

Parte II – Redes sem Fio

Wi-Fi (802.11)

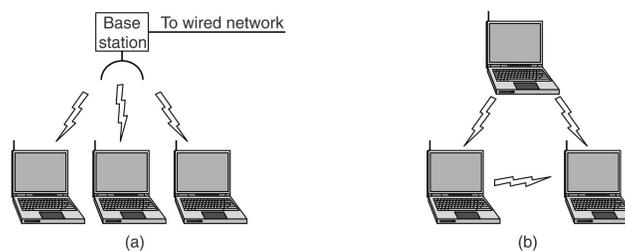
WiMAX (802.16)

Bluetooth (802.15)

*Padrão para
Redes Locais sem Fio - WLAN
Wi-Fi (802.11)*

Redes Locais sem Fio

- Operam em dois modos
 - Na presença da estação base - ponto de acesso.
 - Na ausência da estação base.

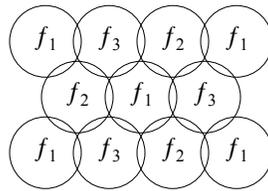


Redes Locais sem Fio

- Rádio
 - Atenuação
 - Projeto baseado em SNR.
 - Potência do sinal no receptor: Potência do transmissor e distância entre transmissor e receptor.
 - Potência do transmissor limitada pela bateria.
 - SNR decresce ao quadrado com a distância.

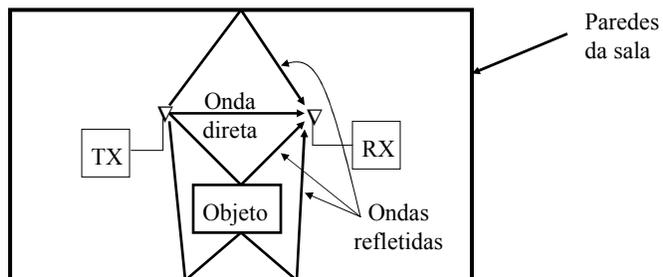
Redes Locais sem Fio

- Rádio
 - Interferência de canal adjacente.



Redes Locais sem Fio

- Rádio
 - Multi-percursos (*multipath fading*) – quando a onda refratada ou refletida chega com fase diferente da onda direta, causa atenuação

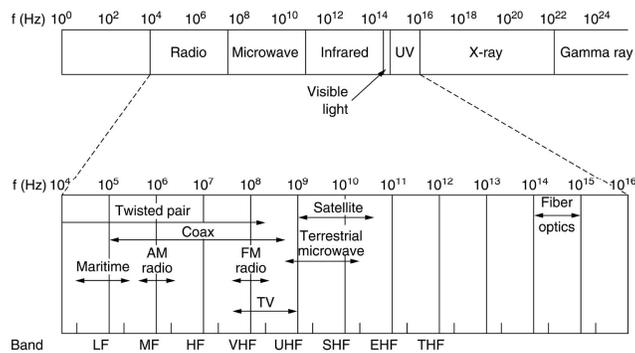


Redes Locais sem Fio

- **Infravermelho**
 - Frequências superiores à 10^{14} Hz.
 - Comportamento semelhante ao da luz visível.
 - Ruído pela luz do Sol, luz incandescente e fluorescente (filtro óptico).
 - Modulação
 - Modulação em intensidade com detecção direta.
 - Dispositivos
 - Dois tipos: Diodo laser e diodo emissor de luz.
 - Laser: Perigoso sem estar confinado (olhos).
 - LED: "Mais seguro". Taxas menores que 10 Mbps.

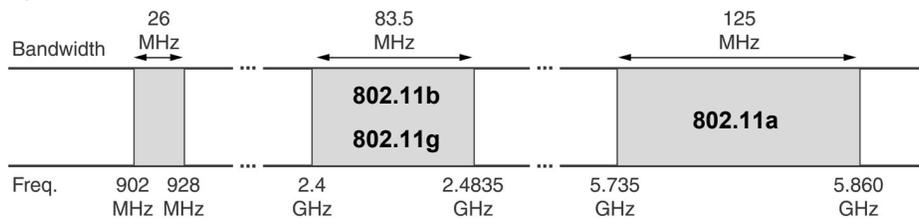
Redes Sem Fio - Wireless LANs

- **O Espectro Eletromagnético**



Redes Sem Fio - Wireless LANs

- Inicialmente taxas de transmissão de 1 a 2 Mbps.
- Evoluiu rapidamente para taxas de 5 a 11 Mbps e agora trabalha com taxas de até 54Mbps.
- Faixa ISM (Industrial - Scientific - Medical), 900 MHz, 2.4 GHz e 5 GHz.



Redes Sem Fio - Wireless LANs

- WLANS são discutidas desde 1990.
- Nos últimos anos o custo foi reduzido.
- Vantagens
 - Flexibilidade.
 - Podem ser transportadas para outros lugares e continuar fazendo parte da rede.
 - Mobilidade.
 - Podem se mover dentro da área de cobertura, sem perder a comunicação, de forma ininterrupta.
 - Dispensa de lançamento de cabos.
 - Facilidade de instalação.
 - Robustez associada a continuar existindo, mesmo ocorrendo desastres naturais.

Redes Sem Fio - Wireless LANs

- **Desvantagens.**
 - Velocidade.
 - Curta distância entre as estações.
 - Vulnerabilidade na segurança dos dados.
 - Custo?

Redes Locais sem Fio - Wireless LANs

Técnicas de Controle de Acesso

- **CSMA**
 - *Carrier Sense Multiple Access*
- **MACA**
 - *Multiple Access with Collision Avoidance*
- **DFWMAC (IEEE 802.11)**
 - *Distributed Foundation Wireless Media Access Control*
 - A decisão de quando transmitir pode ser tomada individualmente (distribuída).
 - O método de acesso básico é o CSMA/CA com reconhecimento.

Redes Locais sem Fio O Padrão IEEE 802.11

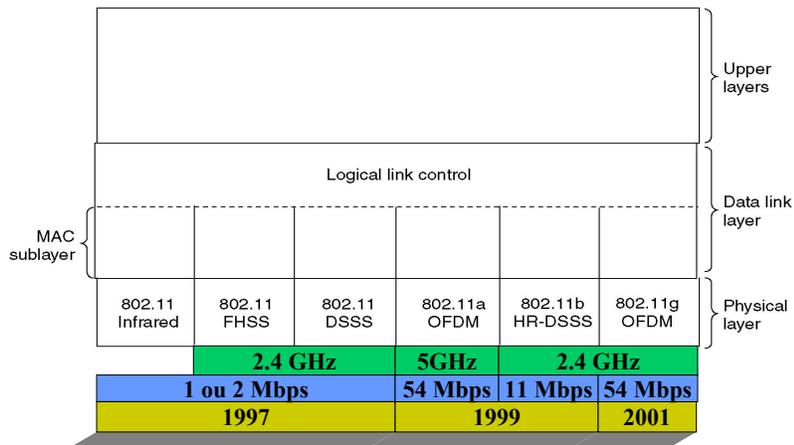
- Primeiro padrão surgiu em 1997 - 1 e 2 Mbps.
- Em 1999 - 802.11a e 802.11b - 54 e 11 Mbps .
- Define a camada física e a subcamada MAC.
- Tem arquitetura e protocolo de acesso ao meio significativamente diferentes da família de padrões Ethernet.



Padrões IEEE 802.11

- IEEE 802.11a (finalizado em 1999)
 - Até 54 Mbps.
 - 5 GHz (maior degradação do sinal).
- IEEE 802.11b (finalizado em 1999)
 - 1, 2, 5.5 e 11 Mbps.
 - 2.4 GHz.
 - Entrou no mercado antes do 802.11a.
- IEEE 802.11g
 - 54 Mbps.
 - 2.4 GHz.
 - Surgiu em 2001 e começou a ser comercializado no início de 2003.
 - Problema de coexistência com 11b devido à mesma faixa de frequência. Performance cai.

Pilha (Stack) do Protocolo 802.11

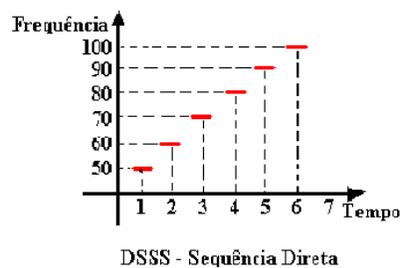
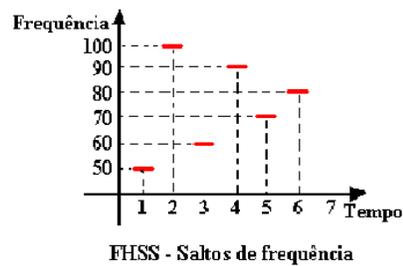


FHSS – Frequency Hope Spread Spectrum
 DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum

OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing
 HR-DSSS - High Rate DSSS

Padrão IEEE 802.11 - A Camada Física

Frequency Hoping Spread Spectrum
Direct Sequence Spread Spectrum



Padrão IEEE 802.11 - A Camada Física

- **Infravermelho**
 - 1, 2, 4 ou 10 Mbps.
 - O sinal não atravessa paredes.
 - A luz solar interfere no sinal.
- **FHSS - *Frequency Hopping Spread Spectrum***
 - 79 canais com largura de faixa de 1 MHz.
 - Faixa ISM de 2.4GHz.
 - Salto de frequência pseudo aleatório (400ms max.).
 - Reduz o efeito do desvanecimento por multipercurso (*multipath fading*).
 - Insensível à interferência.
 - Baixa taxa de transmissão.
 - Usado no padrão 802.11, 1 ou 2Mbps

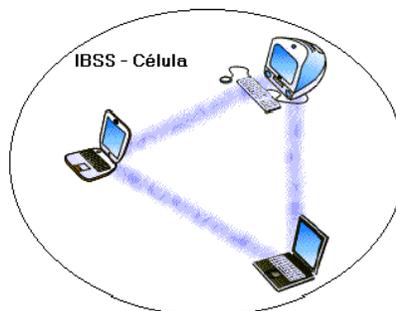
Padrão IEEE 802.11 - A Camada Física

- **DSSS - *Direct Sequence Spread Spectrum***
 - 1 ou 2 Mbps (802.11).
 - Cada bit é transmitido como 11 *chips* (CDMA).
 - Faixa ISM de 2.4GHz.
 - Modulação PSM - *phase shift modulation*.
- **OFDM - *Orthogonal Frequency Division Multiplexing***
 - (802.11a).
 - Até 54 Mbps.
 - Faixa ISM de 5GHz.
 - O sinal é dividido em muitas bandas estreitas.
 - São utilizadas 52 frequências, 48 para dados e 4 para sincronismo.
 - Pode ser considerada uma técnica de espalhamento espectral.
 - Boa imunidade ao desvanecimento por multipercurso.
 - Boa eficiência de espectro em termos de bits/Hz.

Padrão IEEE 802.11 - A Camada Física

- **HR-DSSS - High Rate Direct Sequence Spread Spectrum**
 - 1,2, 5.5 e 11 Mbps na faixa de 2.4 GHz (802.11b).
 - As duas taxas menores trabalham à taxa de 1 Mbaud, com 1 e 2 bits por baud. (Compatível com DSSS).
 - As maiores operam à taxa de 1.375 Mbaud com 4 e 8 bits por baud respectivamente.
 - A taxa é ajustada dinamicamente.

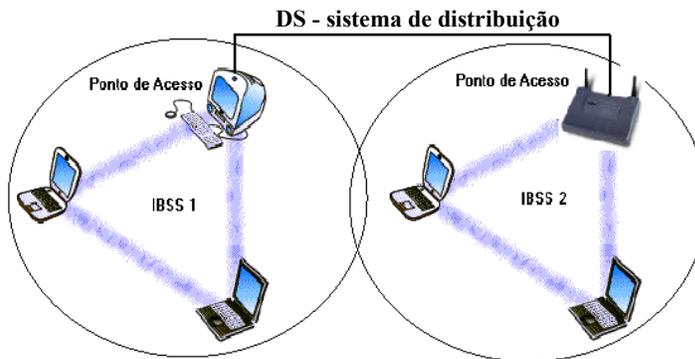
Rede IEEE 802.11 ad hoc



IBSS - Independent Basic Service Set

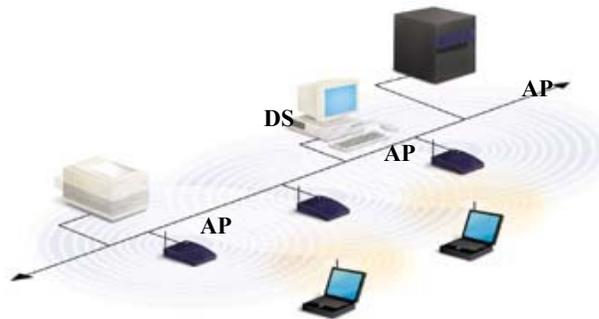
Redes Locais sem Fio - IEEE 802.11

- Redes IEEE 802.11 – Infraestrutura
 - A comunicação **para fora do BSS** é feita através do *Access Point* - AP.
 - Múltiplos *Access Points* podem ser ligados através do sistema de distribuição - DS, formando uma ESS - *Extended Service Set*.



Redes Locais sem Fio - IEEE 802.11

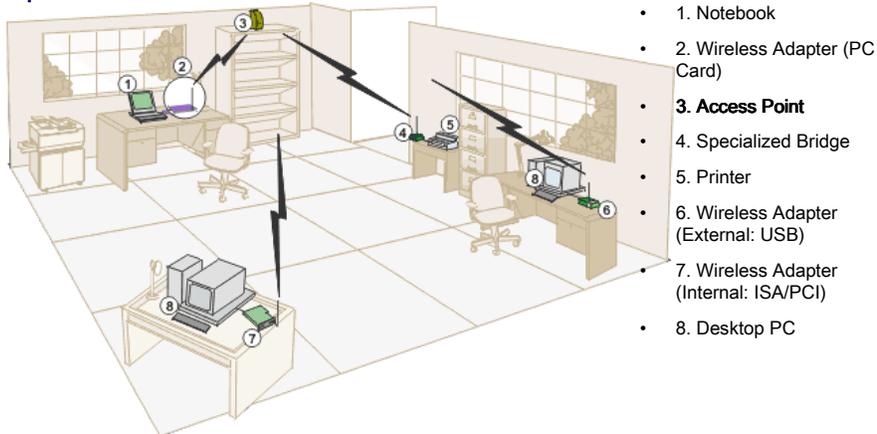
- Redes IEEE 802.11 – Infraestrutura
 - O DS é encarado pelos protocolos de nível superior como uma simples rede 802



DS-Distribution System
AP-Access Point

Redes Locais sem Fio - IEEE 802.11

- Uso de um AP em um BSS.

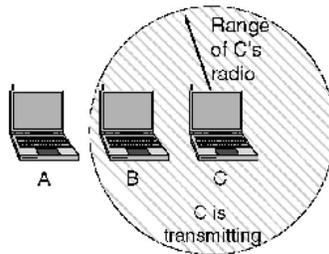


Redes Locais sem Fio - IEEE 802.11

- Funções de um Access Point
 - Associação e reassociação, autenticação.
 - Gerenciamento de potência - standby.
 - Sincronização.
 - Quando as estações estão em *standby* para economizar energia, é necessário que os APs armazenem temporariamente os quadros a elas endereçados.

*Protocolo de Acesso ao Meio
Sub Camada MAC - IEEE 802.11*

- Problema do terminal oculto ou do desvanecimento.
 - A quer transmitir para B mas não percebe que B está ocupado.
 - Característica particular do canal sem fio.



*Protocolo de Acesso ao Meio
Sub Camada MAC - IEEE 802.11*

- Não implementa detecção de colisão.
 - Teria que ter capacidade de enviar e receber ao mesmo tempo.
 - Com detecção de colisão, mesmo que não fosse percebida nenhuma colisão ao enviar, ainda assim poderia haver colisão no receptor.
- Para evitar colisão o quadro IEEE 802.11 possui um campo de duração, no qual a estação transmissora indica o período de tempo no qual irá transmitir o quadro.

*Protocolo de Acesso ao Meio
Sub Camada MAC - IEEE 802.11*

- A estação coordena seu próprio acesso.
- Tarefa do protocolo de acesso múltiplo - MAC.
- Protocolo MAC do IEEE 802.3 - CSMA/CA.
- Dois modos do CSMA/CA
 - Escuta o canal e se estiver livre simplesmente inicia a transmissão.
 - Escuta o canal e se estiver livre envia um RTS (MACA).

*Protocolo de Acesso ao Meio
Sub Camada MAC - IEEE 802.11*

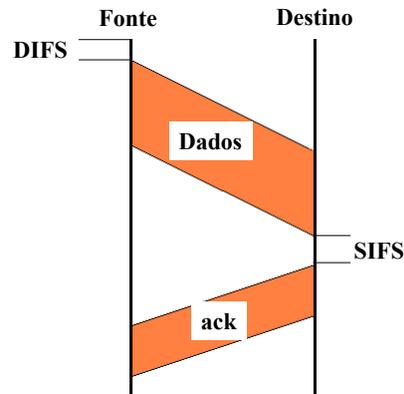


- Camada física monitora o nível de energia na frequência de rádio.
- Estação transmite após período igual ou superior ao espaçamento interquadro distribuído (DIFS-distributed inter frame space).
- Quadro será recebido na estação de destino se nenhuma transmissão de outra estação interferir.

Protocolo de Acesso ao Meio Sub Camada MAC - IEEE 802.11

Transmissão e Reconhecimento de Dados no Padrão IEEE 802.11

- O reconhecimento é necessário porque um remetente sem fio não pode determinar, por si só, se a transmissão do seu quadro foi recebida com sucesso no destino.
- Se não houvesse a confirmação e um quadro fosse perdido, a retransmissão se daria quando a camada de transporte percebesse o problema.
- Se a estação não recebe o ack ela retransmite o quadro.



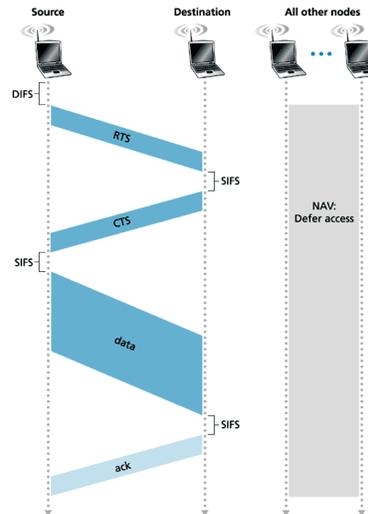
DIFS - Distributed Inter Frame Space
SIFS - Short Inter Frame Space

Protocolo de Acesso ao Meio Sub Camada MAC - IEEE 802.11

- CSMA/CA **não garante** que não vai haver colisão - ack.
- Estação transmissora aguarda *timeout*, se não receber ack repete transmissão.
- Para melhorar a transmissão de dados, o protocolo CSMA/CA acrescenta um mecanismo opcional que envolve a troca de quadros de controle.
 - RTS (*Request to Send*) e CTS (*Clear to Send*).

Protocolo de Acesso ao Meio Sub Camada MAC - IEEE 802.11

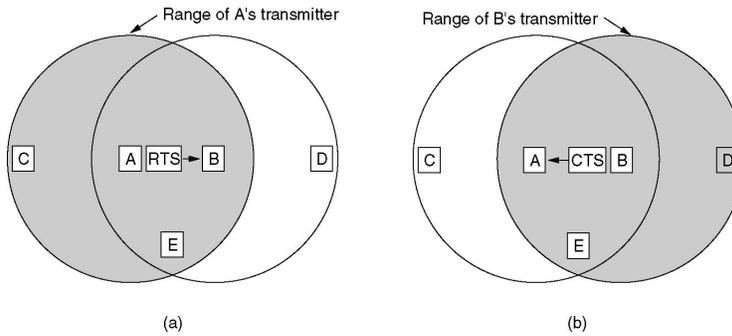
- NAV - Network Allocation Vector.
- As outras estações conhecem o tempo que uma estação vai transmitir, este tempo é enviado tanto no RTS quanto no CTS.



Protocolo de Acesso ao Meio Sub Camada MAC - IEEE 802.11

- RTS e CTS carregam estimativa de duração do quadro a ser transmitido.
- O quadro RTS possui as seguintes funcionalidades:
 - Reservar o meio para a transmissão do quadro de dados.
 - Verificar se a estação destino está pronta para receber o quadro de dados - power save.
- Estação qualquer pode não escutar o RTS mas escutar o CTS - terminal oculto.
- Usado basicamente para proteger a transmissão de quadros longos.
- Estação define quais quadros devem ser transmitidos com RTS/CTS.

Melhoria do Problema do Terminal Oculito



O protocolo MACA.

(a) A enviando um RTS para B. D não percebe porque está fora do alcance de A.

(b) B respondendo com um CTS para A. D percebe a resposta de B porque está dentro da área de alcance de B.

MACA - Multiple Access with Collision Avoidance

Fig. 4.12, pag 270, Tanenbaum

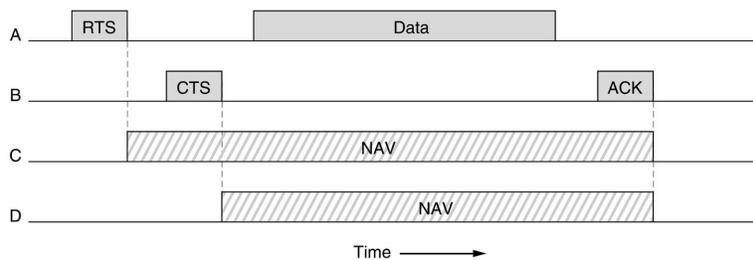
Melhoria do Problema do Terminal Oculito

- A duração da transmissão é copiada do RTS para o CTS, desta forma D fica sabendo a duração.
- O protocolo MACAW é o MACA para Wireless, que acrescenta o ack, evitando desta forma que dados perdidos não transmitidos, *só fossem retransmitidos* quando a camada de transporte percebesse sua ausência.
- O CSMA é utilizado junto com o MACA, porque ouvir o meio antes de transmitir ajuda, o que não adianta é detectar colisão.

Fig. 4.12, pag 270, Tanenbaum

Protocolo de Acesso ao Meio Sub Camada MAC - IEEE 802.11

- RTS, CTS e NAV para terminal oculto



Protocolo de Acesso ao Meio Sub Camada MAC - IEEE 802.11

- Se canal ocupado estação adia seu acesso até que perceba que o canal está ocioso por um tempo igual ao DIFS.
- Calcula tempo de *backoff* aleatório adicional e inicia contagem regressiva (não persistente).
- Continua a perceber se o canal está ocioso.
- Quando o contador de backoff alcança zero a estação transmite seu quadro.

Protocolo de Acesso ao Meio Sub Camada MAC - IEEE 802.11

- Probabilidade de um quadro ser transmitido com sucesso é

$$p_q(n) = (1 - p)^n$$

- Onde:
 - p_q - probabilidade do quadro (sucesso)
 - p - probabilidade de erro de bit
 - n - número de bits do quadro

Protocolo de Acesso ao Meio Sub Camada MAC - IEEE 802.11

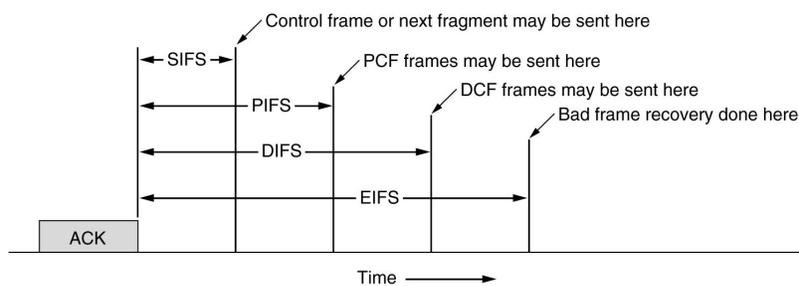
- Exemplo:
 - $p = 10^{-4}$
 - quadro Ethernet completo, 12.144 bits

Protocolo de Acesso ao Meio Sub Camada MAC - IEEE 802.11

- Para contornar o problema do canal ruidoso no 802.11 os quadros podem ser fragmentados.
- Neste caso é usado o modo PCF (*Point Coordination Function*) ao invés do DCF (*Distributed Coordination Function*).
 - Utiliza uma estação base para controlar todas as atividades da célula.
 - Estação base faz *polling* perguntando se há dados.
 - O padrão define o modo PCF como opcional.
 - Pode oferecer qualidade de serviço (QoS).
- A mesma estação pode implementar o DCF e o PCF.

Protocolo de Acesso ao Meio Sub Camada MAC - IEEE 802.11

- O espaçamento interquadros no 802.11.

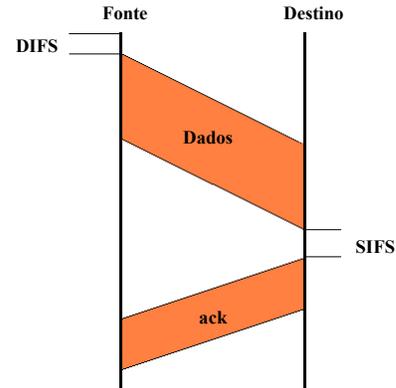


- SIFS - *Short InterFrame Spacing*
- PIFS - *PCF InterFrame Spacing*
- DIFS - *DCF InterFrame Spacing*
- EIFS - *Extended InterFrame Spacing*

Protocolo de Acesso ao Meio Sub Camada MAC - IEEE 802.11

- O espaçamento interquadros no 802.11.

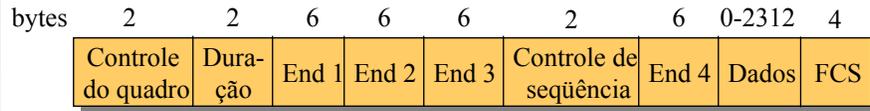
- No caso de mais de um quadro de dados a ser transmitido, o SIFS permite o envio de vários quadros antes do receptor responder com ACK, para isto os quadros devem ser enviados com tempo inferior ao SIFS.
- Classes diferentes de tráfego são definidas através do uso de valores diferentes para o DIFS, garantindo acesso prioritário para DIFS menores.



Formato do quadro MAC 802.11

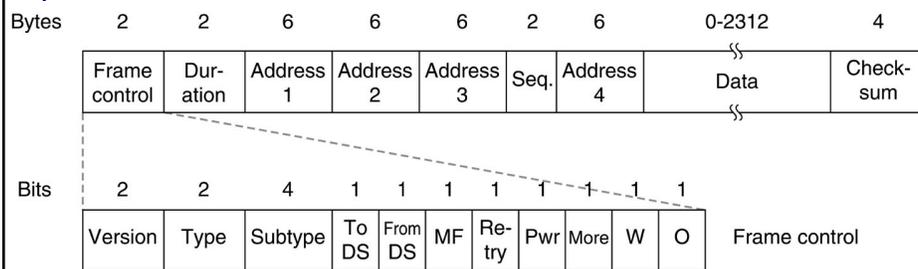
- Padrão define 3 classes de quadros
 - Dados.
 - Controle.
 - Gerenciamento.

Formato do quadro MAC 802.11



- Controle do quadro (*frame control*) – 11 subcampos.
- Duração - Duração do quadro mais o ACK (NAV).
- Endereços 1 e 2 - endereço da origem e destino.
- Endereços 3 e 4 - usado apenas quando o quadro está sendo transmitido através de um DS, indicando o endereço da estação base. Tráfego intercélula.
- Controle de seqüência - usado para fragmentação do quadro, permitindo a [numeração dos fragmentos](#).

Formato do quadro MAC 802.11



Formato do quadro MAC 802.11

- *Version* - define a versão do protocolo.
- *Type* - dado, controle ou gerenciamento.
- *Subtype* - RTS ou CTS por exemplo.
- *To DS* e *From DS* - indica se o quadro está indo ou vindo de um sistema de distribuição intercélula.
- MF - *More Fragment*.
- *Retry* - indica se o quadro é uma retransmissão.
- Pwr - *Power Management* - usado pela estação base para colocar o receptor no estado de *sleep*.
- *More* - indica que o remetente tem mais quadros adicionais para o destinatário.
- W - ativação ou não do mecanismo de privacidade WEP (*Wired Equivalent Privacy*).
- O - controle de ordem do quadro, indica ao receptor que a seqüência de quadros deverá ser processada estritamente em ordem.

Serviços do Padrão IEEE 802.11

- **Serviços de distribuição**
 - Relativos ao gerenciamento dos membros da célula e interação com estações fora da célula.
 - Tratam da mobilidade das estações, tais como entrada e saída na célula.
- **Serviços de estação**
 - Relativos às atividades dentro de uma única célula.
 - Usados após a associação.
- São 9 serviços previstos no padrão

Serviços do Padrão IEEE 802.11

- **Serviços de Distribuição – provido pela estação base**
 1. Associação – Usado para que as estações móveis se conectem às estações base
 2. Desassociação – Pode ser usado pela estação base ou por qualquer estação
 3. Reassociação – Usado para que as estações mudem de estação base (*handover*)
 4. Distribuição – Determina como serão roteados os quadros enviados à estação base (rede sem fio ou rede cabeada)
 5. Integração – Usado quando o quadro precisa ser enviado através de uma rede não 802.11 – endereçamento (ex. Ethernet)

- **Serviços de Estação – dentro da célula**
 1. Autenticação – para evitar que uma estação não autorizada tenha acesso à rede. Um código é trocado com estação base
 2. Desautenticação – Quando uma estação autenticada deixa a rede
 3. Privacidade – Serviço que gerencia a criptografia (RC4)
 4. Entrega de dados – é claro!

Redes Locais sem Fio - Equipamentos

- **Access Point (EDC Wireless)**
 - 54Mbps, 802.11a.
 - WEP 40-bit encryption (Wired Equivalent Privacy).
 - 128-bit and 152-bit RC4 advanced encryption.
 - Criptografia não tem impacto na performance.
 - 72Mbps in turbo mode.
 - Até 128 usuários simultâneos.
 - Alcance de 30 m (indoor) e 120 m (outdoor).



Redes Locais sem Fio - Equipamentos

- Wireless PCI LAN Adapter (EDC Wireless)
 - Ajuste automático para 11, 5.5, 2 e 1 Mbps, dependendo da potência do sinal.
 - IEEE 802.11b - 2.4 GHz
 - Wired Equivalent Privacy (WEP).
 - US\$ 85,00 (outubro/2003).
 - Não existe no mercado adaptador PCI 802.11a.



Dispositivos WLAN

- Router
- Access Point
- Wireless PCI LAN Adapter



Padrão IEEE 802.16 WiMAX

WiMAX Forum

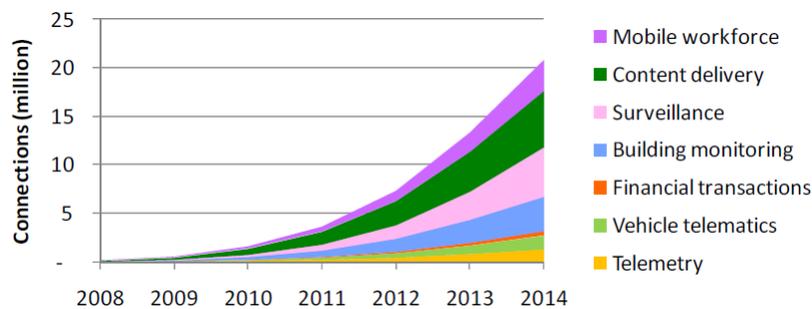


- WiMAX - World Interoperability for Microwave Access
- Formado em Junho de 2001 para promover conformidade e interoperabilidade do padrão IEEE 802.16 → WirelessMAN
- Formado pelos principais fabricantes, com o objetivo de promover e certificar compatibilidade e interoperabilidade de equipamentos wireless de acesso à banda larga, que estejam em conformidade com os padrões IEEE 802.16/ETSI HiperMAN.
 - O WiMAX Forum está para o 802.16 assim como a WiFi Alliance está para o 802.11

Provedores mundiais que anunciaram interesse em WiMAX



Conexões WiMAX até 2014



Fonte: Senza Fili Consulting, 2008 / WiMAX Forum

Redes WiMAX - 2010

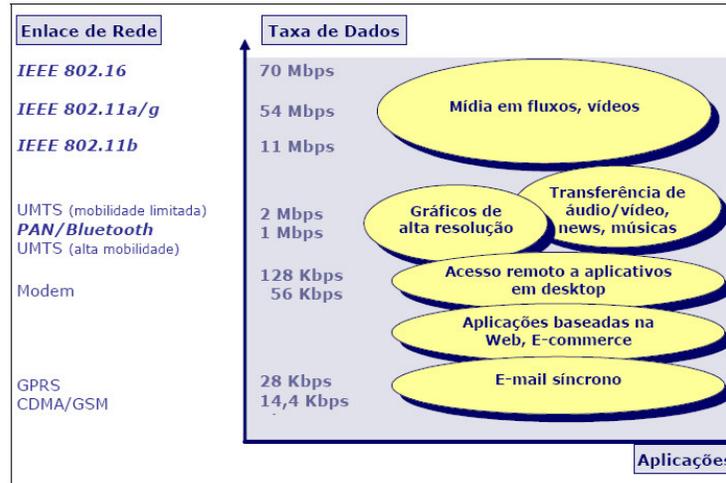
- 519 redes em 146 países
- 112 implementadas em 2009

Fonte: iPNews - www.ipnews.com.br

Características

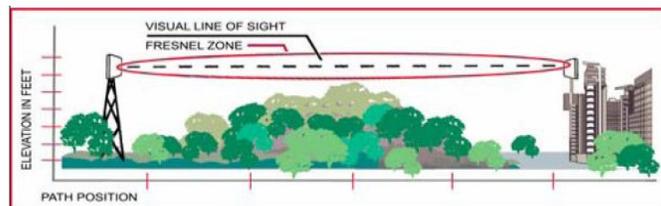
- A taxa de transmissão e o alcance do WiMAX o torna adequado para as seguintes aplicações em potencial:
 - Conexão de *hot-spots* Wi-Fi entre si e outras partes da Internet;
 - Disponibiliza uma alternativa sem fio para substituição de acessos a cabo e DSL para acesso em banda larga de última milha (*last mile*) ;
 - Disponibilização de serviços de dados e telecomunicações a altas taxas (4G);
 - Disponibiliza diversas fontes de conectividade à Internet
 - Disponibilidade de conectividade nômade.

Características



WiMAX - Propagação

- LoS – Line of Sight (linha de visada)
 - É a forma de propagação em que o sinal viaja sobre um caminho direto e sem obstrução, do transmissor ao receptor.

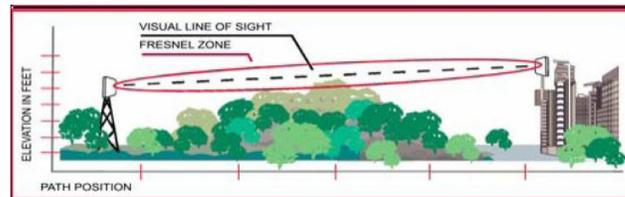


Line of Sight

Fonte: LANCORE NETWORKS

WiMAX - Propagação

- nLoS – near Line of Sight (próximo à linha de visada)
 - É a forma de propagação em que o sinal viaja sobre um caminho direto parcialmente obstruído entre o transmissor e o o receptor.

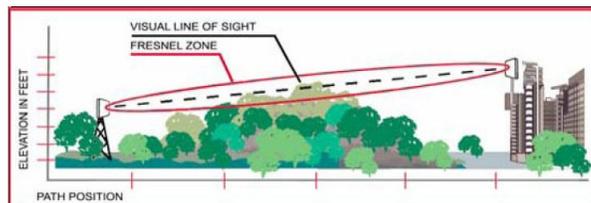


near Line of Sight

Fonte: LANCORE NETWORKS

WiMAX - Propagação

- NLoS – Non Line of Sight (sem linha de visada)
 - É a forma de propagação em que não se requer visada direta para uma comunicação eficiente. Tem menor alcance que a LoS pois parte dos sinais transmitidos são absorvidos ou refletidos pelos obstáculos.



Non Line of Sight

Fonte: LANCORE NETWORKS

Padronização IEEE

- IEEE 802.16 (2001)
 - Corresponde a especificação original, projetado para padronizar implementações de Sistemas de Distribuição Multiponto Local (LMDS-Local Multipoint Distribution System).
 - Para faixa de frequências de 10–66 GHz.
- IEEE 802.16a (2003)
 - Projetado para operar em frequências mais baixas (2 - 11 GHz).
 - Foi especificado com o objetivo de competir com as tecnologias que oferecem acesso à última milha, como xDSL e cable modems.
 - Pode obter taxas de transmissão de até 75 Mbps com um alcance máximo de 50 km. Emprega antenas fixas NLOS.

Padronização IEEE

- IEEE 802.16d (2004)
 - Também conhecido como 802.16-2004 ou 802.16rev.d.
 - Incorpora as especificações do 802.16a e os parâmetros e perfis do WiMAX Forum especificados no mesmo documento.
 - Entre as alterações pode-se destacar a provisão de suporte para antenas MIMO, o que aumenta a confiabilidade do alcance com multipercurso. Facilita instalações com o uso de antenas indoor.
- IEEE 802.16e (2005)
 - Adiciona especificações de mobilidade (WMANs móveis). Aspectos como largura de banda limitada (um máximo de 5 MHz), velocidade mais lenta e antenas menores possibilitam o mobilidade veicular (até 150 Km/h).
 - É compatível com a especificação do padrão 802.16. Em frequências inferiores a 3.5 GHz pode oferecer concorrência à tecnologia celular com alcance de 2 a 5 Km (nas cidades).

Padronização IEEE

- IEEE 802.16m (a ser finalizado em 2010)
 - 120 Mbps em downstream
 - 60 Mbps em upstream
 - Base para a tecnologia móvel 4G

Família IEEE 802.16

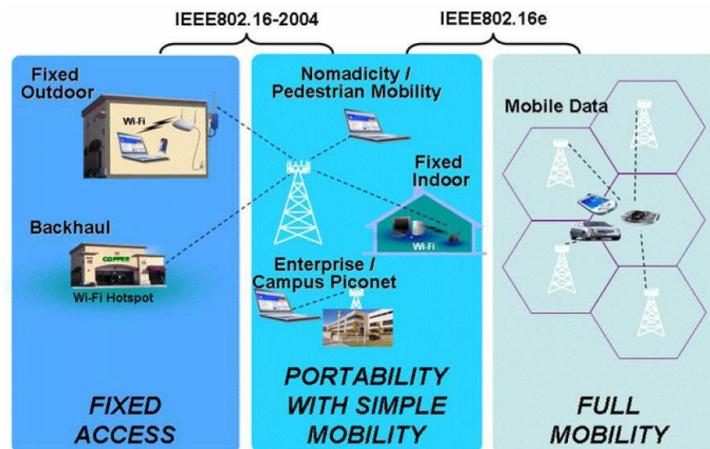
	IEEE 802.16	IEEE 802.16a/REVd	IEEE 802.16e
Homologação	Dezembro de 2001	802.16a: Janeiro de 2003 802.16 REVd: Junho de 2004	homologado em 2005
Frequência	10 - 66 GHz	2 - 11 GHz	2 - 6 GHz
Condições do Canal	LOS (<i>Line of Sight</i>)	NLOS (<i>Non Line of Sight</i>)	NLOS (<i>Non Line of Sight</i>)
Taxa de Transmissão	Entre 32 e 134 Mbps (canal de 28 MHz)	Até 75 Mbps (canal de 20 MHz)	Até 15 Mbps (canal de 5 Mhz)
Modulação	QPSK, 16 QAM e 64 QAM	OFDM 256 sub-portadoras, OFDMA 64 QAM, 16 QAM, QPSK,	OFDM 256 sub-portadoras, OFDMA 64 QAM, 16 QAM, QPSK,

Família IEEE 802.16

	IEEE 802.16	IEEE 802.16a/REVd	IEEE 802.16e
		BPSK	BPSK
Mobilidade	Fixa	Fixa e portátil (nômade)	Mobilidade, <i>roaming</i> regional
Largura de Banda	20, 25 e 28 MHz	Entre 1,5 e 20 MHz, com até 16 sub-canais lógicos	Entre 1,5 e 20 MHz, com até 16 sub-canais lógicos
Raio da Célula	2 - 5 Km	5 - 10 Km Alcance máximo de 50 Kms dependendo do tamanho da antena, seu ganho e potência de transmissão (entre outros parâmetros)	2 - 5 Km

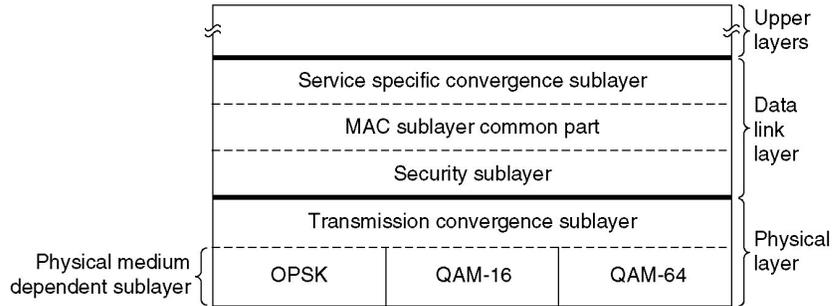
Tabela comparativa: família de padrões IEEE 802.16 [WIMAX Forum]

Portabilidade e mobilidade



Fonte: LANCORE NETWORKS

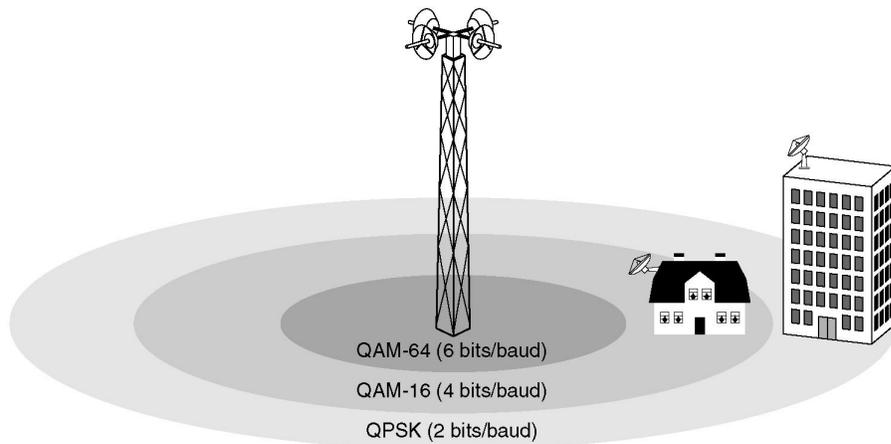
Pilha de Protocolos 802.16



Tanenbaum

Pilha de Protocolos

- Modulação e codificação adaptativas



Tanenbaum

Pilha de Protocolos

- Modulação e codificação adaptativas

Modulação LB canal	QPSK	16QAM	64QAM
20MHz	18.7Mbps	37.5Mbps	75Mbps
14MHz	13.1Mbps	26.2Mbps	52.5Mbps
10MHz	9.3Mbps	18.7Mbps	37.5Mbps
7MHz	6.5Mbps	13.1Mbps	26.2Mbps
5MHz	4.6Mbps	9.3Mbps	18.7Mbps
3.5MHz	3.3Mbps	6.5Mbps	13.1Mbps

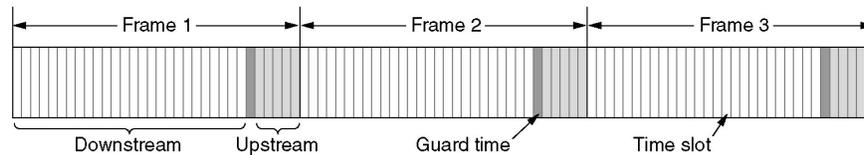
Fonte: LANCORE NETWORKS

Pilha de Protocolos

- Camada Física
 - Específica o espectro de frequência, o esquema de modulação, as técnicas de correção de erros, a sincronização entre Tx e Rx, a taxa de dados e a estrutura de multiplexação.
 - Dentre as principais funções estão: transmissão dos MAC PDUs, definição das técnicas de transmissão (modulação e codificação), definição do espectro, correção de erro, definição da técnica de duplexação.

Pilha de Protocolos

- Camada Física
 - Modos de operação TDD e FDD:



Quadros e slots de tempo para a Duplexação por Divisão de Tempo

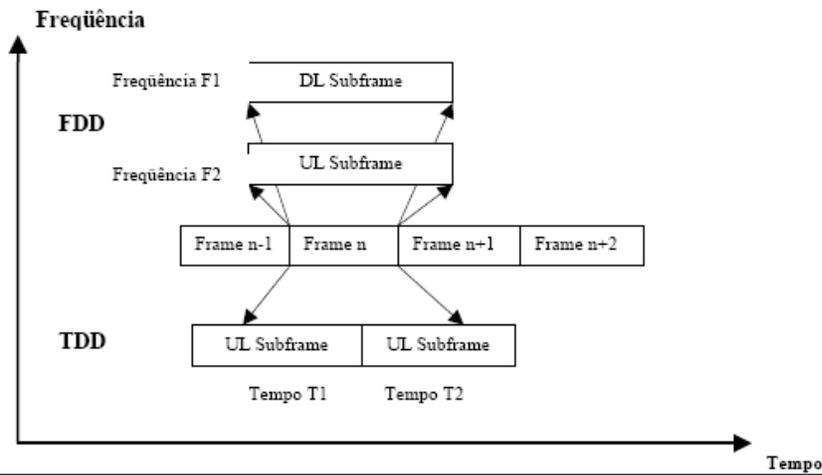
O número de slots de tempo dedicados a cada sentido pode ser alterado dinamicamente para ajustar ao tráfego

Pilha de Protocolos

- Camada Física
 - Para permitir o uso flexível do espectro a interface aérea oferece suporte para os modos de operação TDD (Duplexação por Divisão de Tempo) e FDD (Duplexação por divisão de frequência)
 - TDD - *uplink* e *downlink* compartilham um canal mas não transmitem simultaneamente
 - FDD - *uplink* e *downlink* operam em canais separados, podendo operar simultaneamente.

Pilha de Protocolos

- Camada Física
 - Modos de operação TDD e FDD:



Pilha de Protocolos

- Camada Física

O conjunto de padrões WiMAX (fixo e móvel) define quatro tipos de camada física:

- WirelessMAN SC (Single Carrier)
- WirelessMAN SCa
- WirelessMAN OFDM
- WirelessMAN OFDMA

OFDM - Orthogonal Frequency-Division Multiplex
 OFDMA - Orthogonal Frequency-Division Multiple Access

Pilha de Protocolos

- Camada Física
 - WirelessMAN SC (Single Carrier)
 - 10GHz a 66GHz
 - Transmissões com visada direta
 - QPSK, 16-QAM, 64-QAM
 - WirelessMAN SCa
 - 2GHz a 11GHz
 - Transmissões sem visada direta
 - BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM
 - Uso em backhails

Pilha de Protocolos

- Camada Física
 - WirelessMAN OFDM
 - 2GHz a 11GHz
 - Transmissões sem visada direta
 - BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
 - Acesso fixo
 - WirelessMAN OFDMA
 - 2GHz a 11GHz
 - Transmissões sem visada direta
 - QPSK, 16-QAM, 64-QAM
 - Acesso móvel
 - 802.16e

Pilha de Protocolos

- Camada Física
 - O padrão IEEE 802.16 emprega três esquemas de modulação diferentes, dependendo da distância que a estação do assinante se encontre em relação à estação base.
 - Para assinantes próximos, é usado o 64 QAM, com 6 bits/*baud*.
 - No caso de assinantes situados a uma distância média, é usado o 16 QAM, com 4 bits/*baud*.
 - Para assinantes distantes, é usado o QPSK, com 2 bits/*baud*.
 - Como exemplo, para um valor típico de 25 Mhz de espectro, o 64 QAM oferece 150 Mbps, o 16 QAM oferece 100 Mbps, e o QPSK oferece 50 Mbps.
 - Quanto mais distante o assinante estiver em relação à estação base, mais baixa será a taxa de transmissão de dados.

Pilha de Protocolos

- Camada MAC
 - Dentre as principais funções da camada MAC estão:
 - Interface para outras redes;
 - Adaptação das Técnicas de Transmissão de acordo com o meio de transmissão;
 - Multiplexagem de Fluxos de tráfego;
 - Escalonamento e alocação dinâmica dos recursos de transmissão;
 - Suporte à segurança da comunicação;
 - Controle de acesso e transmissão de informações;
 - Suporte à topologia de rede.
 - Suporte a QoS;

Pilha de Protocolos

- Camada MAC

Divide-se em três subcamadas:

1. Subcamada de segurança
2. Subcamada de convergência comum
3. Subcamada de convergência específica ao serviço

- 1) Subcamada de segurança:

- Lida com questões de privacidade e segurança.
- Cuida da criptografia, descriptografia e do gerenciamento de chaves (só a carga útil é criptografada, os cabeçalhos não).

Pilha de Protocolos

- Camada MAC

- 2) Subcamada de convergência comum:

- São ditas comuns porque são as mesmas para todas as tecnologias cliente.
- Algumas das funções são: estabelecimento e manutenção de conexões, suporte à topologia da rede, construção e transmissão do MAC PDU, suporte ao multicast, entre outras.
- O canal downstream é controlado pela estação base que decide o que inserir em cada subquadro.

Pilha de Protocolos

- Camada MAC
 - O canal upstream é alocado, na conexão, em função da classe de serviço requerida, que pode ser definida de 4 formas:
 - *Serviço de taxa de bits constante.*
 - *Serviço de taxa de bits variável de tempo real.*
 - *Serviço de taxa de bits variável de tempo não-real.*
 - *Serviço de melhor esforço.*

Pilha de Protocolos

- Camada MAC
 - *Serviço de taxa de bits constante.*
 - Transmissão de voz. Quantidade de dados predeterminada a intervalos de tempo predeterminados.
 - Os slots de tempo ficam disponíveis automaticamente, sem a necessidade de solicitar.
 - *Serviço de taxa de bits variável de tempo real.*
 - Aplicações de multimídia e outras aplicações de tempo real.
 - Largura de banda necessária em cada instante pode variar.
 - Estação base consulta usuário a intervalos fixos sobre a banda necessária em cada momento.

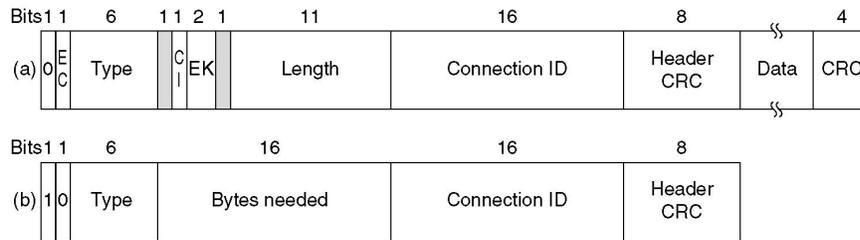
Pilha de Protocolos

- Camada MAC
 - *Serviço de taxa de bits variável de tempo não-real.*
 - Transmissões pesadas mas não em tempo real, ex. grandes arquivos.
 - Estação base consulta usuário sobre banda necessária, mas não consulta em intervalos fixos.
 - Usuário pode solicitar tráfego adicional.
 - *Serviço de melhor esforço.*
 - Nenhum polling é feito, usuário deve disputar largura de banda com outros assinantes do serviço de melhor esforço.

Pilha de Protocolos

- Camada MAC
 - 3) Subcamada de convergência específica ao serviço:
 - Inclui funcionalidades específicas da adaptação necessárias aos possíveis clientes da rede WiMAX.
 - São ditas específicas porque diferem para cada tecnologia cliente
 - Toma o lugar da camada LLC dos outros protocolos 802
 - Exemplos:
 - ATM CS: interface lógica que associa diferentes serviços ATM com a subcamada de convergência comum da MAC.
 - Packet CS: usada para o transporte de todos os protocolos baseados em pacotes, tais como IP, PPP e Ethernet.

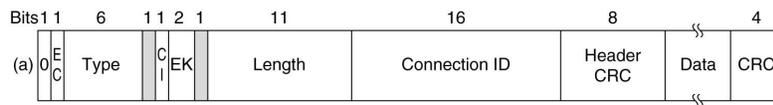
Estrutura do quadro



(a) Quadro Genérico (b) Quadro de solicitação de largura de banda

Estrutura do quadro

Quadro Genérico



Os campos :

- ✓ EC (Encryption Control) – informa se a carga útil esta criptografada
- ✓ Tipo – identifica o tipo do quadro, informa se a compactação e a fragmentação estão presentes
- ✓ CI (CRC Indicator) – indica a presença ou a ausência do total de verificação final.
- ✓ EK (Encryption Key) – informa qual das chaves de criptografia esta sendo usada.
- ✓ Comprimento – fornece o comprimento completo do quadro incluindo o cabeçalho.
- ✓ ID de conexão – informa qual conexão esse quadro pertence.
- ✓ CRC – é um total de verificação relativo apenas ao cabeçalho, empregando o polinômio $x^8 + x^2 + 1$.

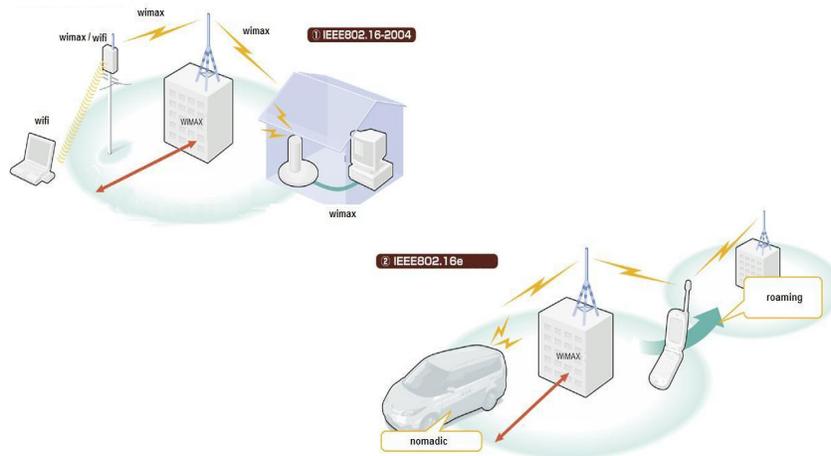
Estrutura do quadro

Quadro de solicitação de largura de banda

Bits	1	6	16	16	8
(b)	1 0	Type	Bytes needed	Connection ID	Header CRC

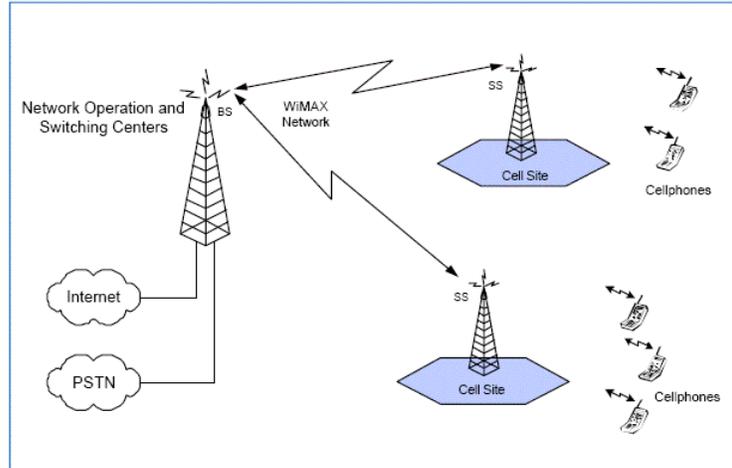
- ✓ Começa com o bit 1.
- ✓ O segundo e terceiro bytes formam o número de 16 bits que informa a largura de banda necessária para transportar o número específico de bytes.
- ✓ Os quadros de solicitação de largura de banda não transportam uma carga útil.

WiMAX - Aplicações

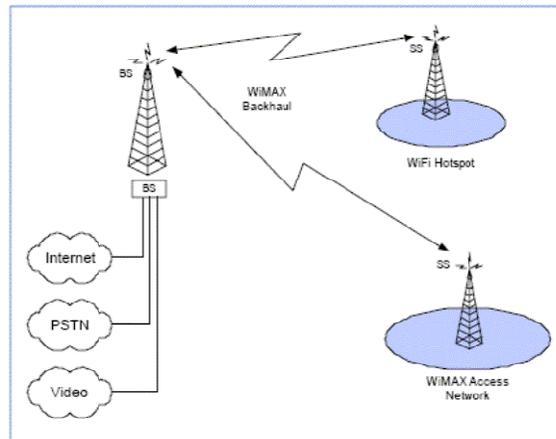


Fonte: LANCORE NETWORKS

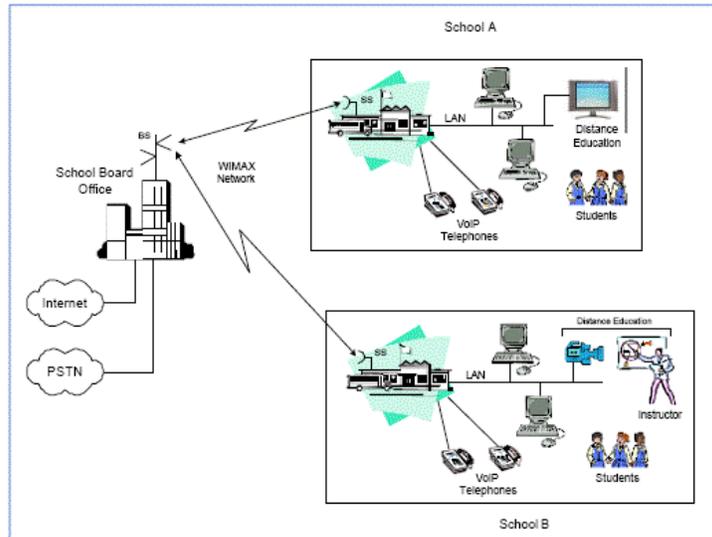
Backhaul celular



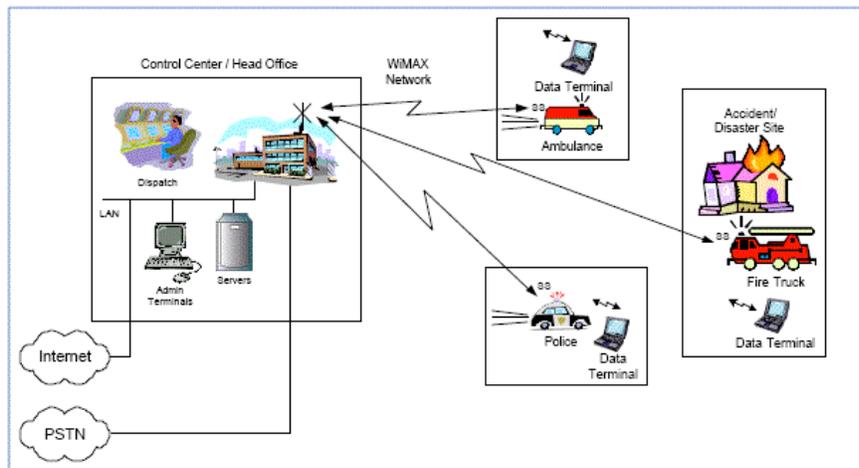
WISP – Wireless Internet Service Provider



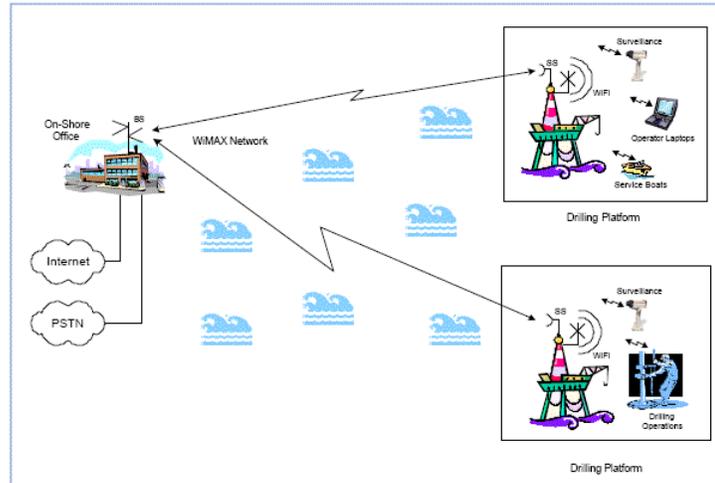
Redes escolares



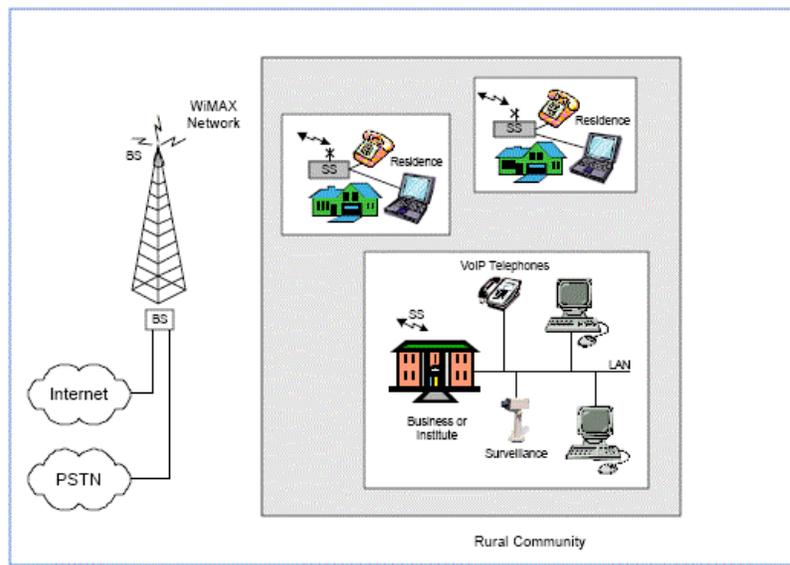
Segurança pública



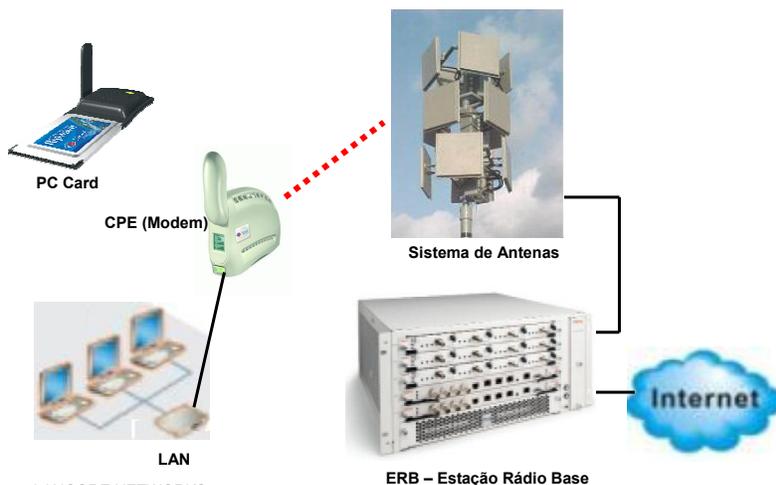
Comunicação marinha



Conectividade rural



WiMAX - Dispositivos



Fonte: LANCORE NETWORKS

WiMAX no Brasil

- Empresas que atuam em WiMAX no Brasil
 - O WiMAX vem sendo testado no Brasil e países da América Latina por 16 operadoras, no mínimo, sendo que algumas delas já estão em fase comercial. O Brasil, inclusive, foi considerado como um dos quatro maiores mercados do mundo para a tecnologia, segundo executivos presentes na CTIA Wireless, em Orlando, nos EUA, em março de 2007. No mercado brasileiro, empresas de todos os portes estão interessadas na oferta do serviço, tanto da área de TV a cabo quanto telefonia fixa, ou móvel: Oi, Brasil Telecom, Embratel e TVA, por exemplo.
 - Quatro empresas (Icatel, Trópico, Asga e Padtec) se uniram em Dez/07 para produzir e comercializar o WiMAX no Brasil. Será formada uma *joint-venture* que, juntamente com o CPqD e o Ceitec, receberão R\$ 30 milhões de recursos do Funttel (Fundo para o Desenvolvimento Tecnológico das Telecomunicações).
- Vendedores de WiMAX com atuação no Brasil
 - Alvarion; Cisco; Intel; Neovia; Qualcomm; Parks; Huawei; LGElectronics; Motorola; Samsung; NEC; Siemens; Nokia; Nera Networks; Nokia Siemens Network; Nortel Networks; UTStarcom e ZTE.

Fonte: e-Thesis: março/2008

WiMAX no Brasil

- A Embratel (do grupo mexicano Telmex) investirá R\$ 1,048 bilhão (US\$ 600 milhões) para oferecer internet em banda larga em rede WiMAX no país, a partir de abril de 2008.
 - Além das cidades da Região Sul, a operadora vai oferecer os serviços nas cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Campinas, Campo Grande, Brasília, Salvador Recife e Fortaleza. A meta final é atingir todas as capital brasileiras e, em seguida, montar uma rede nacional de WiMAX.
- A Embratel, junto à Brasil Telecom, já dispõe de licenciamento de uso da frequência de 3,5GHz, de WiMAX nômade, o que a permite oferecer, já, no país, serviços de banda larga sem fio na tecnologia.
- A Embratel lançou em primeiro de abril de 2008, o primeiro serviço comercial em WiMAX para pequenas e médias empresas, em 3,5GHz

Fonte: e-Thesis: março/2008

WiMAX no Brasil

- A Anatel, através do ato 67.860 de 09/10/07 expediu autorização para a BrT testar o Wimax nas frequências de 3,5 GHz na cidade de São Paulo por um prazo de 6 meses.
- A TVA, operadora de TV por assinatura que já fornece serviços de banda larga e VoIP através da sua rede de TV a cabo, pretende utilizar as frequências de MMDS para implantar uma rede Wimax.
 - Ela fez um trial de rede Wimax, no padrão IEEE 802.16e, com a Samsung em 2006 em São Paulo - SP, e em Curitiba - PR.
 - A TVA assinou em março/07 acordos de trial de redes Wimax, no padrão IEEE 802.16e, para São Paulo, com a Nortel, e para o Rio de Janeiro, com a Motorola, cidades em que a TVA possui licença de uso de todo o espectro na faixa de 2,6 GHz.
 - Anatel (28/08/07) prorrogou o prazo para a TVA dar continuidade à avaliação relativa ao sistema de transmissão e recepção de sinais utilizando bidirecionalidade de canais na tecnologia Wimax.

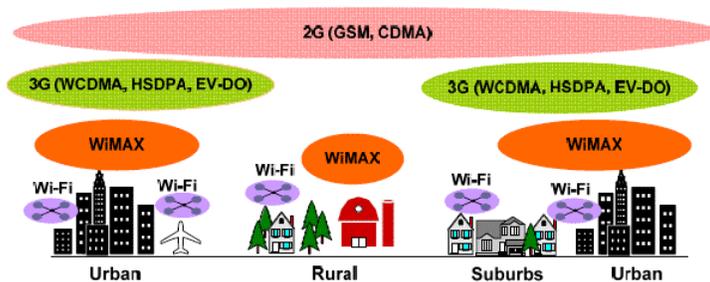
Fonte: e-Thesis: março/2008

WiMAX no Brasil

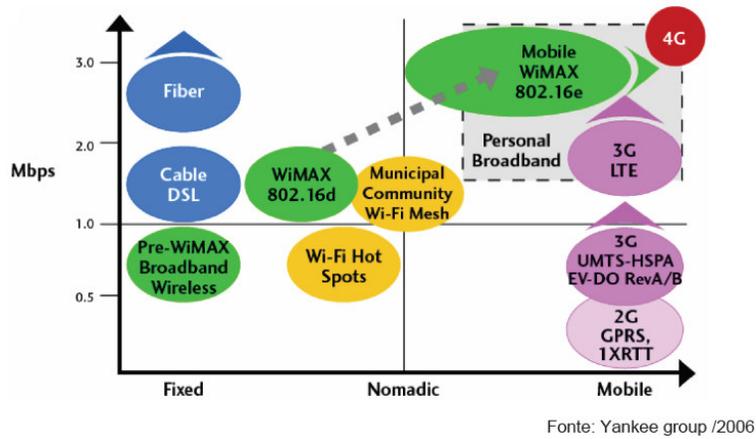
- A Anatel liberou a utilização do WiMAX pelas operadoras de telefonia celular.
- O primeiro leilão para a faixa de 3,5GHz deve ocorrer até final de 2010.

Fonte: e-Thesis: março/2008

Coberturas Wi-Fi, WiMAX, 3G & 2G



O Lugar de cada Tecnologia



Bluetooth (802.15)

BLUETOOTH

Histórico:

- Ericsson iniciou estudo em 1994.
- Em 1998 foi formado um grupo com Ericsson, Intel, IBM, Thoshiba e Nokia – SIG (Special Interest Group).
- Em 1999 foi aprovada a primeira versão.
- Logo depois, mais de 1300 empresas se juntaram ao grupo.

Características:

- Micro rádios em *chips: pequenos, baratos e de baixo consumo.*
- Utiliza a técnica de *frequency hope* (saltos de frequência).
- Especificações abertas.

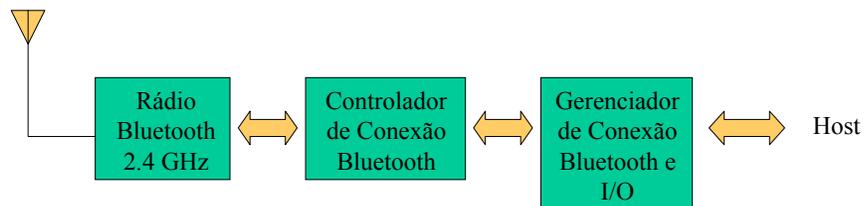
BLUETOOTH

Características:

- Paradigma mestre-escravo
 - Determina qual endereço usar.
 - Quando o escravo pode transmitir.
 - Por quanto tempo pode transmitir.
 - Quais frequências
- Alcance em torno de 10 metros.
- Taxa de 700 kbps.
- Faixa de 2.4 a 2.5 GHz.
- Potência até 100 mW.
- Consumo 30 μ A em espera e 8 a 30 mA em funcionamento.

BLUETOOTH

Blocos Funcionais



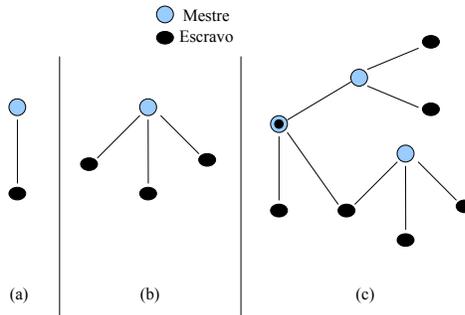
BLUETOOTH

Arquitetura

- *Piconet*
 - 1 mestre.
 - Até 7 escravos.
 - Até 255 estações em *parked state*.
- As *piconets* compartilham a mesma faixa de frequência, mas com diferentes seqüências de salto.
- Até 8 *piconets* em uma *scatternet*, para um índice de colisão baixo.

BLUETOOTH

Arquitetura

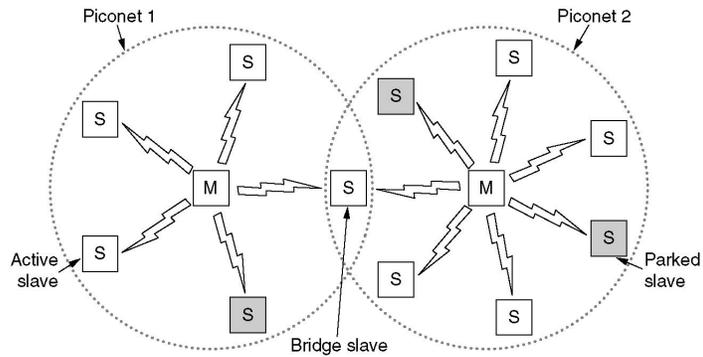


(a) operação com um único escravo
(b) operação multi-escravos e
(c) operação scatternet.

BLUETOOTH

Arquitetura

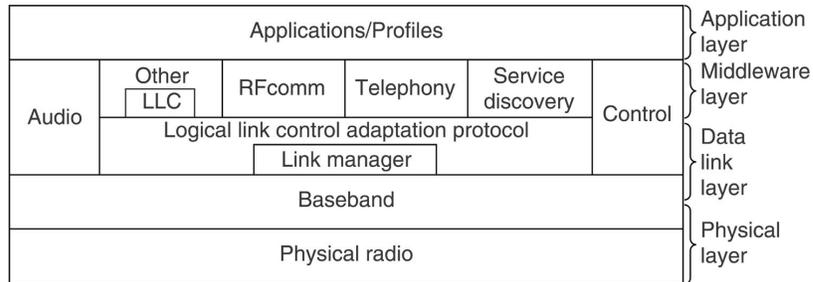
- Duas piconets conectadas formando uma scatternet



Tanenbaum – Cap. 4.6.1 – Figura 4.35

BLUETOOTH

Pilha de Protocolos



Tanenbaum – Cap. 4.6.3 – Figura 4.37

BLUETOOTH

Pilha de Protocolos

- Camada física de rádio
 - Análoga à camada física OSI, lida com a transmissão e modulação de rádio.
- Banda básica
 - Equivalente à subcamada MAC, trata como o mestre controla os *time slots* e como esses são agrupados em quadros.
- Gerenciamento de enlace
 - Cuida do estabelecimento de canais lógicos entre dispositivos, incluindo gerenciamento de energia, autenticação, qualidade de serviço.
- Adaptação de controle de enlace lógico (L2CAP)
 - Mascarara os detalhes da transmissão para as camadas superiores.

BLUETOOTH

Pilha de Protocolos

- **Áudio e Controle**
 - Lidam com as questões relativas a áudio e controle. As aplicações podem chegar até eles sem ter que passar pelo L2CAP
- **LLC**
 - Usado aqui para manter compatibilidade com outras redes 802.
- **RFcomm (Radio Frequency Communication)**
 - Emula a porta serial padrão dos microcomputadores.
- **Telefonia**
 - Gerencia a configuração e o encerramento de chamadas.
- **Descoberta de serviços**
 - Utilizado para localizar serviços na rede.

BLUETOOTH

Bluetooth - Recursos

Nome	Descrição
Acesso Genérico	Descobrimto e estabelecimento de conexão
Serviço de descobrimento	Descobrimto dos serviços oferecidos
Porta serial	Emulação do cabo serial
Troca de objeto genérico	Relacionamento cliente-servidor para troca de obj.
Acesso à LAN	Como dispositivos Bluetooth têm acesso à LAN
Rede via dial-up	Permite chamada via telefone móvel
Fax	Permite um FAX conectar-se a um telefone móvel
Telefone sem fio	Conecta um telefone sem fio à sua estação base
Comunicação interna	Walkie-talkie digital
Fone de ouvido	Permite uma comunicação de voz hands-free
Envio de objetos	Permite a troca de objetos simples
Transferência de arquivo	Permite o serviço de FTP
Sincronização	Permite um PDA sincronizar-se com outro comp.

BLUETOOTH

Pilha de Protocolos

- Camada de rádio
 - Sistema de baixa potência, com alcance de 10 m
 - Banda de 2,4 GHz, subdividida em 79 canais de 1MHz cada.
 - Modulação FSK com 1 bit por Hz (1 Mbps).
 - Utiliza FHSS, com 1600 saltos/s, e tempo de parada de 625µs.
 - Todos os nós em uma *piconet* saltam simultaneamente, com o mestre ditando a sequência de saltos.

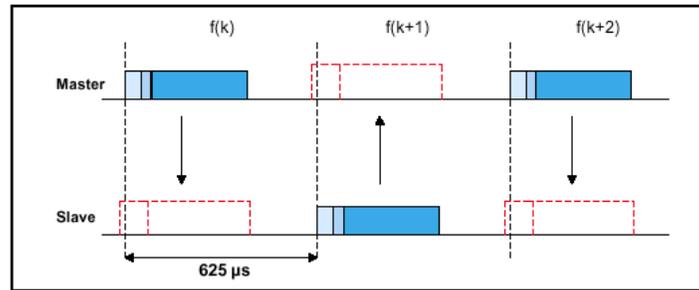
BLUETOOTH

Pilha de Protocolos

- Camada de banda básica
 - Transforma o fluxo bruto de bits em quadros.
 - O Mestre define uma série de *slots* de 625µs, iniciando suas transmissões nos *slots* pares.
 - Os escravos iniciam suas transmissões nos *slots* ímpares.
 - FH necessita de 250 a 260µs para estabilização dos circuitos de rádio.
 - Os quadros podem ocupar 1, 3 ou 5 slots.

BLUETOOTH

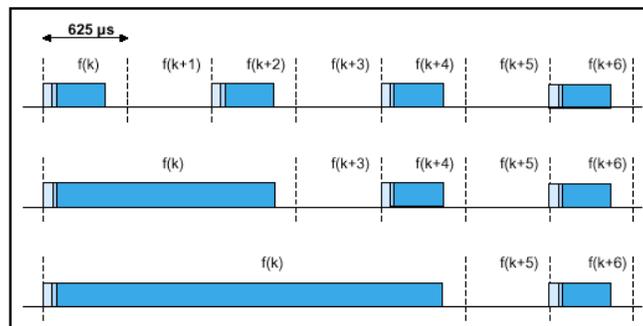
Canal Físico



TDD: Time-Division Duplex
Par - Mestre
Ímpar - Escravo

BLUETOOTH

Canal Físico



Um pacote deve ocupar no máximo 5 slots (1, 3 ou 5).

BLUETOOTH

Pilha de Protocolos

- Camada de banda básica
 - Quadro de um único slot
 - Dos 625 bits do *slot* restam 366 (1bit para cada 1 μ s). Sendo que 126 são *overhead* (código de acesso e cabeçalho) restam 240 bits para dado (eficiência é de 38,4% para quadros com apenas 1 pacote).
 - Quadro ocupando 5 slots
 - Utilizado um período de ajuste um pouco mais curto.
 - Dos 5x625 = 3125 bits, 2781 ficam disponíveis para a camada de banda básica (eficiência de 88,992% para quadros com 5 pacotes)

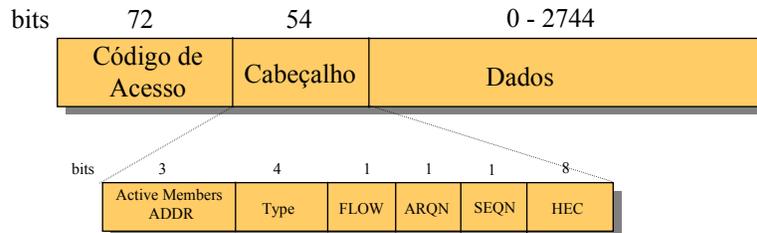
BLUETOOTH

Pilha de Protocolos

- Camada de banda básica
 - Dois tipos de transmissão de quadros:
 - ACL - *Asynchronous Connection-Less*.
 - Para troca de pacotes em intervalos irregulares.
 - Serviço oferecido pela camada L2CAP.
 - Cada escravo só pode ter um enlace ACL com o mestre.
 - Quadros podem ser perdidos e devem ser retransmitidos.
 - SCO - *Synchronous Connection Oriented*.
 - Para dados em tempo real, ex. conexões telefônicas.
 - Alocado um slot fixo em cada sentido
 - Dados nunca são retransmitidos (utilizado correção de erro).
 - Um escravo pode ter até 3 enlaces SCO com seu mestre.
 - Cada enlace SCO pode transmitir um canal de áudio PCM de 64 kbps.

BLUETOOTH

Formato do quadro



Obs.: cabeçalho de 18 bits é repetido 3 vezes,

BLUETOOTH

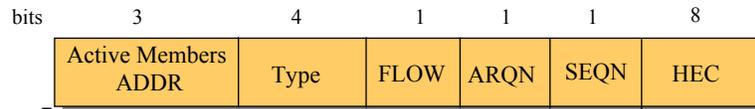
Formato do quadro

- Código de acesso
 - Sincronização e identificação.
 - Código de acesso ao canal - identifica uma piconet, usados em todos os pacotes trocados em um canal de piconet.
 - Código de acesso ao dispositivo - usado para *paging* e em resposta ao *paging*.
 - Código de acesso de consulta - usado para descobrir novas unidades Bluetooth dentro do raio de alcance ou quais unidades têm característica comum.

BLUETOOTH

Formato do quadro

- Cabeçalho



- Type - 16 diferentes tipos de quadros com seus respectivos tamanhos.
- Flow - controle de fluxo para indicar *buffer* cheio na transmissão assíncrona.
- ARQN - *acknowledgment* = 1 sucesso.
- SEQN - seqüenciação.
- HEC - *header error check*.

BLUETOOTH

Formato do quadro

- Cabeçalho

- AM_ADDR (3 bits)
 - Para cada escravo é atribuído um endereço temporário.
 - Endereço 0 usado para broadcasting.
 - Escravos quando desconectados perdem o AM_ADDR. Quando são conectados recebem um novo endereço.
- TYPE (4 bits)
 - Indica o tipo do quadro e quantos *slots* o quadro irá ocupar, para que os demais escravos não fiquem escutando o canal durante o restante do pacote - power save.

BLUETOOTH

Formato do quadro

- Cabeçalho
 - FLOW (1 bit) - usado para comunicação assíncrona.
 - Quando FLOW=0 a transmissão de dados deve parar temporariamente (*buffer* cheio).
 - ARQN (1 bit)
 - 1 indica sucesso na transferência de carga útil.
 - SEQN (1 bit)
 - É invertido a cada novo quadro transmitido. Se um ack é enviado mas não é recebido, uma retransmissão desnecessária é enviada. Então é descartada.

BLUETOOTH

Formato do quadro

- Dados
 - ACL - *Asynchronous Connection-Less*.
 - Vários formatos são usados para o campo de dados, até 2744 bits.
 - SCO - *Synchronous Connection Oriented*.
 - O campo de dados é sempre de 240 bits.
 - 80, 160 ou 240 bits de carga útil, o restante é usado para correção de erro.

BLUETOOTH

Formato do quadro

- Como a divisão de *slots* é feita por par e ímpar, tanto o mestre quanto o escravo usam 800 *slots/s*.
- Carga útil de 80 bits, $80 \cdot 800 = 64000$ (64kbps).
 - Exatamente um canal de voz PCM *full-duplex*.
- Para o formato mais confiável (80 bits) a largura de banda de 1Mbps está saturada.
- Para o formato sem redundância (240 bits) 3 enlaces síncronos são permitidos (80+80+80) .

BLUETOOTH

Conexões de rede

- Quantidade de dispositivos ilimitada, porém só 8 ativas.
- Qualquer unidade pode ser mestre - hardware e software idênticos. Mestre e escravo referem-se ao protocolo.
- A unidade que estabelece a *piconet* se torna a unidade mestre.
- Unidade mestre controla todo o tráfego.
 - Aloca capacidade para canais síncronos.
 - Gerencia esquema de *polling*. (Não existe colisão)

BLUETOOTH

Conexões de rede

- Unidades escravo só enviam no slot escravo-para-mestre após serem endereçadas no slot mestre-para-escravo.



BLUETOOTH

Segurança

- Alcance limitado de transmissão.
- Salto em frequência.
- Autenticação.
- Criptografia.

BLUETOOTH

Bluetooth, Infravermelho, 802.11

- **Infravermelho:**
 - Capacidade máxima de carga útil superior.
 - Limitada à conexões ponto a ponto.
 - Visada direta.
- **IEEE 802.11 (Wi-Fi):**
 - Maior capacidade de transmissão que o Bluetooth.
 - Maior número de usuários simultâneos.
 - Hardware maior que o Bluetooth.
 - Mais caro que o Bluetooth.
 - Maior consumo de potência.