendo que o 802.16 atende as áreas metropolitanas *Metropolitan Area Network* (MANs) e o 802.11 atende as áreas locais *Local Area Network* (LANs) [29].

Com isso a combinação dessas duas especificações, padrão mais área de cobertura, resulta em uma nomenclatura conhecida como *Wireless Metropolitan Area Network* (WMAN) para o padrão 802.16 e *Wireless Local Area Network* (WLAN) para o padrão 802.11.

## 4.2. Mobilidade

A mobilidade dos padrões de rede sem fio pode ser vista na Figura 4.2. Esta mobilidade é vista para aplicações *indoor* e *outdoor* [1]. As aplicações *indoor*, são aplicações que não necessitam grande potência dos aparelhos por estarem geralmente em ambiente fecha-

do ou em pequenos ambientes, já as aplicações *outdoor* necessitam que esta potência seja maior, pois geralmente são ambientes grandes ou ambientes abertos.



**Figura 4.2: Mobilidade dos Padrões**

Pode-se ver que o padrão 802.11 em ambientes fechados tem mobilidade total tanto para dispositivos (aplicações) fixos como para dispositivos que se pode transportar, já em ambientes abertos a mobilidade deste padrão é pequena ficando restrito apenas dispositivos fixos. No padrão 802.16 podemos ver que se tem uma maior mobilidade, mas com uma ligeira diminuição nas taxas de transmissão de dados [30].

### 4.3. Qualidade de Serviço

No WiMAX, como trata-se de um padrão para redes metropolitanas, foi projetado tendo em vista a qualidade de serviços, isto é, a qualidade de serviço já é nativo do padrão. Com isso, trabalha com algumas classes de serviços já implementadas para garantir esta qualidade de serviço e que foi abordada na subseção 2.3.1.

Agora para o 802.11 a qualidade de serviço foi incorporado a partir da derivação do padrão 802.11e que passou a suportar aplicações mais robustas e que necessitavam de uma menor latência e um menor atraso [30]. Na Tabela 4.1 mostra um resumo dos QoS.

**Tabela 4.1: Qualidade de Serviço**

802.11	802.16
Acesso ao meio sem garantia de QoS;	Pedido de concessão MAC;
O padrão não garante latência para voz e vídeo;	Projetada para suporte áudio e vídeo;
Não permite níveis de serviço;	Níveis de serviço: T1 para empresa e melhor esforço para residência;
TDD assimétrico;	TDD/FDD/HFDD assimétrico e simétrico;
802.11 e onde QoS é priorizado.	QoS reforçado.

## 4.4. Segurança

Na questão de segurança e privacidade Wi-Fi e WiMAX se diferenciam bastante. O Wi-Fi utiliza-se de três técnicas para a encriptação, WEP, *Wireless Application Protocol* (WAP) e a WEP2, sendo que esta última é implementada na extensão do protocolo 802.11 ou 802.11i, mas mesmo assim ainda existem deficiências na parte de segurança deste padrão [25].

No WiMAX como foi projetado para redes metropolitanas segurança tinha um foco maior, sendo assim todas as transmissões do WiMAX são encriptadas. Utiliza-se do mecanismo do Triplo DES (*Data Encryption Standard*) o mesmo utilizado para as *Virtual Private Network* (VPNs) e usa-se algoritmo de RSA para encriptação [6].

## 4.5. Largura de Banda

Nesta aspecto de largura de banda, algumas das extensões dos dois padrões utilizam a mesma frequência, mas devido ao tipo de aplicação para o qual o WiMAX foi criado, algumas dessas extensões utilizam frequências diferentes daquelas utilizadas pelo outro padrão o 802.11. A seguir será mostrado na Tabela 4.2 um confronto das frequências dos dois padrões [29].

**Tabela 4.2: Confronto das Larguras de Banda dos Padrões 802.11 e 802.16**

802.11		802.16	
Extensão	frequência	Extensão	frequência
802.11a	5 GHz	802.16	10-66 GHz
802.11b	2.4 GHz	802.16a/d	2-11 GHz
802.11g	2.4 GHz	802.16e	2-6 GHz

## 5. ANÁLISE DE UMA REDE WIRELESS

Neste Capítulo será realizada uma análise de uma rede wireless existente, uma rede sem fio real e em pleno funcionamento, localizada no município de Lavras em Minas Gerais. Em primeiro lugar será feita uma descrição desta rede, mostrando como ela está interligada. Logo em seguida serão descritas as características dos equipamentos utilizados nesta rede.

A próxima etapa é a classificação desta rede wireless segundo a sua topologia. Finalmente será fechado o Capítulo com uma conclusão contendo alguns comentários sobre a rede wireless analisada.

### 5.1. Descrição da Rede Wireless

A rede wireless a ser descrita pode ser vista na Figura 5.1 e será mais bem detalhada com a descrição que se segue.

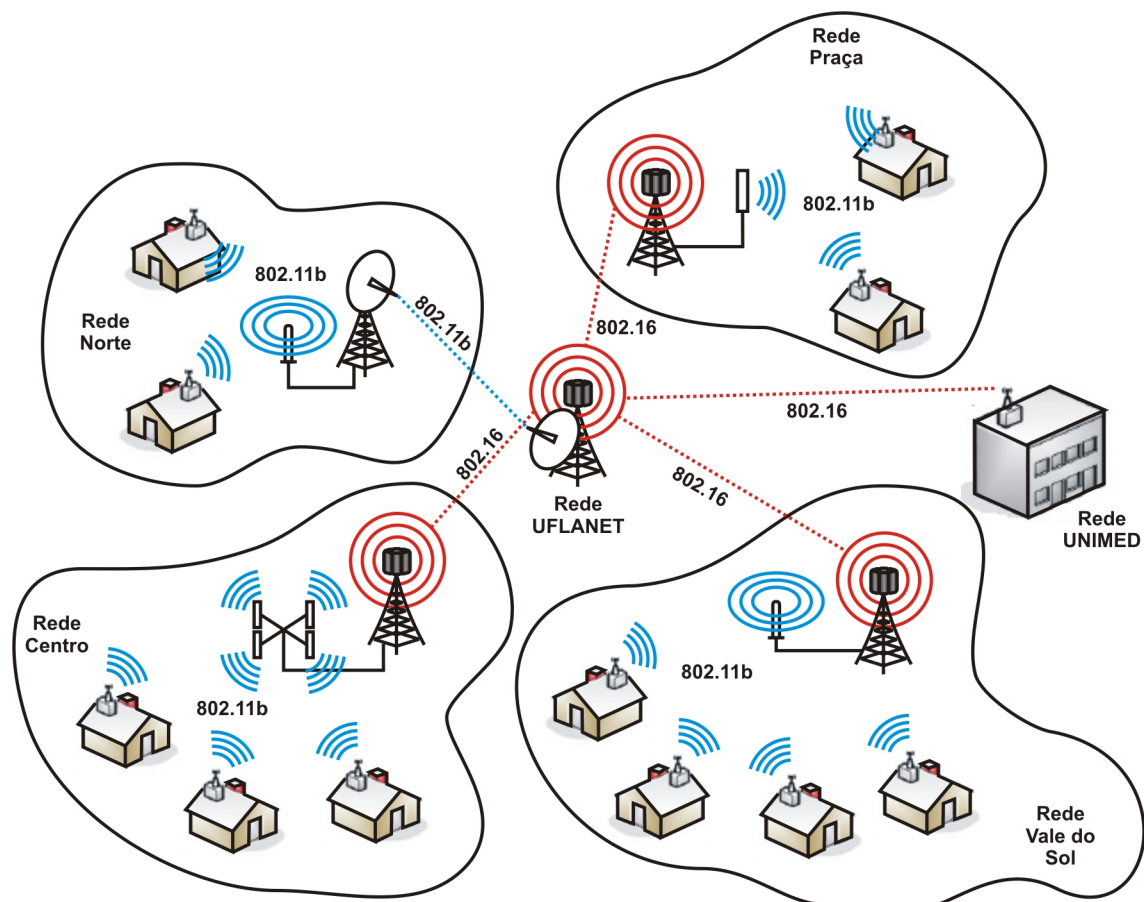


Figura 5.1: Esboço da Rede Wireless a ser descrita

A rede wireless a ser estudada, está estruturada da seguinte forma, nesta rede existem seis redes interligadas sendo que uma delas é a concentradora de todas as demais, a rede denominada *Rede UFLA*. As outras redes que compõem esta rede wireless maior são: *Rede Vale do Sol*, *Rede Centro*, *Rede UNIMED*, *Rede Praça* e *Rede Norte*.

Começando pela *Rede Norte*, está ligada diretamente com a *Rede UFLA*, mas não está ligada com mais nenhuma das demais. A ligação entre as duas é feita através de aparelhos baseados no padrão 802.11b, sendo portando utilizada a tecnologia Wi-Fi para a ligação. A distribuição feita para os demais usuários desta rede se dá através da mesma tecnologia Wi-Fi, sobre o padrão 802.11b.

A *Rede Vale do Sol* está ligada também à *Rede UFLANET*, mas o que difere da outra rede é que a tecnologia empregada na interligação destas duas redes é a WiMAX. Também não há ligação com as outras redes. Esta rede a partir daí é distribuída utilizando a tecnologia 802.11b.

A *Rede UNIMED* é uma rede isolada, recebendo o sinal da *Rede UFLANET* a qual está ligada através de enlaces sem fio baseados no padrão 802.16 ou WiMAX. É uma rede apenas para utilização da UNIMED, que conta também com utilização de outras tecnologias de redes para que não se perca a conectividade de forma alguma, sendo assim, uma tecnologia dando suporte à outra para manter-se sempre conectado.

A *Rede Centro* está ligada com a *Rede UFLANET*, não tendo também ligação com as demais redes, utilizando a tecnologia WiMAX para a ligação entre essas duas redes. Faz a distribuição deste sinal que chega até ela, através da outra tecnologia, a Wi-Fi, também sobre o padrão 802.11b.

Finalizando a descrição desta rede wireless, tem-se a *Rede Praça*, conectada também à rede mais central, *Rede UFLANET*, e sem conectividade direta e nem indireta com as outras redes. A ligação é feita através da tecnologia WiMAX e a distribuição desta rede como a das outras redes, é feito utilizando a tecnologia Wi-Fi sobre o padrão 802.11b.

## **5.2. Características dos Equipamentos**

Serão descritos alguns dos equipamentos que são utilizados na rede wireless estudada. Existem diversos tipos de equipamentos utilizados em cada uma destas redes. Esses equipamentos são: antenas direcionais, antenas setoriais, antenas omnidirecionais, Access



Point AP2000 Orinoco, CPE Proxim TeraMax P2P Bridge.

Em algumas redes, diferentes tipos de antenas são utilizadas, uma dessas antenas é a antena omnidirecional (Figura 5.2), que tem como característica principal a distribuição de sinal em 360°, ou seja, o sinal propagado por ela é distribuído em todas as direções. Essas antenas são compatíveis com padrões 802.11b/g, Bluetooth e utilizada para aplicações multiponto [31].



**Figura 5.2: Antena Omnidirecional**

Outra antena, utilizada em parte desta rede, é a antena direcional (Figura 5.3), podem ser utilizadas para ligações do tipo ponto a ponto e ponto-multiponto. A grande vantagem desta antena é que, por ela ser direcional, pode-se ter um maior alcance ao conectar dois pontos diretamente [31].



**Figura 5.3: Antena Direcional**

Além dessas duas antenas utilizadas nesta rede, existe uma outra antena que é a antena setorial (Figura 5.4). Esta antena faz a propagação de sinal em uma determinada região, a depender da angulação com que ela trabalha [31], pode ser com ângulo de espalhamento de 30°, 45°, 90°, 120° e 180°.



**Figura 5.4: Antena Setorial**

O Access Point utilizado nas redes locais 802.11b é o Orinoco AP2000 (Figura 5.5). Ele oferece alto nível de segurança, tem suporte a WDS que permite conexão entre vários PCs sem utilização de cabos, permite configurá-lo remotamente, garantindo alto desempenho na transmissão de dados a 11 Mbit/s, uma área de cobertura de 1,750 ft / 550 m e compatível com o Wi-Fi [32].



**Figura 5.5: Orinoco AP2000**

Finalizando as características dos equipamentos, temos um CPE que é utilizado para a distribuição de sinal WiMAX. A CPE utilizada é o Proxim TeraMax P2P Bridge (Figura 5.6), uma solução ponto-multiponto de alto desempenho, operando na faixa de frequência de 5,8 GHz e modulação OFDM, ideal para áreas metropolitanas ou longas distâncias. Permite controle simétrico e assimétrico da largura de banda e pode ser utilizado para os mais diversos serviços, tais como: segurança, utilizando o protocolo TurboCell da Karlnet um dos mais confiáveis protocolos de comunicação *outdoor*, transmissão de dados e backbones [33]. Este equipamento trabalha somente com o padrão 802.16, sendo assim, não dá suporte ao padrão 802.16e, ou WiMAX móvel.



Figura 5.6: CPE TeraMax

### 5.3. Classificação da Rede

A classificação desta rede wireless, descrita na seção 5.1, será feita levando-se em conta a sua topologia. Assim, podemos classificar estas redes wireless, começando com a mais central delas, a *Rede UFLANET*, que é uma rede onde existe uma antena multiponto.

Analisando-se separadamente as redes, tem-se que, a topologia da *Rede Norte* – *Rede UFLANET* (Figura 5.7), é uma topologia ponto a ponto, pois na ligação destas duas redes e feita através de antenas direcionais, de um único ponto de origem para um único ponto de destino.

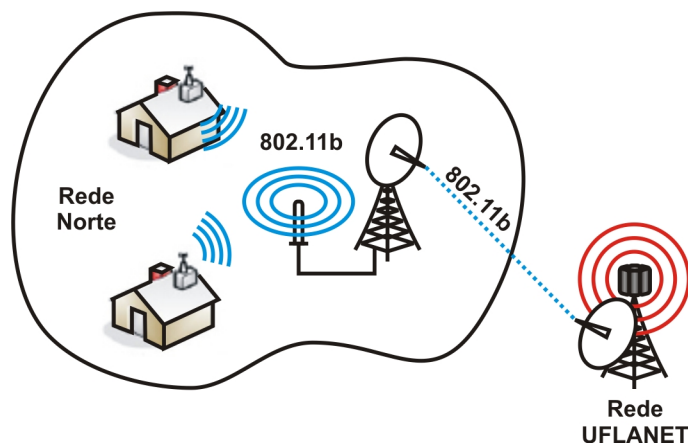
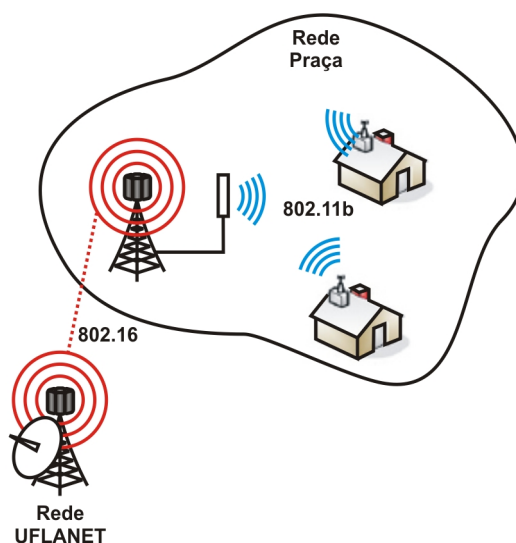


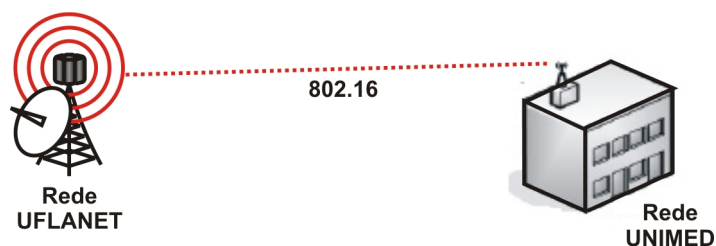
Figura 5.7: Rede Norte - Rede UFLANET

Classificando outra parte da rede, a *Rede Praça* – *Rede UFLANET*, tem-se então uma topologia ponto-multiponto (Figura 5.8), pois os pontos que interligam essas duas redes, um é único, no caso da *Rede Praça* e o outro é um multiponto, no caso da *Rede UFLANET*, que interliga mais outros pontos.



**Figura 5.8: Rede Praça - Rede UFLANET**

Na classificação da *Rede UNIMED – Rede UFLANET* recai no mesmo caso da outra classificações feita, sendo assim também considerada uma topologia ponto-multiponto (Figura 5.9).

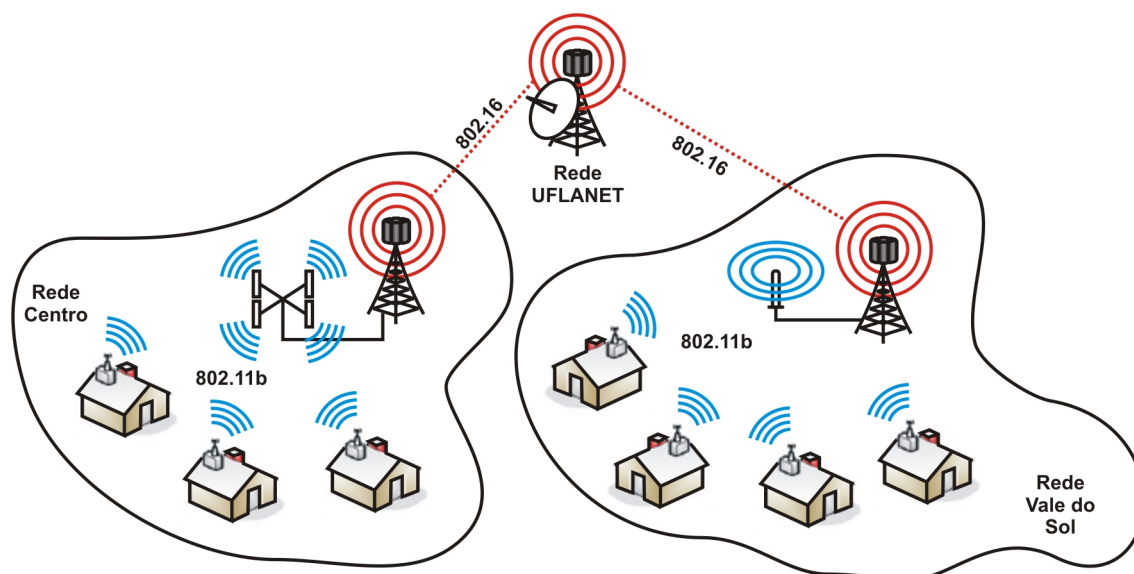


**Figura 5.9: Rede UNIMED - Rede UFLANET**

Por fim, nas outras duas classificações das redes, *Rede Centro – Rede UFLANET* e na *Rede Vale do Sol – Rede UFLANET*, essas não diferem das demais classificações pois nota-se também a existência de um multiponto interligando um ponto, sendo também uma topologia ponto-multiponto (Figura 5.10).

A classificação de todas as redes locais internas, *Rede Vale do Sol*, *Rede Centro*, *Rede Praça* e *Rede Norte*, são todas ponto-multiponto, pois mesmo que elas utilizem tipos de antenas diferentes para a transmissão, todos os clientes são como se fossem um único ponto e a BS que distribui o sinal um multiponto.

A única exceção neste contexto é a *Rede UNIMED*, pois ela está ligada a *Rede UFLANET*, mas é apenas um cliente, não havendo assim uma distribuição do sinal recebido, como demonstra a Figura 5.1.



**Figura 5.10: Rede Praça - Rede UFLANET e Rede Vale do Sol - Rede UFLANET**

## 5.4. Conclusões sobre a Rede Wireless

Após a descrição dos padrões, a comparação entre eles e a análise da rede wireless, fica claro que a rede estudada segue o que seria o mais correto, visto que as duas tecnologias de redes sem fio foram desenvolvidas para fins diferentes.

Após a descrição da rede como um todo pôde-se notar que nos enlaces de maiores distâncias foi utilizada a tecnologia WiMAX, que é a mais apropriada para esse tipo de rede, as WMAN. Já a outra tecnologia, Wi-Fi, é empregada em redes de âmbitos menores, sendo apropriada também para este tipo de rede, as redes locais.

A única conexão que deixa a desejar é a da ligação da *Rede Norte – Rede UFLANET*, pois considerando a *Rede Norte* como sendo uma rede menor, ou local, e considerando que ela esteja inserida em uma rede maior, sua ligação poderia também ser feita através da tecnologia WiMAX e não da tecnologia Wi-Fi, já que está sendo empregada lá.

Outro ponto que seria interessante a depender das necessidades dessas redes, é a mudança do tipo de topologia empregada, poderia se ter uma topologia de rede *Mesh*, mas para isso é necessário uma investigação maior sobre outros aspectos, para se verificar a possibilidade deste tipo de topologia nesta rede. Essa investigação teria que ser realizada nos equipamentos utilizados nesta rede e nos equipamentos utilizados nos clientes, visto que na topologia *Mesh* o tráfego da rede pode ser distribuído através das SSs. Outro ponto importante para essa investigação é a análise da largura de banda e das taxas de transferências utilizadas, para não causar latência ou atrasos onde eventualmente não ocorreria.

## 6. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo sobre dois padrões em redes sem fio de computadores, comparando esses dois padrões em alguns aspectos, tais como: alcance, segurança, mobilidade, largura de banda e qualidade de serviço.

Outro objetivo foi realizar a análise de uma rede sem fio real e em pleno funcionamento, descrevendo-a e classificando-a quanto a sua topologia, equipamentos utilizados e as suas características para obter algumas conclusões sobre tal rede.

Com o estudo dos padrões, a comparação entre eles e a análise da rede wireless foi possível chegar a seguinte conclusão: os dois padrões foram desenvolvidos para aplicações diferentes, mesmo estando inseridos em um mesmo ambiente.

Uma outra conclusão que se pode tirar é que o padrão mais recente dos dois, no caso o 802.16, veio para servir como um complemento ou como *backhaul* para o outro padrão mais antigo dos dois, no caso o padrão 802.11.

O padrão 802.16 é um padrão recente, com isso ainda não se tem uma variedade muito grande de equipamentos no mercado e sua utilização é pouco vista em relação ao padrão 802.11, mas nem por isso deixa de ser uma tecnologia promissora. Essa tecnologia representa um grande avanço na área de redes sem fio, devido às promessas de alcance, largura de banda, segurança, funcionalidades suportada, entre outros. Já existem empresas de grande portes como: Intel, Motorola, Samsung, Nokia, entre outras, que estão fazendo investimentos em larga escala nesta tecnologia.

Por enquanto, o que se nota é que a tecnologia WiMAX, está voltada para as redes metropolitanas fixas, pelo menos neste primeiro momento. Com a homologação recente, em 2005, do padrão móvel desta tecnologia poderá haver uma pequena concorrência com as atuais redes de celulares.

Com relação ao outro padrão nota-se que já existe uma larga utilização em diversos tipos de equipamentos, como PDAs, celulares e não só em redes de computadores, como nos desktops e nos notebooks.

## Referencial Bibliográfico

- [1] JARDIM, Fernando de Moraes. **Guia Profissional de Redes Wireless: VOIP/ Wi-Fi/ Bluetooth/ WiMAX/ Infravermelho/ Skype**. 1 Edição. Ed. Digerati / Universo dos Livros. 2005. 96p.
- [2] IEEE 802.15. **IEEE 802.15 WPAN Task Group 1 (TG1)**. Disponível em: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG1.html>. Acessado em 05/11/2006.
- [3] WIKIPEDIA. **XDSL**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/XDSL>. Acessado em 15/12/2006.
- [4] ANACOM. **ANACOM quer ouvir o mercado sobre novas tecnologias de banda larga sem fios** . Disponível em: <http://www.icp.pt/template20.jsp?categoryId=1643&contentId=427707>. Acessado em 28/12/2006.
- [5] FIGUEIREDO, Fabrício Lima. **Fundamentos da Tecnologia WiMAX**. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, CpqD. 2006.
- [6] IEEE Working Group 16. **IEEE 802.16 Parte 16: Interface for Fixed Broadband Wireless Access System**, 2006.
- [7] NUNES, Mário Serafim. **Rede de Acesso: Parte F - Redes de Acesso Rádio**, 2005.
- [8] WIKIPEDIA. **OFDM**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/OFDM>. Acessado em 03/01/2007.
- [9] NAVES, Sanzio Guilherme; CHAN, Rodrigo Adolfo. **WiMAX - IEEE 802.16: Estudo da Tecnologia e Requisitos para a Modelagem e Simulação**, Fevereiro de 2006.
- [10] IEEE Working Group 16. **IEEE 802.16 Parte 16: AirInterface for Fixed Broadband Wireless Access Systems**, 2004.
- [11] R. Rivest, A. Shamir, L. Adleman. **A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems**. 2 Edição. Ed. Instituto MIT. 1997. 120 - 126p.
- [12] IEEE 802.16. **IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access**.. Disponível em: <http://ieee802.org/16>. Acessado em 15/12/2006.
- [13] IEEE 802.16. **IEEE 802.16 Parte 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems**. Disponível em:

<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2001.pdf>. Acessado em 20/12/2006.

- [14] HAWA, Mohammed; W. David Petr. **Quality of Service Scheduling in Cable and-Broadband Wireless Access Systems**, Maio de 2002.
- [15] PINHEIRO, José Mauricio Santos. **Topologias de Redes de Comunicação**. Disponível em: [http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo\\_topologias\\_de\\_rede.php](http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_topologias_de_rede.php). Acessado em 10/01/2007.
- [16] OLIVEIRA, Félix Tadeu Xavier; FILHO, Huber Bernal. **Spread Spectrum: Arquituras Típicas**. Disponível em: [http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialss/pagina\\_3.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialss/pagina_3.asp). Acessado em 10/12/2007.
- [17] PRADO, Eduardo; LIMA, Fábio. **WiMAX e Mesh**. Disponível em: <http://www.revistadewimax.com.br/AdminSite/Revista/WiMAXMESH/tabid/93/Default.aspx>. Acessado em 07/01/2007.
- [18] THELANDER, Michael W.. **WiMAX Oportunidades e Desafios em um Mundo Wireless**. CDG – CDMA Development Group. 2005.
- [19] MALIMA. **Redes Wireless**. Disponível em: <http://www.malima.com.br/wifi/wifiredeswireless.asp>. Acessado em 15/01/2007.
- [20] BARBOSA, Camila Soares; BARBOSA, Regiane Mendes. **VoWLAN: Voz sobre IP em Redes Locais Sem Fio**. 2006. 144p. Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, Goiânia.
- [21] TANENBAUM, Adrew S.. **Redes de Computadores**. 3 Edição. Ed. Campus. 1997. 955p.
- [22] WIKIPEDIA. **Espalhamento Espectral**. Disponível em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Espalhamento\\_espectral](http://pt.wikipedia.org/wiki/Espalhamento_espectral). Acessado em 08/01/2007.
- [23] OLIVEIRA, Félix Tadeu Xavier; FILHO, Huber Bernal. **Spread Spectrum: O que é**. Disponível em: [http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialss/pagina\\_2.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialss/pagina_2.asp). Acessado em 15/01/2007.
- [24] BHARGHAVAN, Vaduvur, SHENKER, Scott, ZHANG Lixia, et al.. **MACAW: A Media Access Protocol for Wireless LAN's**, de 1994.
- [25] IEEE 802.11. **IEEE Standard 802.11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications**, 1999.
- [26] GAST, Matthew. **802.11 Wireless Networking**. 2 Edição. Ed. O'Reilly Media. 2002. 630p.
- [27] WIKIPEDIA. **Ad hoc**. Disponível em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ad\\_hoc](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ad_hoc). Acessado em 02/02/2007.



- [28] WIKIPEDIA. **IEEE 802.11**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/802.11>. Acessado em 10/02/2007.
- [29] FINNERAN, Michael F.. **WiMAX versus Wi-Fi: A Comparison of Technology, Markets and Business Plans**. Disponível em: <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/searchMobileComputing/downloads/Finneran.pdf>. Acessado em 15/02/2007.
- [30] AGRAWAL Aditya. **802.16a: The Right Technology at Right Place at Right Time**. Disponível em: [http://www.cse.iitb.ac.in/~varsha/allpapers/wireless/802.16a\\_-\\_The\\_Right\\_Technology\\_at\\_the\\_Right\\_Place.pdf#search=%22802.16a%3A%20the%20right%2](http://www.cse.iitb.ac.in/~varsha/allpapers/wireless/802.16a_-_The_Right_Technology_at_the_Right_Place.pdf#search=%22802.16a%3A%20the%20right%2). Acessado em 15/02/2007.
- [31] WIRELESS IP. **Antena**. Disponível em: [http://www.wirelessip.com.br/wirelessip/equipamentos/lista\\_equipamento?categoria=1028301710](http://www.wirelessip.com.br/wirelessip/equipamentos/lista_equipamento?categoria=1028301710). Acessado em 25/02/2007.
- [32] PROXIM. **Orinoco AP-2000 Access Point**. Disponível em: <http://www.proxim.com/products/wifi/ap/ap2000/>. Acessado em 21/02/2007.
- [33] TERAMAX. **TeraMax™ Point to Point and Point to MultiPoint Long Range Solutions (4.9 and 5.8 GHz)**. Disponível em: <http://www.terabeam.com/solutions/p-mp/marquee.php>. Acessado em 20/02/2007.

