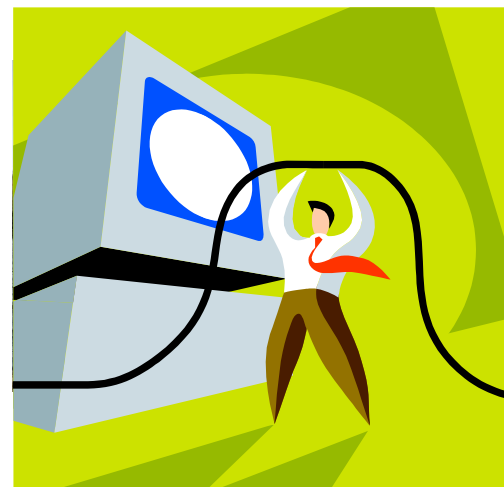




Redes móveis

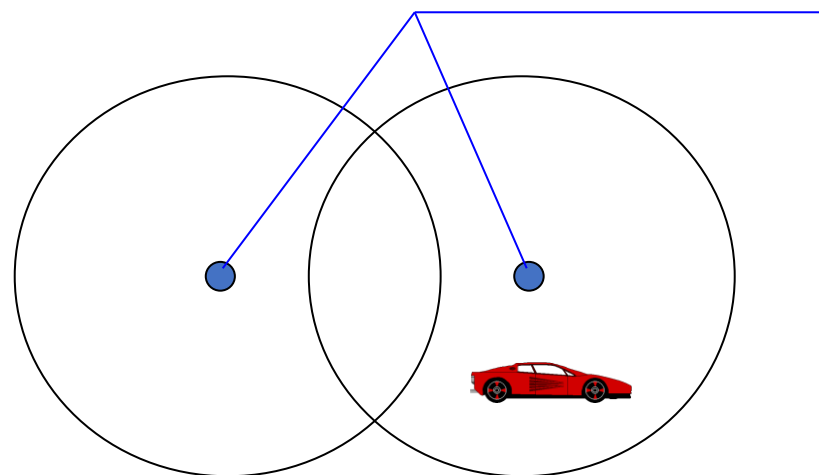
Conexões e estruturas





Rede celular pública

- Acesse a rede com link de rádio
 - O espaço é dividido em células com uma estação base
 - O nó móvel (MN) pode funcionar ao alternar entre células



O tamanho da cobertura celular é

- Altamente variável
- Depende da tecnologia
- Depende do número de usuários



Células

Vantagens:

> capacidade

> # usuários

< poder

> robustez (sistema distribuído)

Cada célula localmente cuida de interferência, área de cobertura, etc...

• Desvantagens

- Usa rede cabeada entre células

- Muitas transferências

- Interferência entre células

• Fundamental:

Dimensionamento celular

- Comprimento da célula

- Reutilização de frequência

- Reserva de canal



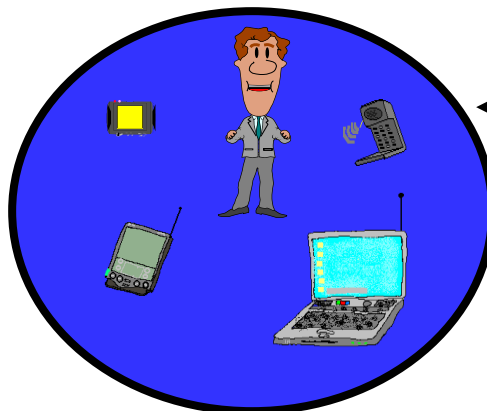
Tipos de redes sem fio

PANs

Redes pessoais, muito
faixa limitada
Voz e dados com baixo custo

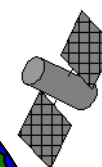
Wi Rele é LAN

Campus (escola,
empresa, aeroporto)



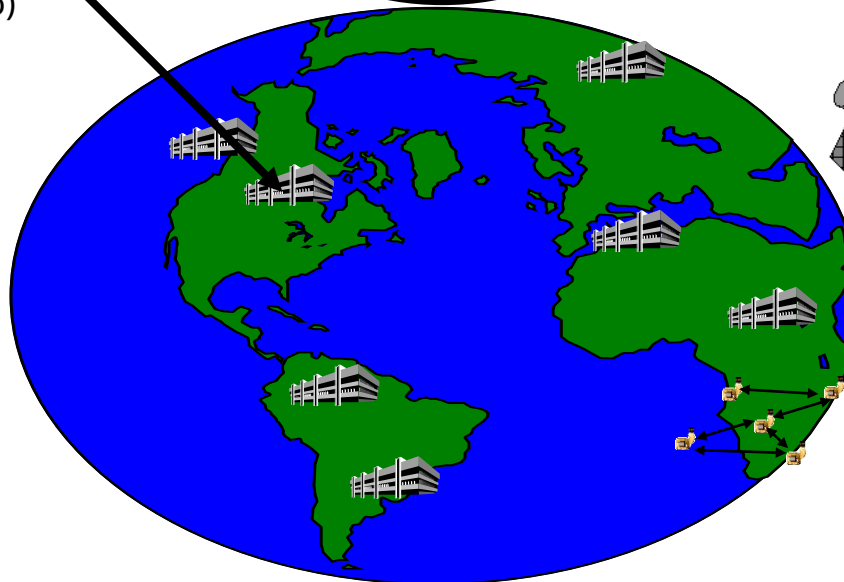
Satélite

Mundialmente
redes
Alto custo



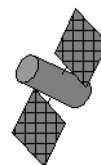
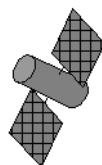
Celular

Grande área geográfica
cobertura



CSN

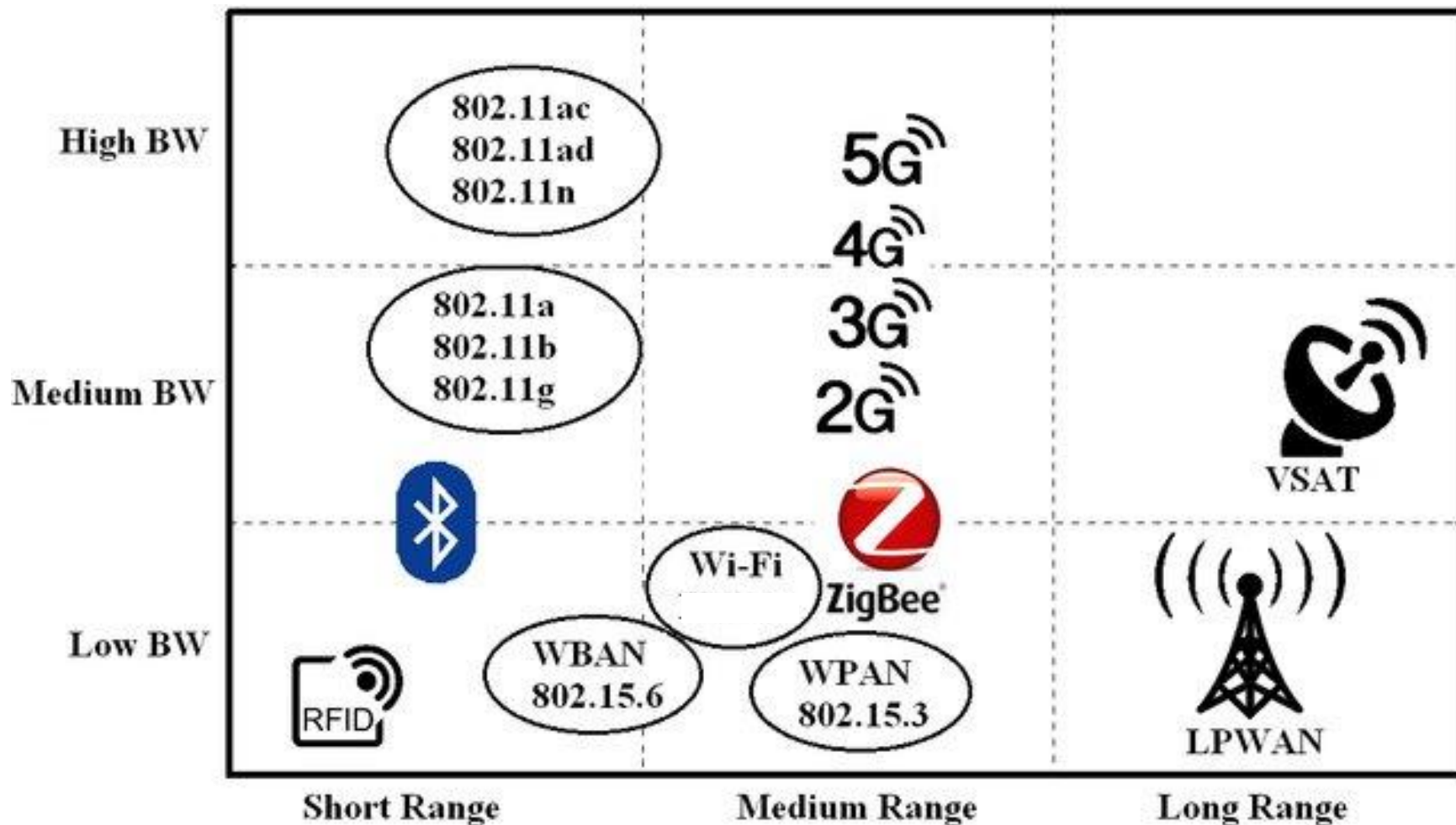
Multidimensional
Custo variável (baixo)
Geralmente baixa taxa de bits





Comparação entre tecnologias sem fio

Troca entre taxa de dados e intervalo





Padronização de Redes Wireless

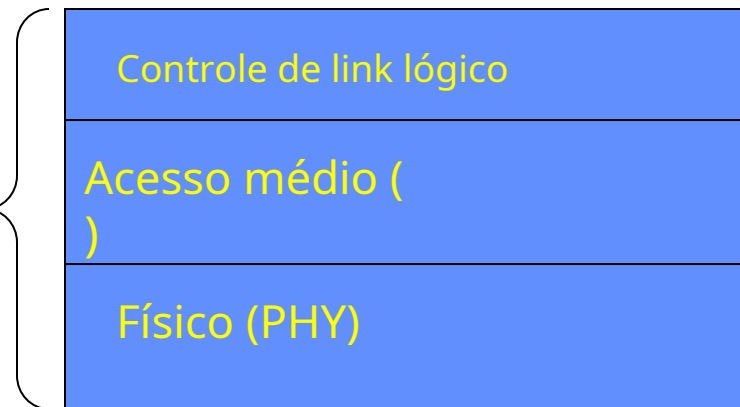
- As redes sem fio são padronizadas pelo IEEE.
- Sob o comitê de padrões 802 LAN MAN.

LAN – Rede Local MAN –
Rede Metropolitana

ISO
OSI
7 camadas
modelo



IEEE 802
padrões





802.11



Contorno

- Padrão 802.11

- Camada física

- MAC

- DCF – Função de Coordenação Distribuída
- PCF – Função de Coordenação de Ponto

- Funções MAC avançadas



Padrão histórico IEEE 802.11

- Rede sem fio local (WLAN)
- Inclui controle de acesso médio (MAC)
- Inclui (d) cinco camadas físicas (PHY)
 - Frequência de Salto do Espectro Propagado
 - Espectro de propagação de sequência direta
 - infravermelho
 - 11Mbps - 2,4GHz
 - 54Mbps - 5GHz
 - Os primeiros esforços foram divididos em três padrões:
 - 802.11
 - 802.11a
 - 802.11b



Família histórica IEEE 802.11

Protocolo	Liberar Dados	Frequencia.	Taxa (típica)	Avaliar (máx.)	Alcance (interno)
Legado	1997	2,4GHz	1Mbps	2Mbps	?
802.11a	1999	5GHz	25Mbps	54Mbps	~30m
802.11b	1999	2,4GHz	6,5Mbps	11Mbps	~30m
802.11g	2003	2,4GHz	25Mbps	54Mbps	~30m
802.11n	2008	2,4/5 GHz	200Mbps	600Mbps	~50m
802.11ac	2014	5GHz	600 Mbps	3,5Gb/s	~35m
802.11ax (WiFi 6)	2021	2,4/5 GHz	130 (2,4GHz) 400-800Mbps (5 GHz)	10Gbps	~30m
802.11be (Wi-Fi 7)	A definir	2,4/5/6GHz	?	40 Gbps	?
802.11ay	2021	60GHz	20Gbps	20-40 Gbps	300-500m



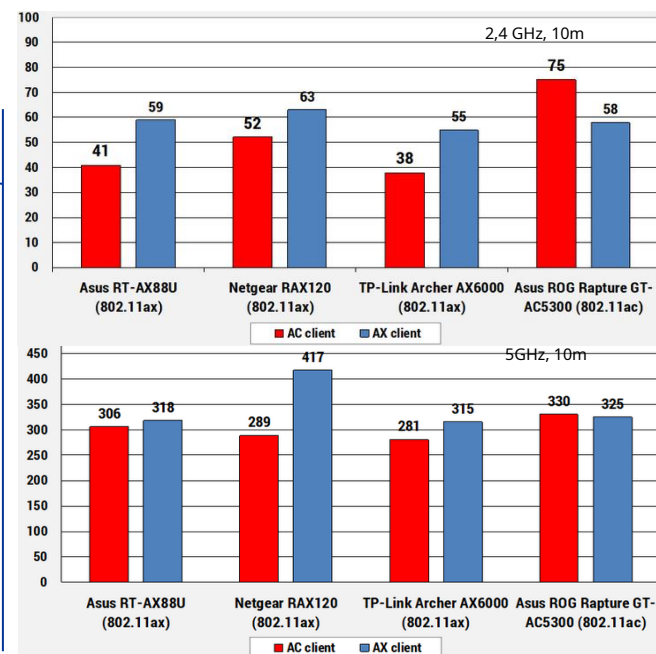
Novas tecnologias de rádio 802.11

Inovações recentes atuais sendo implantadas:

rendimento facilitado nas bandas de 2,4, 5 (e 6) GHz. Maior eficiência.

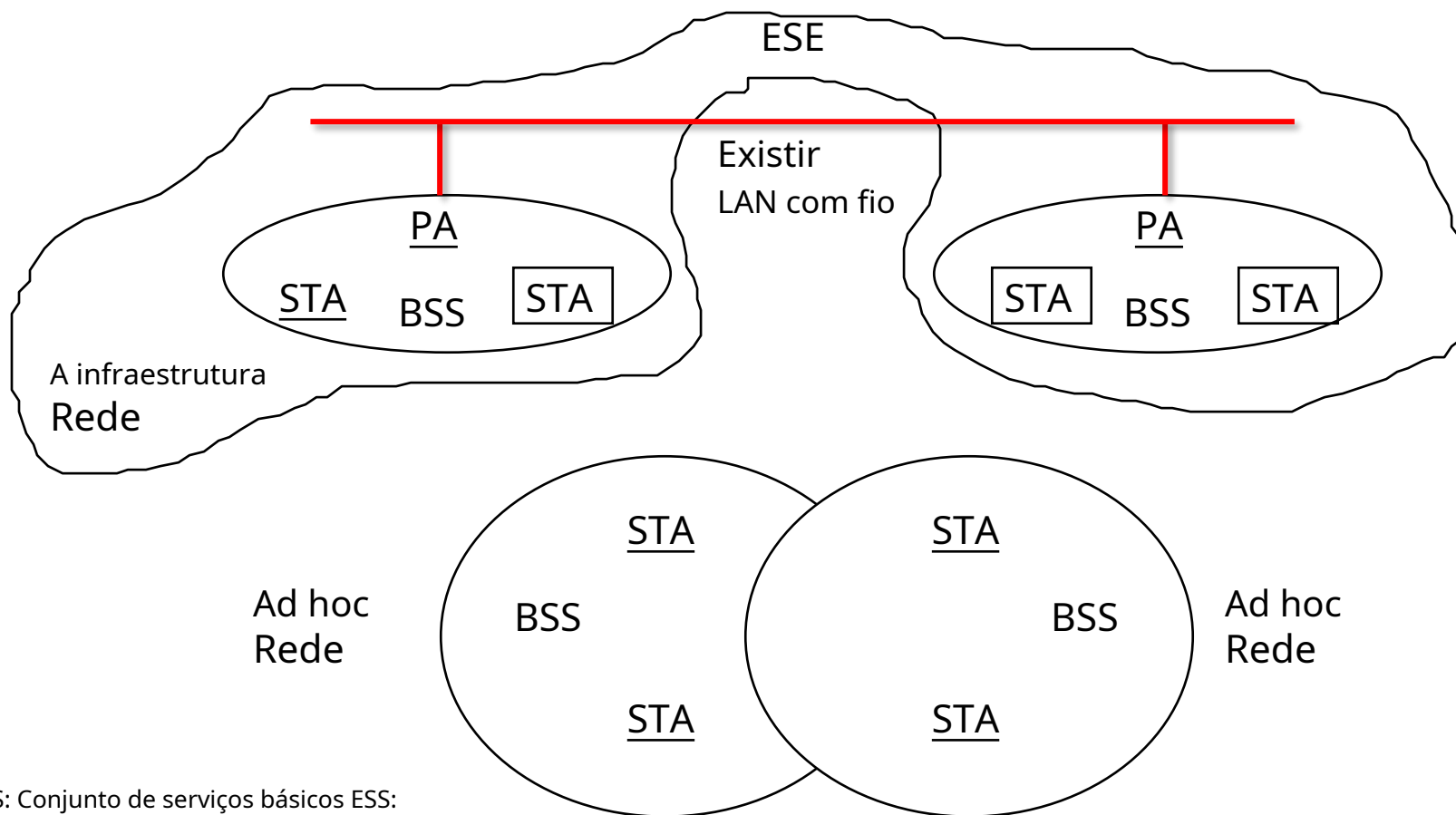
Wi-Fi 6

- 802.11ay – Suporte para 20 Gbps na banda de 60 GHz.
- 802.11az-2 recursos de posicionamento de geração.
- 802.11ba – Ativar rádio. Aplicativos IoT de baixo consumo de energia.
- 802.11bb – Comunicações leves
- 802.11bc – Serviço de transmissão aprimorado
- 802.11bd – Aprimoramentos para a próxima geração V2X
- 802.11be – Taxa de transferência extremamente alta
- 802.11bf – Detecção de WLAN [aprovação pendente]





Arquitetura 802.11



BSS: Conjunto de serviços básicos ESS:

Conjunto de serviços estendidos

DS: Sistema de Distribuição



Componentes

- Estação (STA) – Terminal Móvel
- Ponto de acesso (AP) – STA estão conectadas a Access Points (redes infraestruturadas)
- Conjunto de serviços básicos (BSS) – STA e AP com o mesmo área de cobertura e conectividade criam um BSS.
- Conjunto de serviços estendido (ESS) – Vários BSSs conectados via os APs criam um ESS.
- Sistema de Distribuição (DS) – Contém a entidade que interliga APs



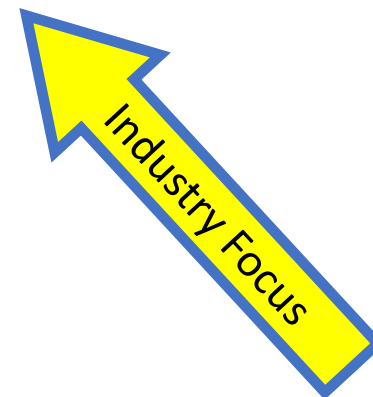
Sistema de Distribuição (DS)

- O sistema de distribuição interliga vários BSSs
- Padrão 802.11 **separa logicamente** o meio sem fio do sistema de distribuição – não impede, nem exige, que os múltiplos meios sejam iguais ou diferentes
- Um Ponto de Acesso (AP) é uma STA que fornece acesso ao DS fornecendo serviços DS além de atuar como uma STA.
- Os dados são transferidos entre o BSS e o DS por meio de um AP
- O DS e os BSSs permitem que o 802.11 crie uma rede sem fio de tamanho e complexidade arbitrários chamada **Conjunto de serviços estendido** rede (ESS)



Infraestrutura versus modo Ad Hoc

- Modo infraestrutura: as estações se comunicam com um ou mais pontos de acesso conectados à infraestrutura cabeada
 - O que é implantado na prática
- Dois modos de operação:
 - Funções de Controle Distribuído - DCF
 - Funções de controle de ponto - PCF
 - PCF raramente é usado - ineficiente
- A alternativa é o modo “ad hoc”: multi-hop, não pressupõe nenhuma infraestrutura
 - Raramente usado, por exemplo, militar
 - Tema quente de pesquisa!





E quanto ao Ad Hoc?

- Modo Ad-hoc: sem infraestrutura de rede fixa
 - Baseado em um BSS independente
 - Um endpoint sem fio envia e todos os nós dentro do alcance podem captar o sinal
 - Cada pacote carrega endereço de destino e de origem
 - É efetivamente necessário implementar uma “camada de rede”
 - Como saber quem está na rede?
 - Roteamento?
 - Segurança?



Contorno

- Padrão 802.11

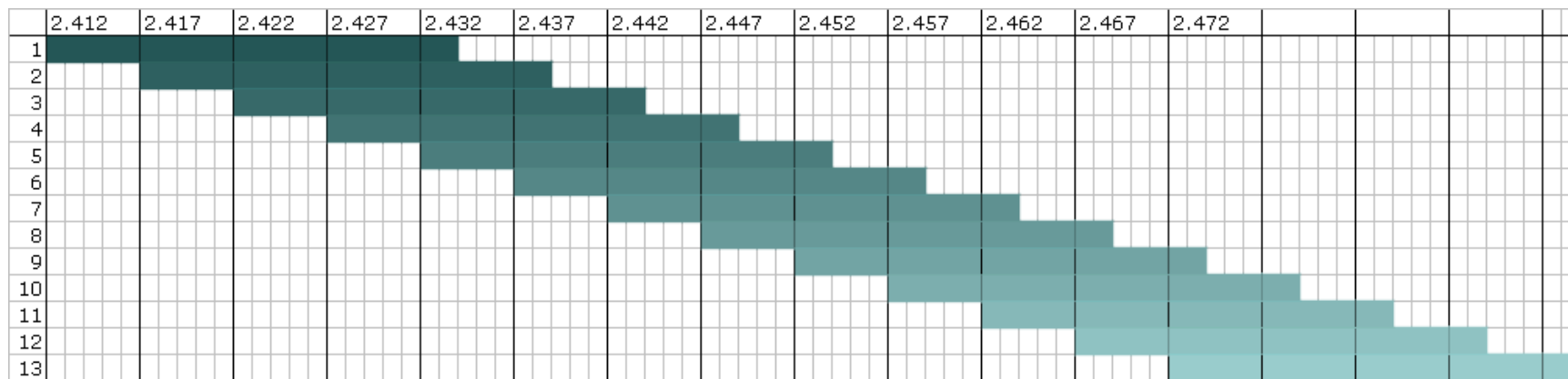
➤ Camada física

- MAC
 - DCF
 - PCF
- Funções MAC avançadas



Canais 802.11 (2,4 GHz)

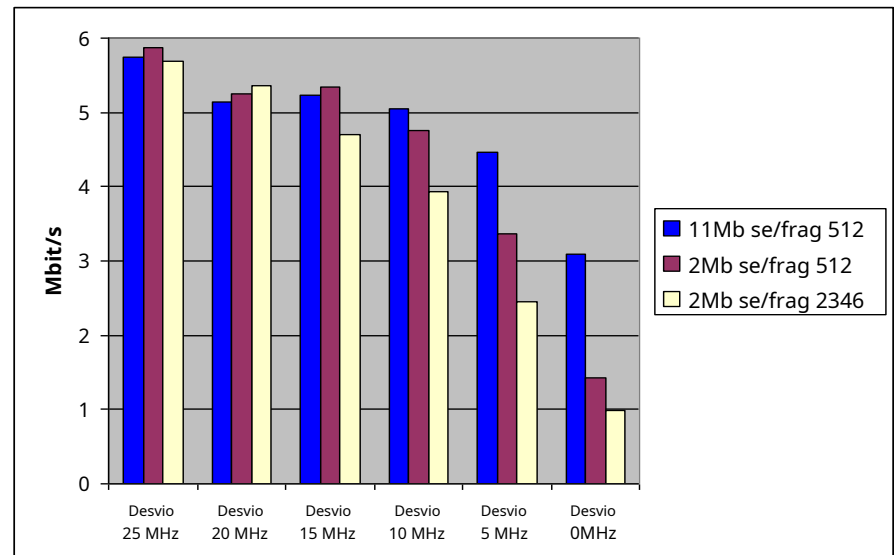
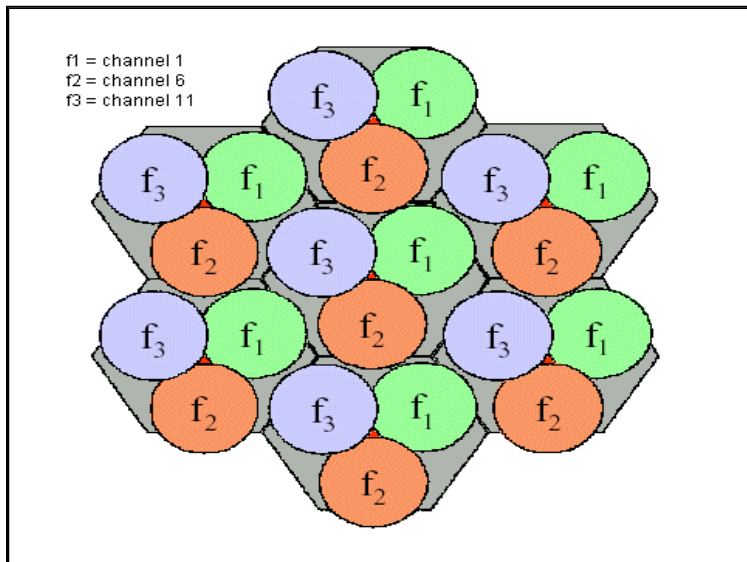
- A frequência é dividida em canais
- No Reino Unido e na maior parte da UE: 13 canais, separados por 5 MHz, 2.412 – 2.472GHz
- Nos EUA: apenas 11 canais
- Cada canal tem 22 MHz
- Sobreposição significativa
- Os melhores canais são 1, 6 e 11





Planejamento de frequência

- Interferência de outros sistemas ou células WLAN
- IEEE 802.11 opera em banda ISM não controlada
- 14 canais do 802.11 estão sobrepostos, apenas 3 canais estão separados. Por exemplo Ch1, 6, 11
- A taxa de transferência diminui com menos espaçamento entre canais
- Um exemplo de alocação de frequência em rede multicelular



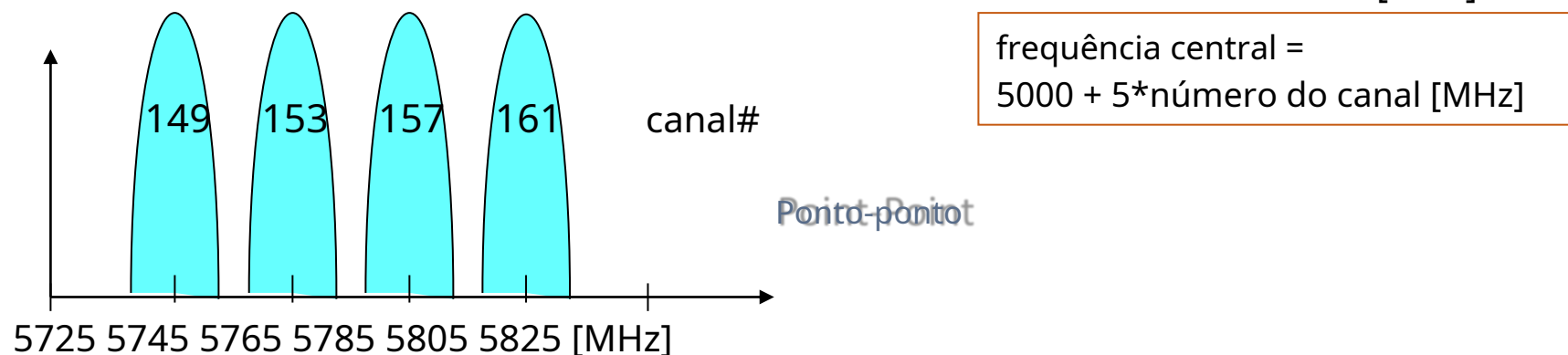
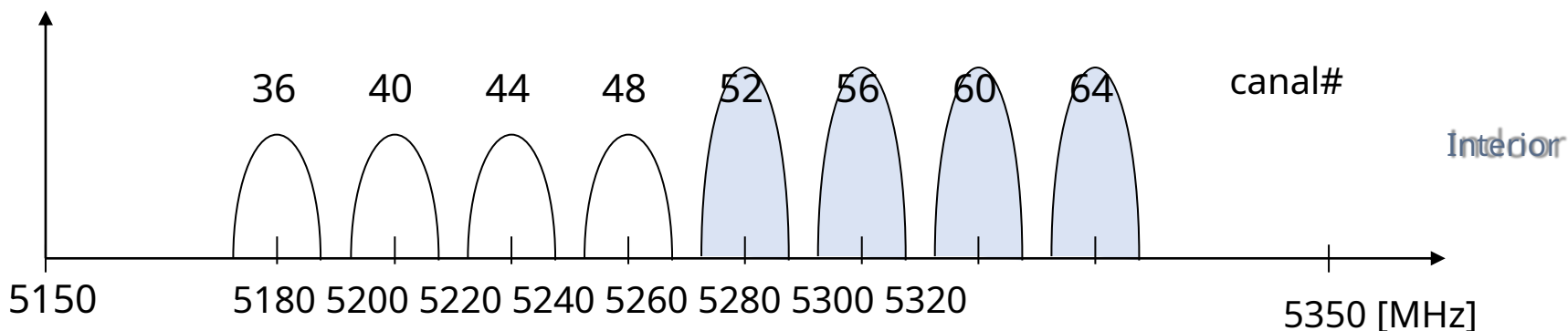


802.11 (5 GHz)

- Usa divisão de frequência nas bandas de 5,2 e 5,7 GHz
- Quais são os benefícios?
 - Maior largura de banda
 - Menos interferência potencial (5GHz)
 - Mais canais não sobrepostos
- Mas não fornece interoperabilidade
 - Interoperabilidade no nível do chipset



Exemplo: canais físicos 802.11a

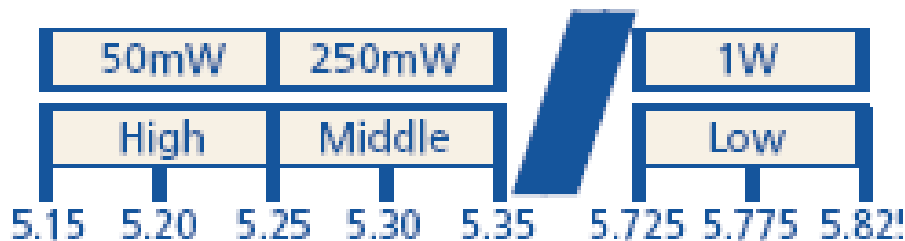


frequência central =
 $5000 + 5 \times \text{número do canal [MHz]}$

Maximum Power Output

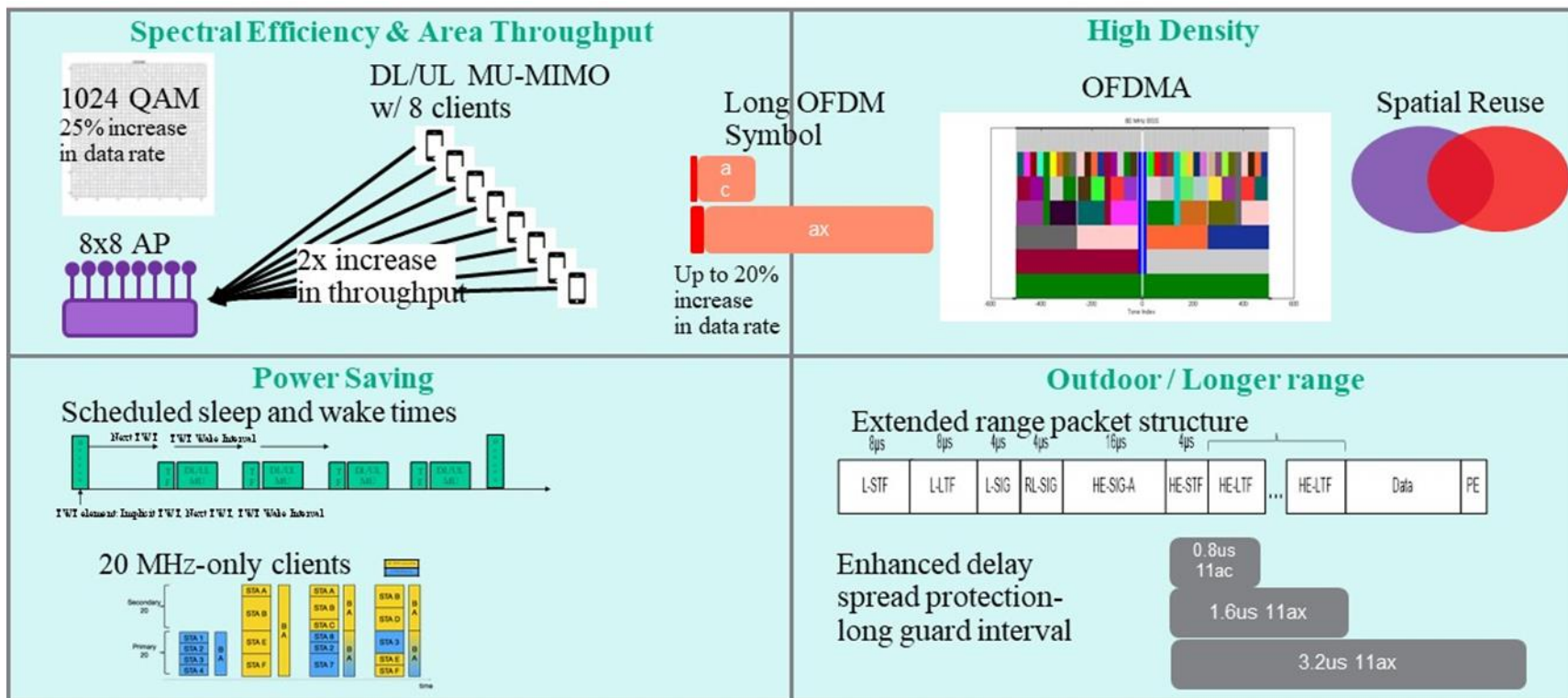
U-NII Band

Frequency (GHz)





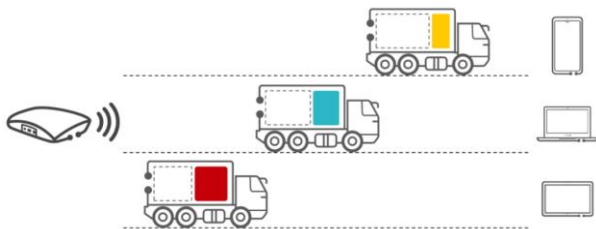
Melhorias na camada de rádio WiFi 6





OFDMA – Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência Ortogonal

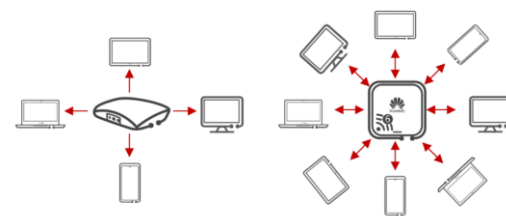
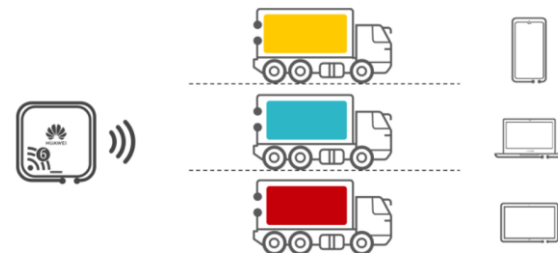
- Versão multiusuário do OFDM (multiplexação por divisão de frequência ortogonal)
- Divide os recursos do canal em múltiplas Unidades de Recursos (RUs)
- Diferentes usuários recebem esses Rus
- Dados de vários usuários podem ser enviados em um canal simultaneamente
- Novidade no Wi-Fi 6
- Então:
 - O AP se comunica com vários usuários durante um período de transmissão





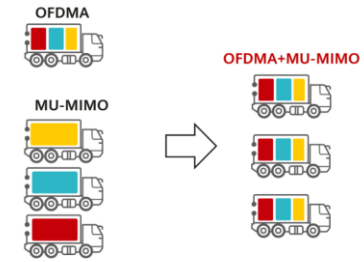
MU-MIMO – Múltiplas entradas e múltiplas saídas multiusuário

- Introduzido no Wi-Fi 5
- # antenas em APs é maior que em terminais
 - Incapaz de aproveitar ao máximo os recursos do canal
 - Por exemplo: em 802.11ac, que está apenas em 5GHz, cada fluxo espacial (1x1 MIMO) tem uma taxa PHY máxima de 433 Mbps quando usado com canais de 80 MHz de largura
 - Transmissão de usuário único
- Com MU-MIMO
 - AP se comunica com vários terminais simultaneamente
 - Wi-Fi 5: 4x4 DL MU-MIMO (4 * 433 apenas em downlink)
 - Wi-Fi 6: 8x8 UL/DL MU-MIMO (8*433 em uplink/downlink)
- MU-MIMO





OFDMA + MU-MIMO



- MU-MIMO

- Divide fisicamente os recursos da rede para aumentar a capacidade e a eficiência em aplicações de alta largura de banda (ou seja, streaming e download de vídeo)
- Aumenta a utilização do fluxo espacial e a largura de banda efetiva, ao mesmo tempo que reduz a latência
- Propenso a impactos de terminais

- OFDMA

- Suporta transmissão multicanal no domínio da frequência
- Ideal para aplicações de baixa largura de banda e pacotes pequenos (por exemplo, navegação na web, mensagens instantâneas)
- Aumenta a utilização do fluxo espacial e o tempo de fila.
- Estável e resistente ao impacto dos terminais

- MU-MIMO + OFDMA = Operação complementar

- Alocação ideal de recursos com base em serviços, via agendamento conjunto



Wi-Fi 7

- Banda de 6 GHz!
 - Na realidade, o Wi-Fi 6E também tinha...
 - Largura de banda máxima do canal: 320 MHz
 - Wi-Fi 6: 160 MHz
 - Analogia: rodovias com mais faixas
- Modulação de amplitude em quadratura (QAM)
 - Os dados são representados por combinações de amplitudes, fases ou frequências
 - O esquema de codificação determina o número de bits que podem ser transportados em um símbolo
 - Wi-Fi 6 usa 1024-QAM (10 bits)... Wi-Fi 7 usa 4096-AQM (12 bits → 1,2x +)
- Operação multilink (MLO): 2,4 GHz + 5 GHz + 6 GHz
- Taxa de transmissão máxima:
 - Wi-Fi 6: 9,6 Gbps
 - Wi-Fi 7: 23,06 Gbps (x2,4 vezes!)

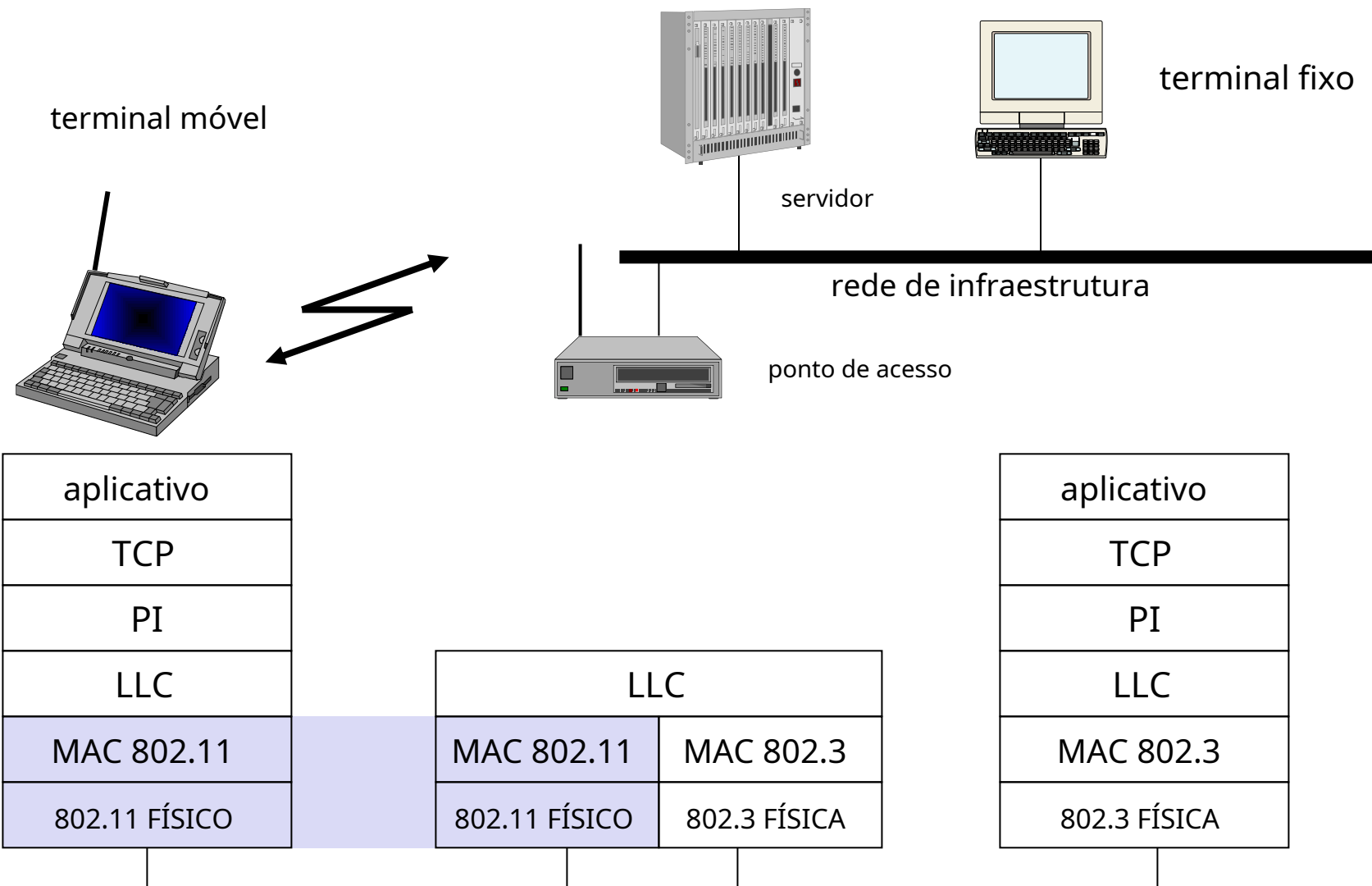


Contorno

- Padrão 802.11
- Camada física
- MAC
 - DCF
 - PCF
- Funções MAC avançadas



802.11- na pilha TCP/IP





Visão geral do MAC 802.11

- Usa variante de Carrier Sense Multiple Access com prevenção de colisão (CS/MACA)
 - RTS/CTS usado para endereçar nós ocultos
- Solicitação de repetição automática (ARQ)
 - Método de controle de erros para confiabilidade
 - Todos os quadros devem ser ACK corretamente ou ocorrerá o tempo limite
- Dois modos de operação:
 - Rede infraestruturada (ponto de acesso)
 - Redes Ad-Hoc (sem ponto de acesso)
- Suporte para economia de energia
- Privacidade equivalente com fio (WEP)
- Gerenciamento MAC
- Independente da camada física ou do modo de operação

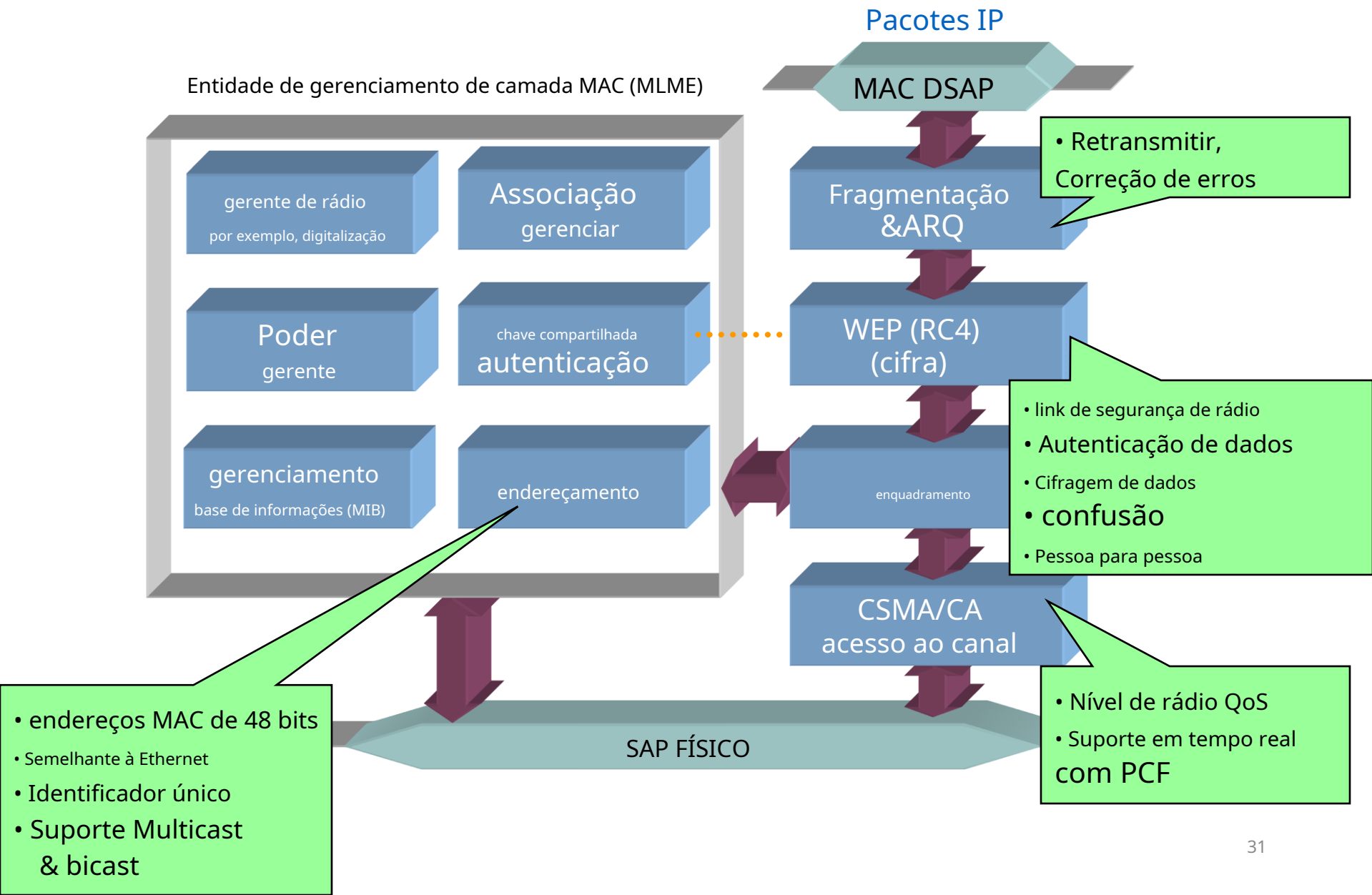


Recursos do protocolo MAC 802.11

- Acesso de controle justo
 - Suporta funcionalidades de controle de acesso à mídia
 - Endereçamento
 - CSMA/CA
- Proteção de dados
 - Detecção de erros (FCS – Sequência de verificação de quadros)
 - Compara o número com os valores recebidos
 - Correção de erros (quadro ACK)
- Entrega de dados confiável
 - Fragmentação
 - Controle de fluxo: stop-and-wait (o próximo quadro só é enviado após o recebimento de um ACK do anterior)



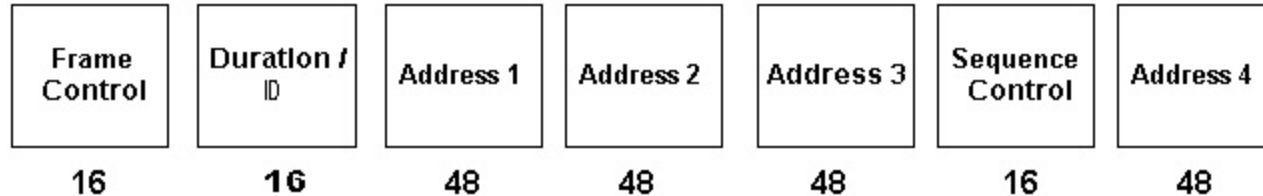
MAC IEEE802.11



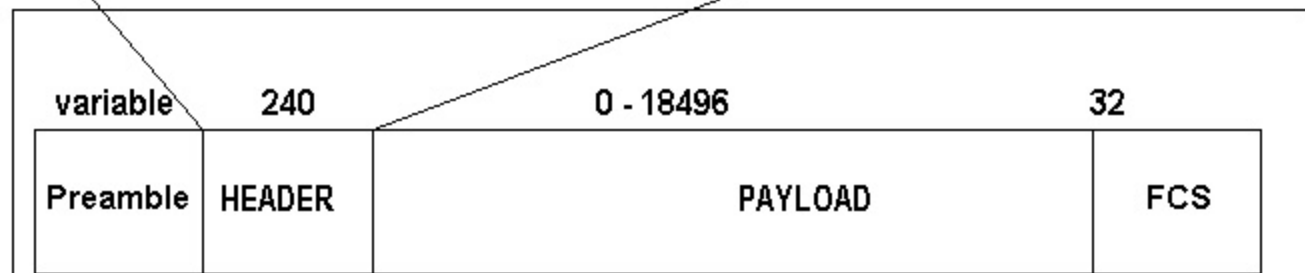


Quadros 802.11

- Três tipos de molduras
 - controle: RTS, CTS, ACK
 - Gerenciamento
 - Dados
- O cabeçalho depende do tipo de quadro

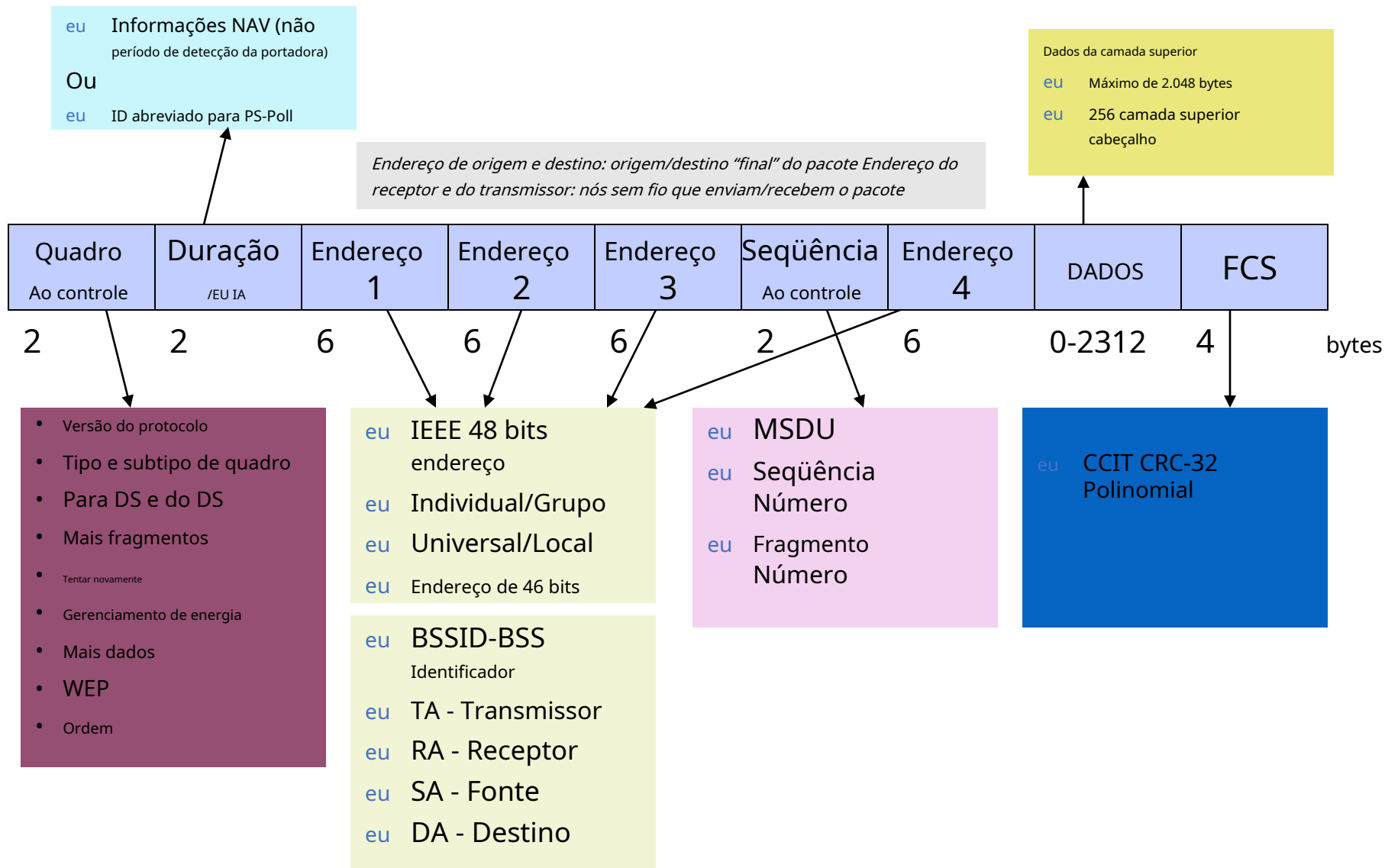


The 240 bit header may be truncated, based on specific frame type





Formato do quadro





Tipos de pacotes

- O campo tipo/subtipo é usado para indicar o tipo do quadro
- Gerenciamento:
 - Associação/Autenticação/Beacon
- Ao controle
 - RTS, CTS, final CF, ACK
- Dados
 - Somente dados, ou Dados + CF-ACK, ou Dados + CF-Poll ou Dados + CF-Poll + CF-ACK

FC → Livre de contenção



Mais alguns campos

- Duração/ID: A duração no modo DCF/ID é usada no modo PCF
- Mais Frag: 802.11 suporta fragmentação de dados
- Mais dados: No modo polling, a estação indica que tem mais dados para enviar ao responder ao CF-POLL
- RETRY será 1 se o quadro for uma retransmissão;
- WEP (Wired Equivalent Privacy) é 1 se o quadro for codificado WEP
- Power Mgmt é 1 se estiver no modo de economia de energia;
- Pedido = 1 para serviço estritamente solicitado



Taxa multibit

- 802.11 permite múltiplas taxas de bits
 - Permite a adaptação às condições do canal
 - Taxas específicas dependendo da versão
- Algoritmo para seleção da tarifa não é definido pela norma – deixado para os fornecedores
- Os pacotes têm formato multi-taxa
 - Diferentes partes do pacote são enviadas em taxas diferentes
- Preâmbulo curto vs longo
 - O preâmbulo permite que o receptor sincronize com o transmissor
 - Dados adicionais são adicionados ao cabeçalho para ajudar a verificar erros de transmissão
 - Longo
 - Mais antigo, requer mais dados para ajudar a verificar erros de transmissão (faz melhor)
 - Curto
 - Menos dados = mais rápido