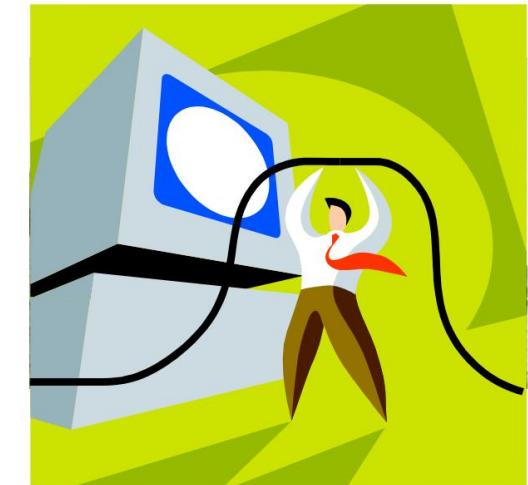




# Redes móveis

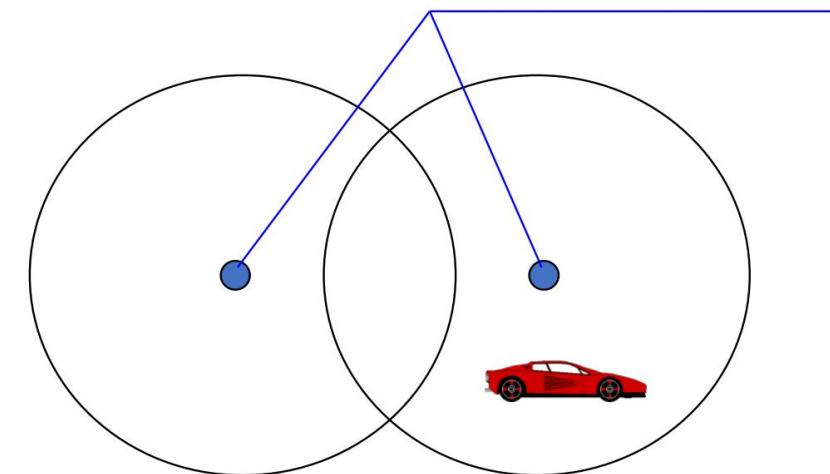
Conexões e estruturas





## Rede celular pública

- Acesso à 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

<potência>

robustez (sistema distribuído)

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

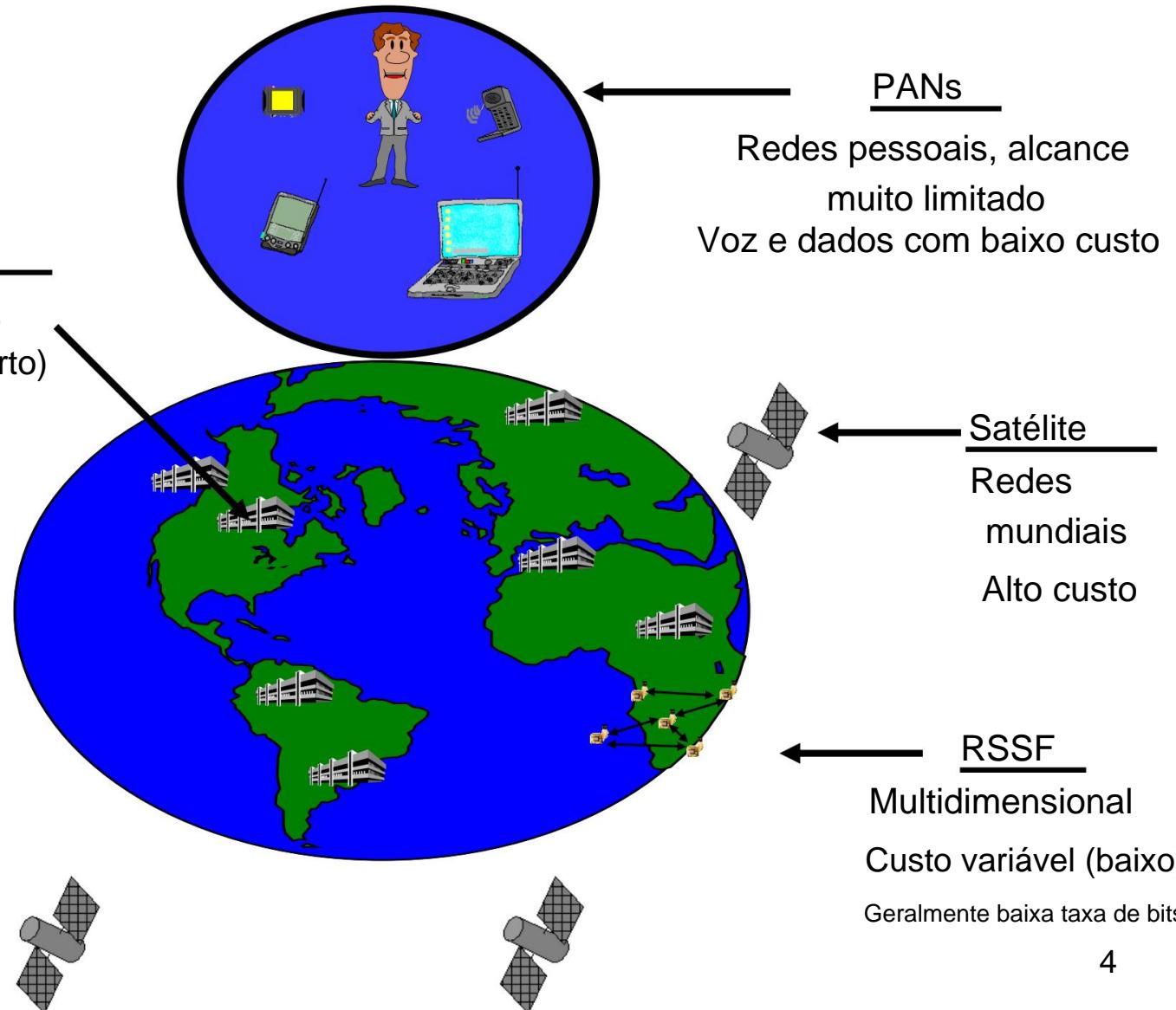
- Desvantagens • Utiliza rede cabeada entre células
- Muitas transferências • Interferência entre células
- Fundamental:
  - Dimensionamento da célula • Comprimento da célula • Reutilização de frequência
  - Reserva de canal



## Tipos de redes sem fio

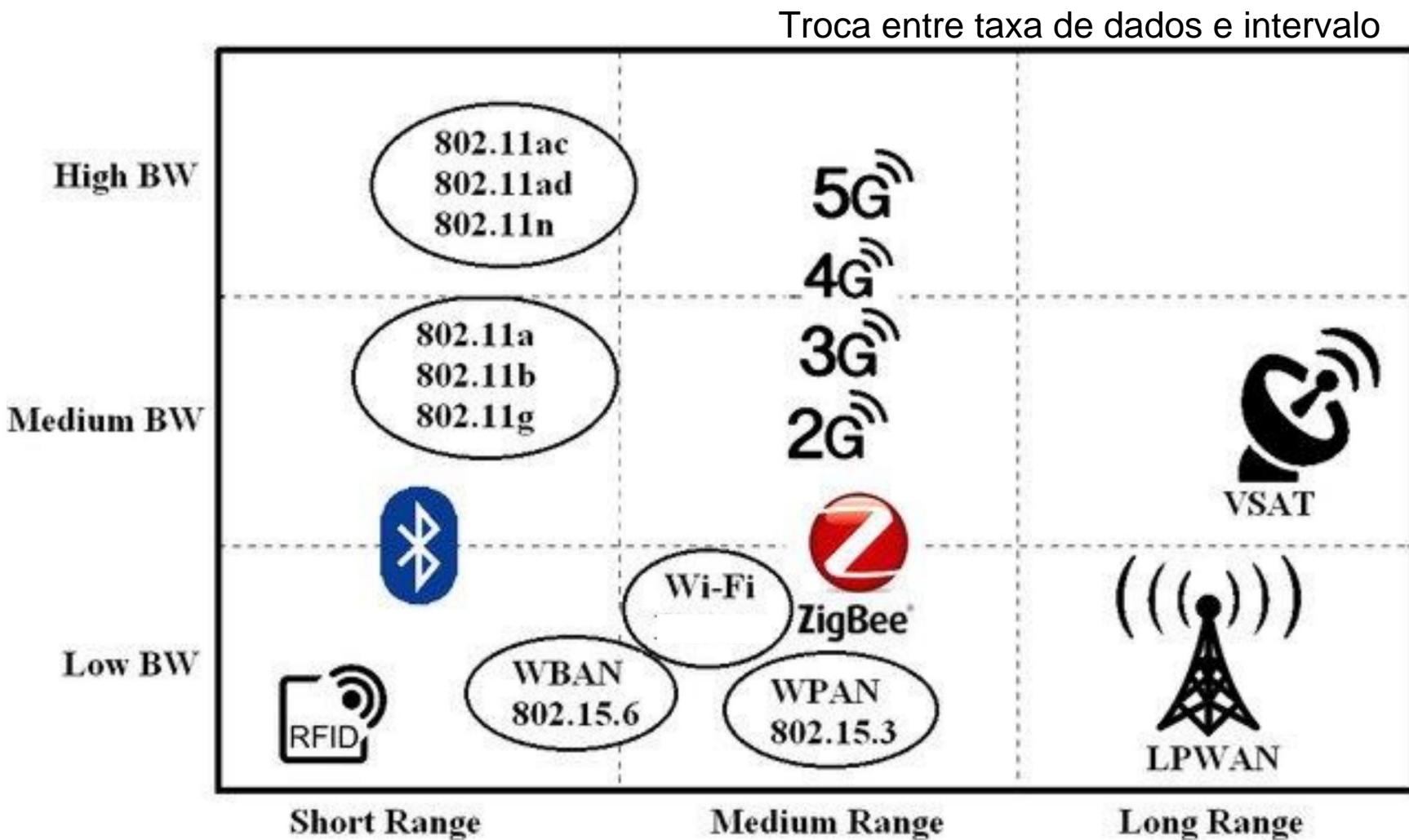
### Rede sem fio

Campus (escola,  
empresa, aeroporto)





# Comparação entre tecnologias sem fio





## Padronização de Redes Wireless

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

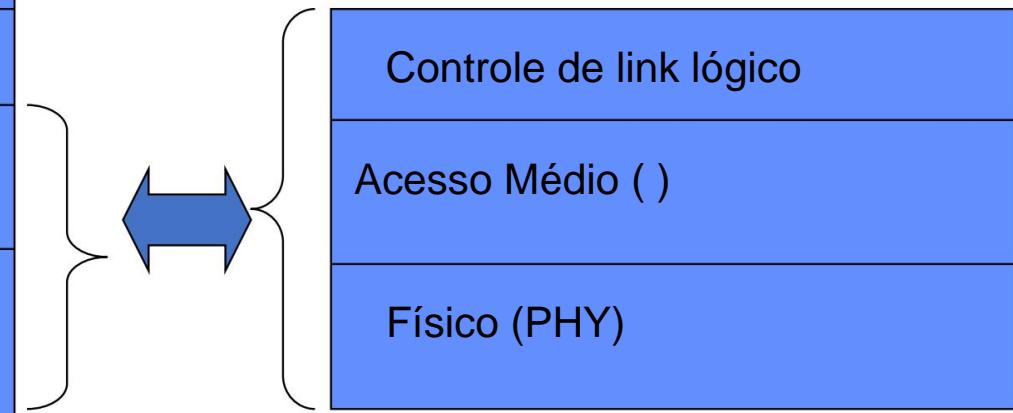
LAN – Rede Local  
MAN – Rede Metropolitana

ISO

Modelo  
OSI de 7 camadas



Padrões  
IEEE 802





**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 local sem fio (WLAN) • Inclui controle de acesso médio (MAC) • Inclui (d) cinco camadas físicas (PHY) • Espectro de propagação de salto de frequência • Espectro de propagação de sequência direta • infravermelho • 11 Mbps - 2,4 GHz • 54 Mbps - 5 GHz
- Esforços iniciais divididos em três padrões:
  - 802.11
  - 802.11a
  - 802.11b



## Família histórica IEEE 802.11

Protocolo	Liberar Dados	Frequencia.	Taxa (típica)	Taxa (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	3,5Gbps ~35m	
802.11ax (Wi-Fi 6)	2021	2,4/5 GHz	130 (2,4GHz) 400-800 Mbps (5 GHz)	10Gbps ~30m	
802.11be (Wi-Fi 7)	A definir	2,4/5/6GHz?		40Gb/s?	
802.11ay	2021	60GHz	20Gbps	20-40 Gbps	300-500m



## Novas tecnologias de rádio 802.11

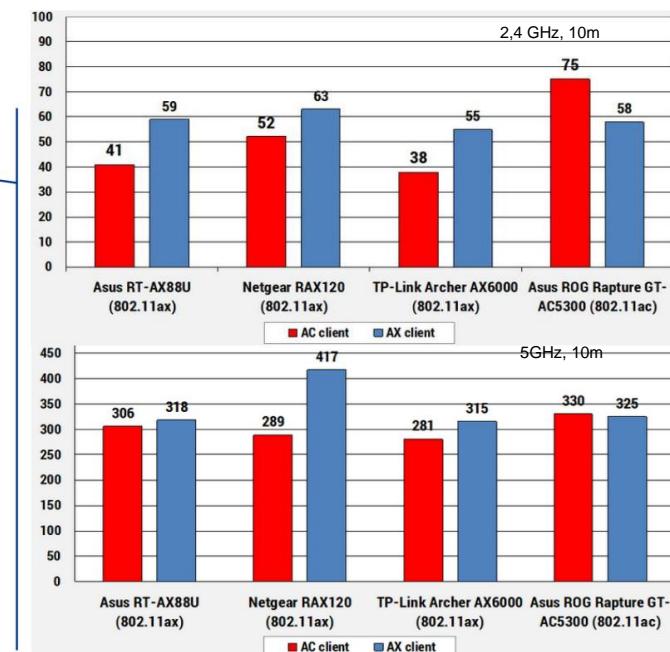
Inovações recentes sendo implantadas:

- 802.11ax –

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

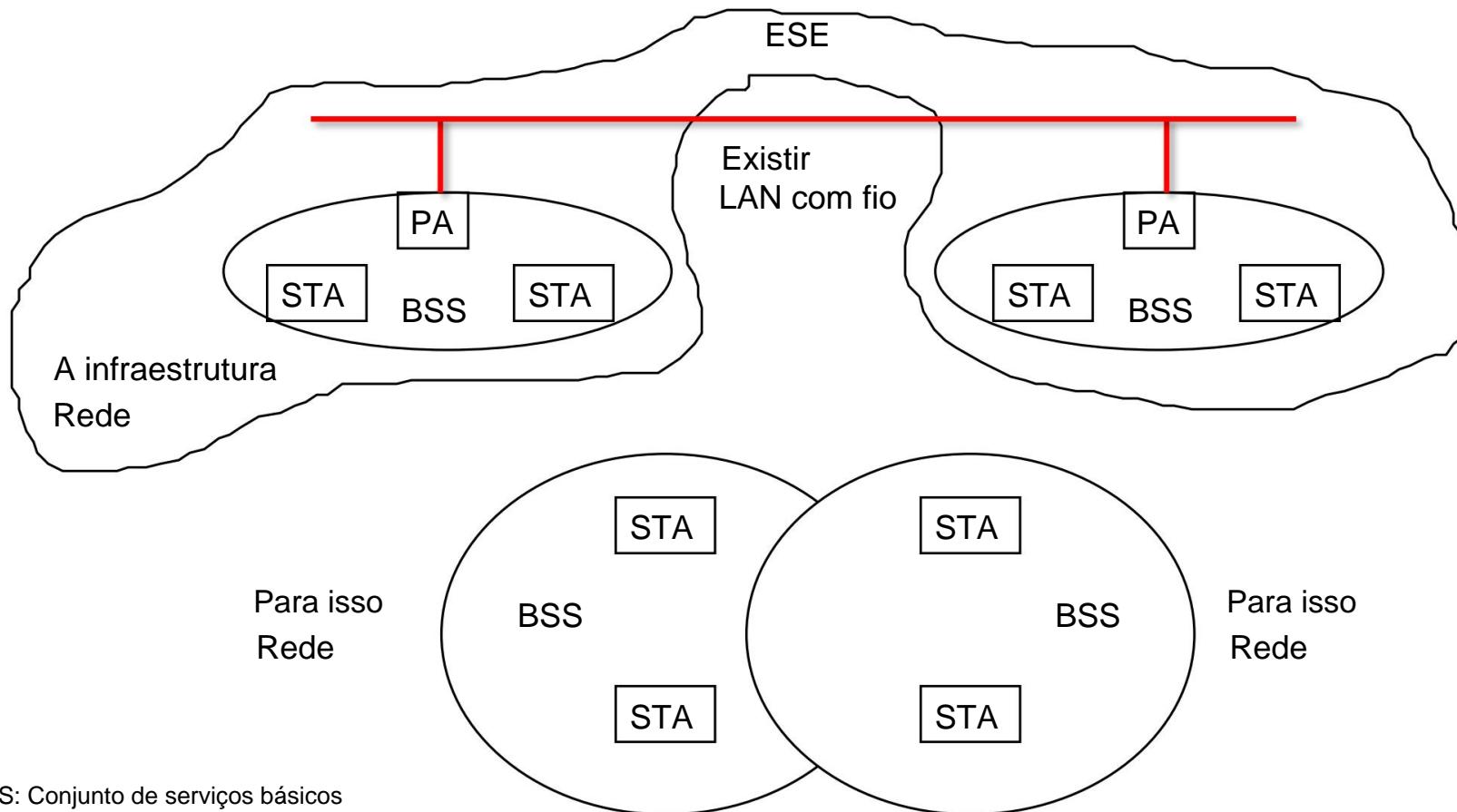
## WiFi6

- 802.11ay – Suporte para 20 Gbps na banda de 60 GHz.
- 802.11az – recursos de posicionamento de 2<sup>a</sup> geração.
- 802.11ba – Rádio para despertar. 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 estendido

DS: Sistema de Distribuição —————



## Componentes

- Estação (STA) – Terminal Móvel
- Ponto de Acesso (AP) - STA estão conectadas a Pontos de Acesso (redes infraestruturadas)
- Conjunto de Serviços Básicos (BSS) – STA e AP com a mesma área de cobertura e conectividade criam um BSS.
- Conjunto de serviços estendido (ESS) – Vários BSSs conectados por meio de APs criam um ESS.
- Sistema de Distribuição (DS) - Contém a entidade que interliga os APs



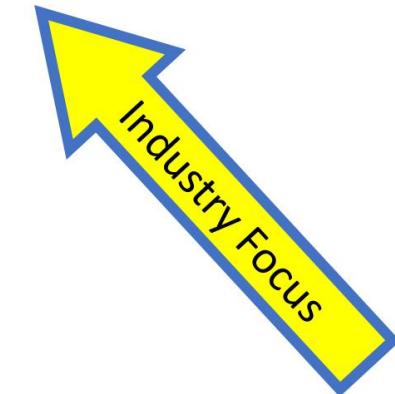
## Sistema de Distribuição (DS)

- O sistema de distribuição interliga vários BSSs
- O padrão 802.11 separa logicamente o meio sem fio do sistema de distribuição – ele 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.
- Movimentação de dados entre BSS e 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 chamados de Serviço Estendido Definir 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 implementado 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.
  - Tópico de pesquisa importante!





## 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

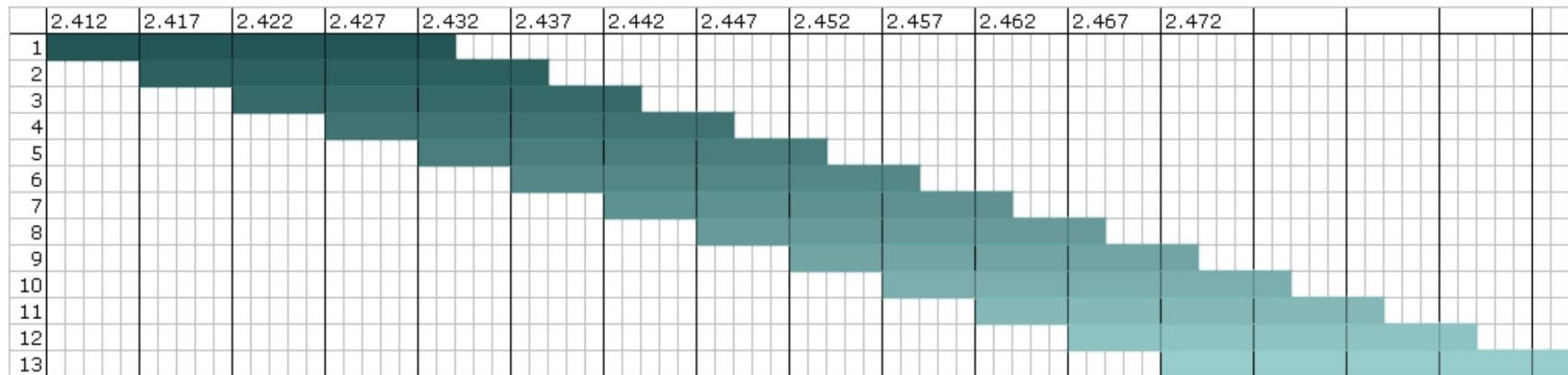
Reino Unido e na maior parte da UE: 13 canais, separados por 5 MHz, 2.412 – 2,472GHz

- Nos EUA: apenas 11 canais •

Cada canal tem 22 MHz •

Sobreposição

significativa • Os melhores canais são 1, 6 e 11



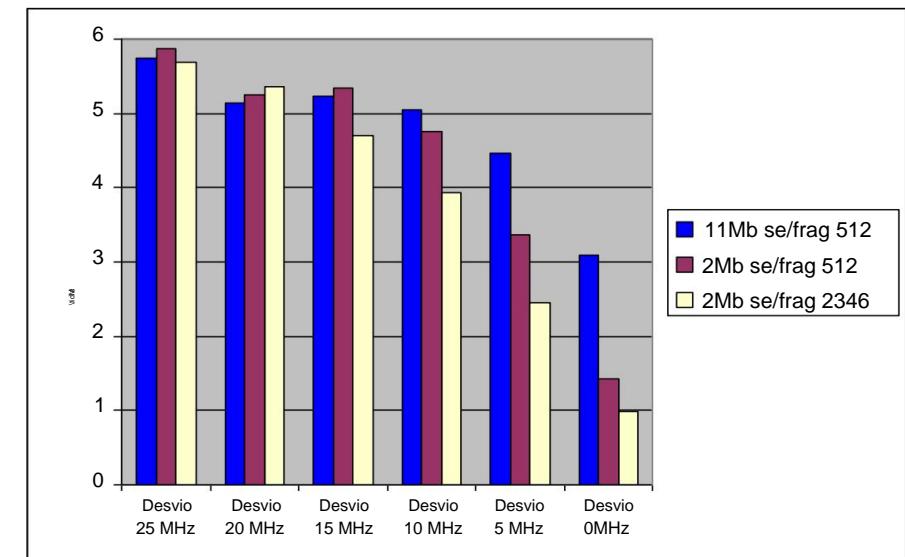
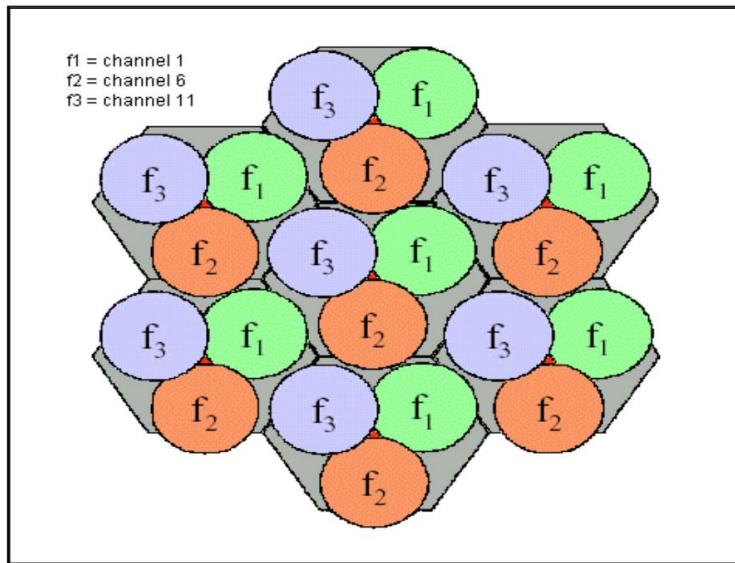


## Planejamento de frequência

- Interferência de outros sistemas ou células WLAN • IEEE 802.11 opera em banda ISM não controlada • 14 canais de 802.11 estão sobrepostos, apenas 3 canais estão desarticulados.

Por exemplo Ch1, 6, 11 • A taxa de transferência

diminui com menos espaçamento de canais • Um exemplo de alocação de frequência em redes multicelulares



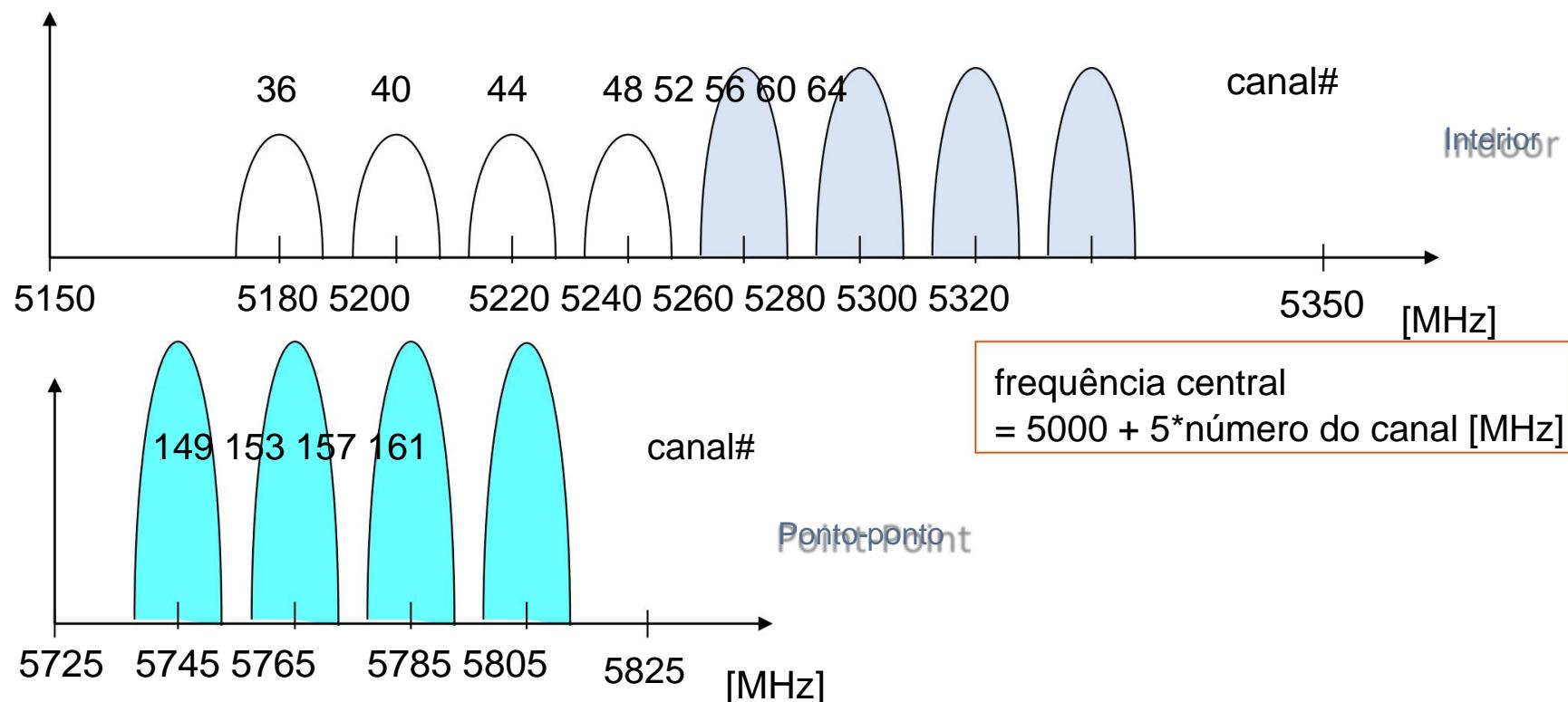


## 802.11 (5 GHz)

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



# Exemplo: canais físicos 802.11a



Maximum Power Output  
U-NII Band  
Frequency (GHz)





## Melhorias na camada de rádio WiFi 6

**Spectral Efficiency & Area Throughput**

- 1024 QAM  
25% increase in data rate
- DL/UL MU-MIMO w/ 8 clients
- 8x8 AP
- 2x increase in throughput

**High Density**

- Long OFDM Symbol
- OFDMA
- Spatial Reuse

**Power Saving**

- Scheduled sleep and wake times

**Outdoor / Longer range**

- Extended range packet structure
- Enhanced delay spread protection-long guard interval



# OFDMA – Divisão Ortogonal de Frequência Acesso Múltiplo

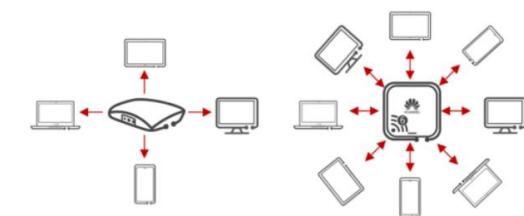
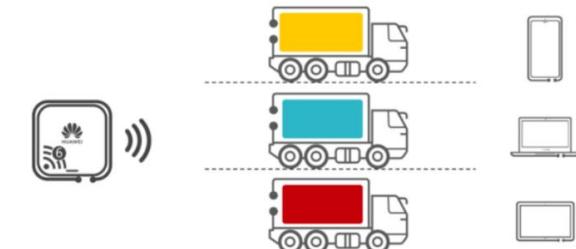
- Versão multiusuário do OFDM (multiplexação ortogonal por divisão de frequência) • Divide os recursos do canal em múltiplas unidades de recursos (RUs)
  - Diferentes usuários recebem esses RUs
  - Dados de vários usuários podem ser enviados em um canal simultaneamente
  - Novidade no Wi-Fi 6
  - Então: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





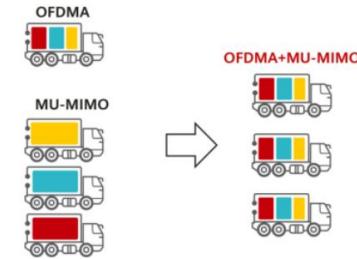
# MU-MIMO – Entrada Múltipla Multiusuário e Saída múltipla

- Introduzido no Wi-Fi 5
- O número de antenas nos APs é maior que nos terminais
  - Incapaz de aproveitar ao máximo os recursos do canal
  - Por exemplo: em 802.11ac, que é 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 (  $4 \times 433$  apenas em downlink)
  - Wi-Fi 6: 8x8 UL/DL MU-MIMO (  $8 \times 433$  em uplink/downlink)
- MU-MIMO





## OFDMA + MU-MIMO



- MU-MIMO

- Divide fisicamente os recursos da rede para aumentar a capacidade e a eficiência em alta aplicativos de 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 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: 160MHz
    - 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  
Operação Wi-Fi 7 usa 140, 262, 4096-QAM (12 bits → 1,2x +) • Wi-Fi 6 usa 1024-QAM (10 bits) ... • GHz + 6 GHz • Taxa de transmissão de pico : • Wi-fi 6: 9,6 Gbps • Wi-Fi 7: 23,06 Gbps (x2,4 vezes!)

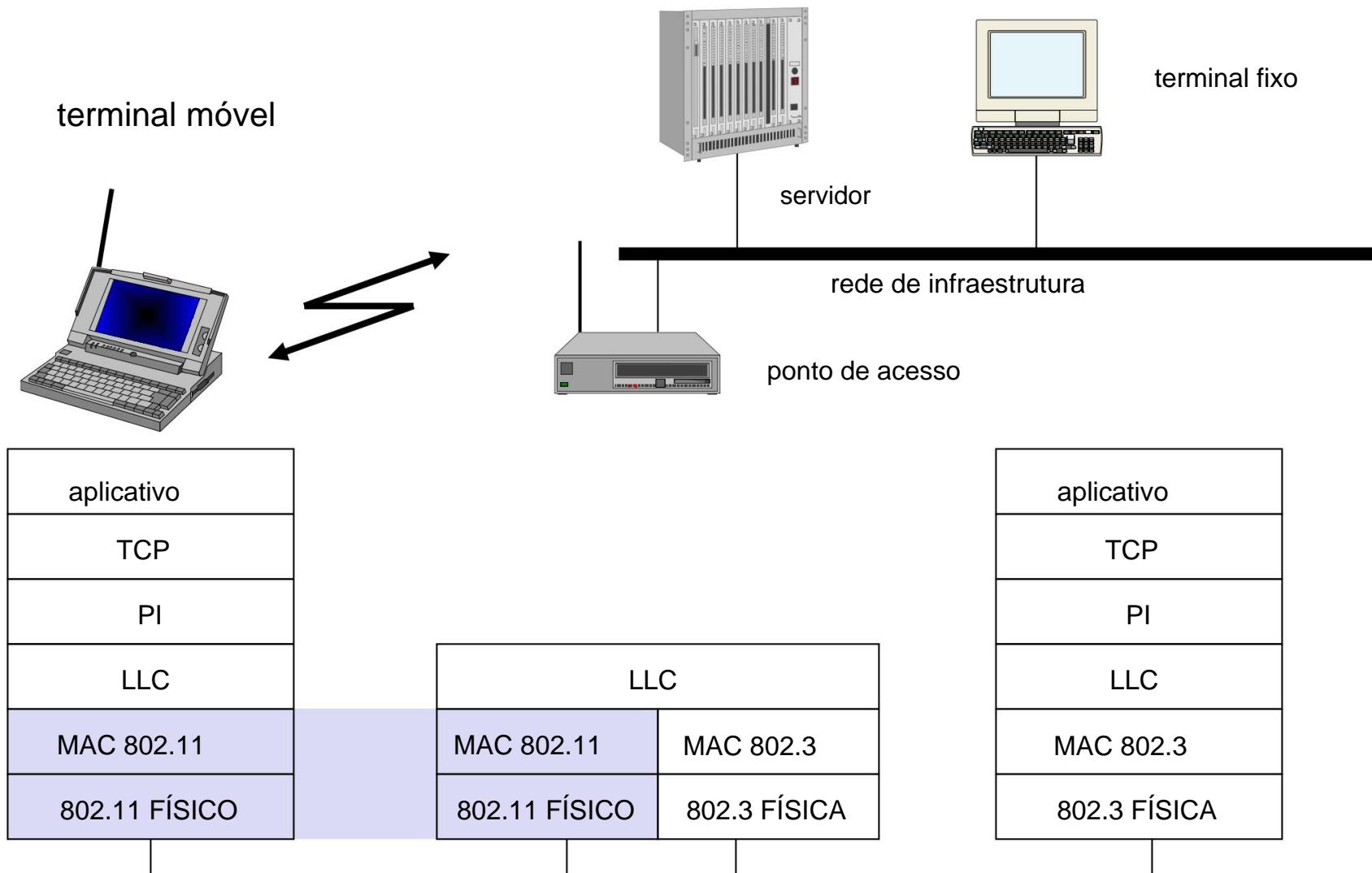


## Contorno

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



# 802.11- na pilha TCP/IP





## Visão geral do MAC 802.11

- Usa variante do Carrier Sense Multiple Access com Colisão Evitação (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 apropriados ou ocorrerá o tempo limite
- Dois modos de operação:
  - Rede infra-estruturada (ponto de acesso)
  - Redes Ad-Hoc (sem ponto de acesso)
  - Suporte para economia de energia
  - Wired Equivalent Privacy (WEP)
  - Gerenciamento MAC
  - Independente da camada física ou do modo de operação

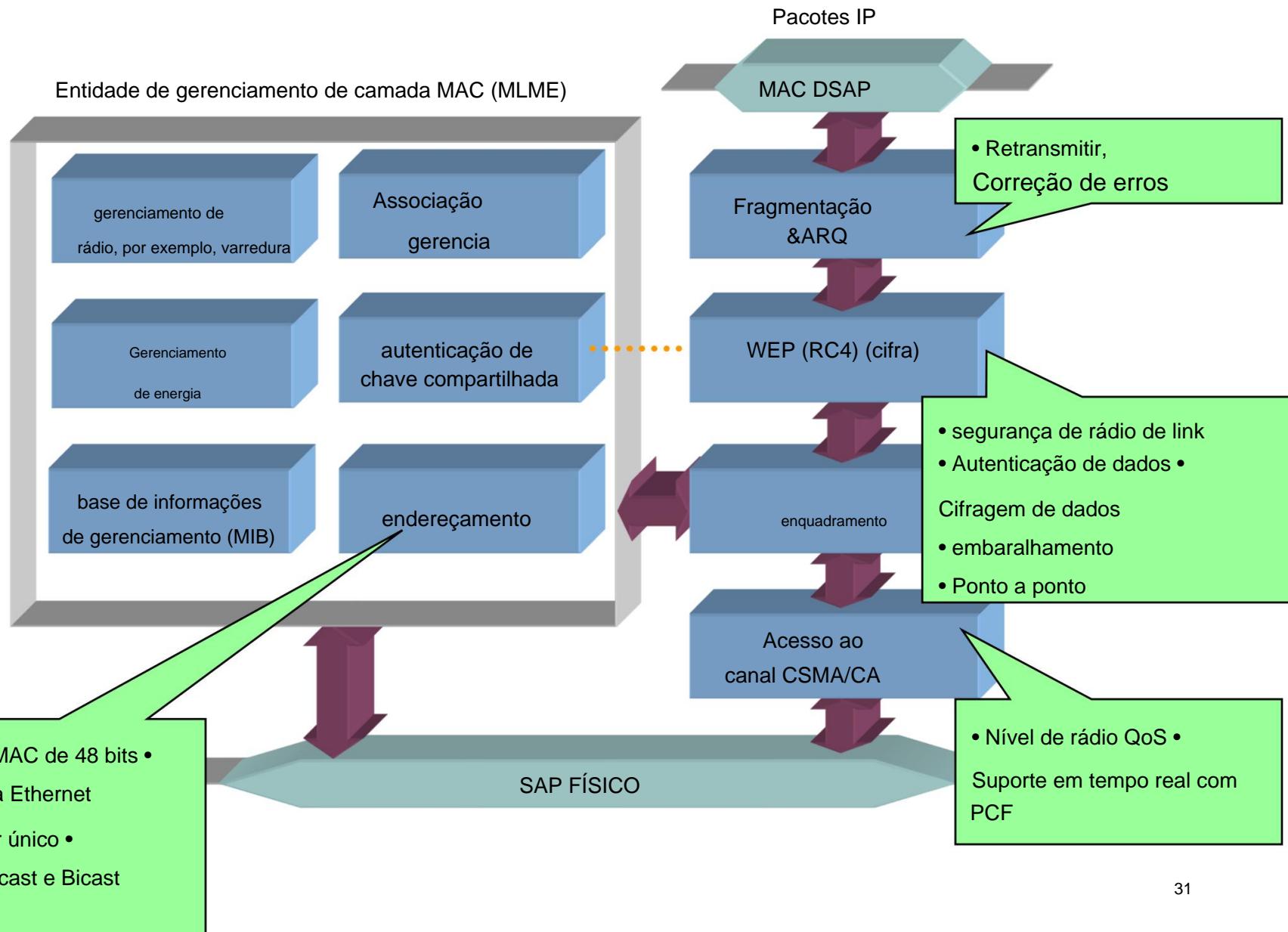


# Recursos do protocolo MAC 802.11

- Controle de acesso justo
  - Suporta funcionalidades de controle de acesso à mídia
    - Endereçamento
    - CSMA/CA
- Proteção de dados
  - Detecção de erros (FCS – Frame Check Sequence) •  
Compara número com valores recebidos •  
Correção de erros (frame ACK)
- Entrega confiável de dados •  
Fragmentação •  
Controle de fluxo: stop-and-wait (o próximo quadro só é enviado após um ACK do anterior ser recebido)



## MAC IEEE802.11



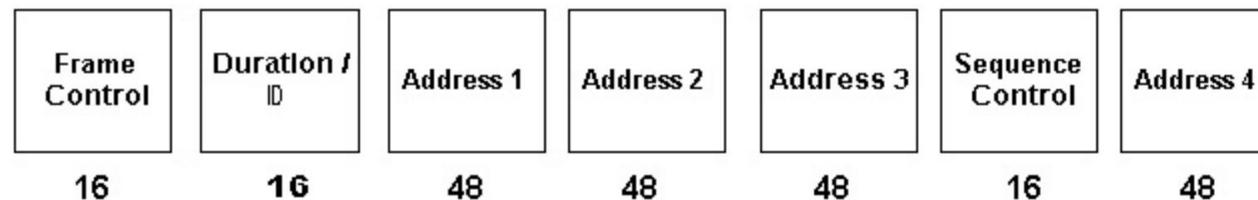


## Quadros 802.11 • Três tipos

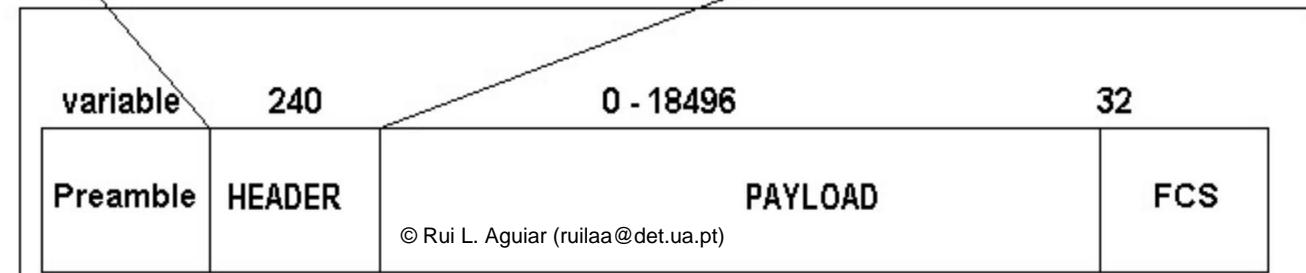
de quadros • controle: RTS, CTS, ACK

- Gerenciamento • Dados

- O cabeçalho depende do tipo de quadro

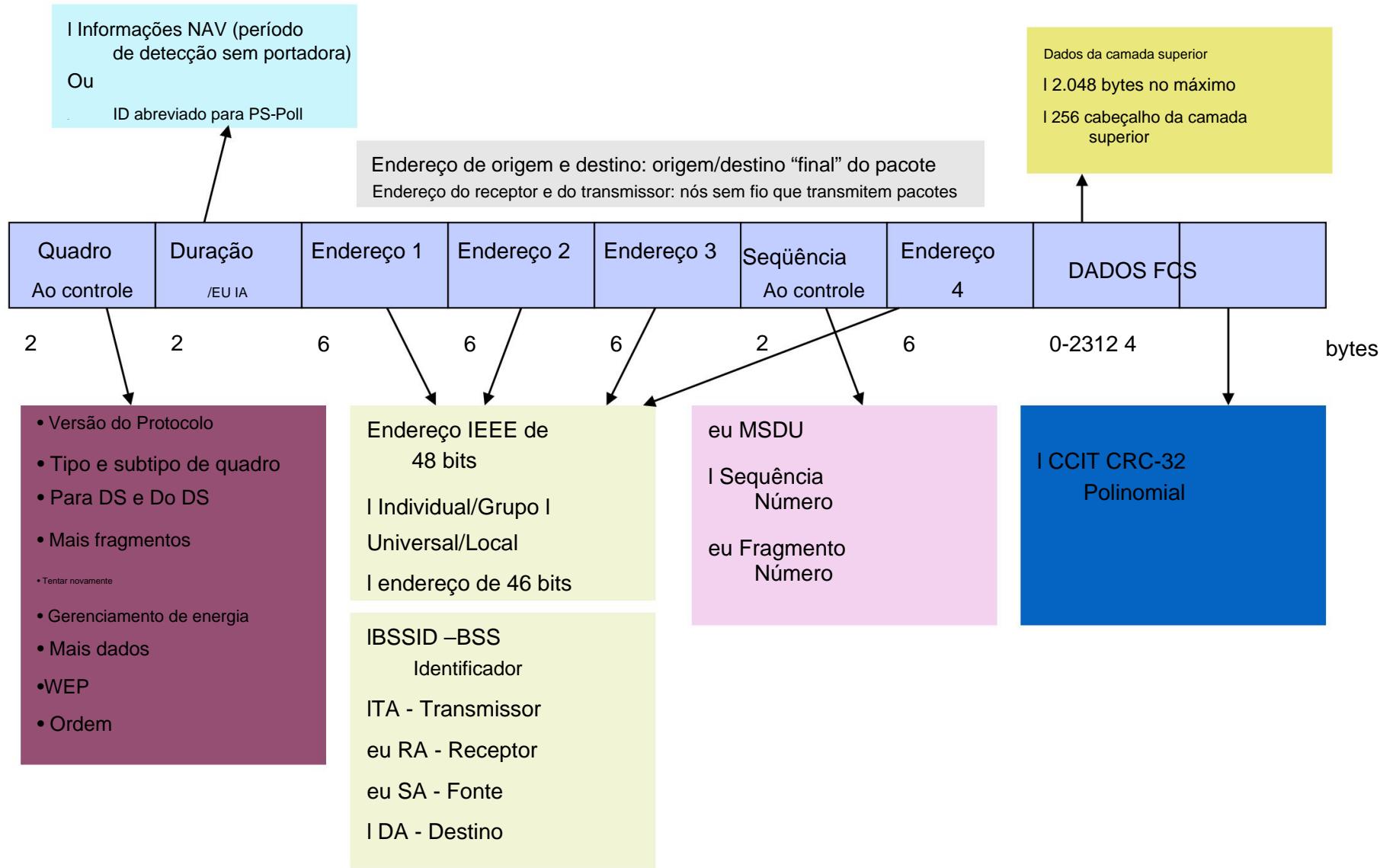


The 240 bit header may be truncated, based on specific frame type





## 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

CF ⇔ Livre de Contenção



## Mais alguns campos

- Duração/ID: A duração no modo/ID DCF é usada em PCF modo
- 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 é 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 adaptação às condições do canal • Tarifas específicas dependendo da versão
- Algoritmo para seleção da taxa não é definido pela norma – esquerda para fornecedores
- Os pacotes têm formato multitaxa
  - Diferentes partes do pacote são enviadas em taxas diferentes
- Preâmbulo curto versus 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



## Endereçamento de Campos

Para DS	De DS	Mensagem	Endereço 1	Endereço 2	Endereço 3	Endereço 4	
0	0	quadros estação a estação em um IBSS; todos os quadros de gerenciamento/controle	E	sobre	BSSID	N / D	
0	1	Do AP para a estação	E	BSSID	sobre	N / D	
1	0	Da estação para AP	BSSID	sobre	E	N / D	
1	1	De um AP para outro no mesmo DS	DA	VOLTADO PARA	E	sobre	

RA: Endereço do receptor

TA: Endereço do Transmissor

DA: Endereço de destino

PARA: Endereço de origem

BSSID: endereço MAC do AP em uma infraestrutura BSS



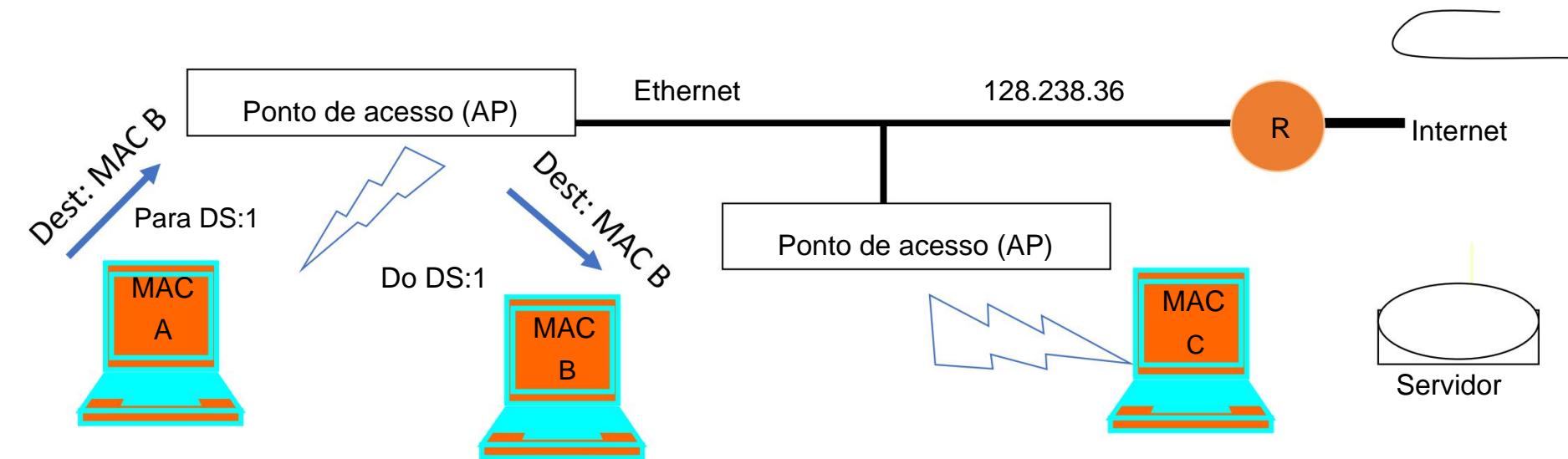
## Exemplos de fluxo de dados

- Caso 1: Pacote de uma estação sob um AP para outra no mesmo AP  
Área de cobertura
- Caso 2: Pacote entre estações em um IBSS
- Caso 3: Pacote de uma estação 802.11 para um servidor com fio no Internet
- Caso 4: Pacote de um servidor de Internet para uma estação 802.11



## Caso 1: Comunicação

Por dentro do BSS



- O AP sabe quais estações estão registradas nele para saber quando pode enviar o quadro diretamente para o destino

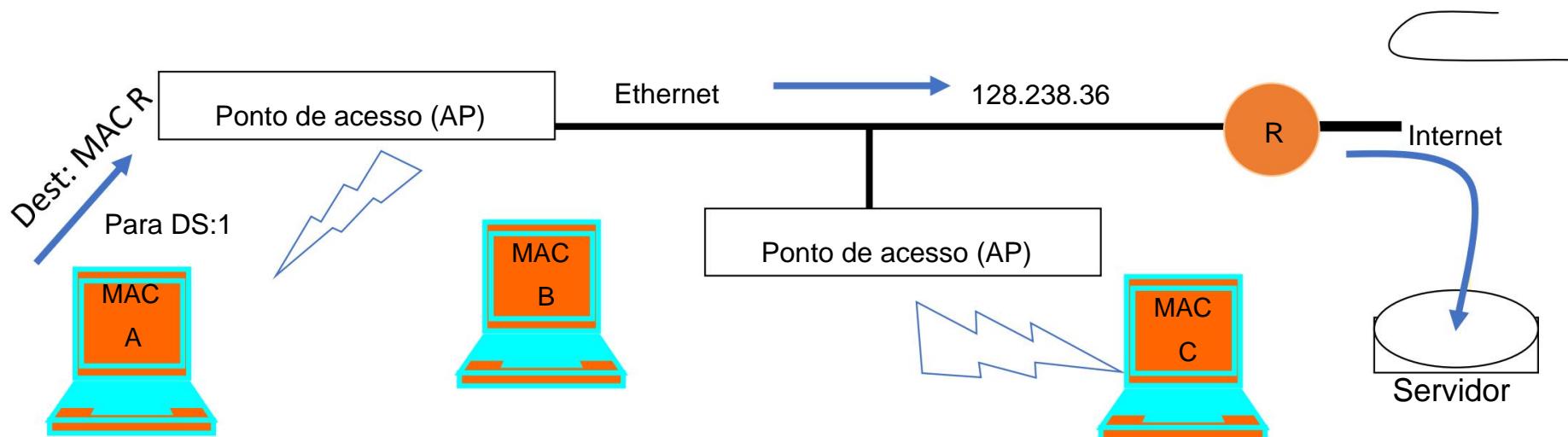


## Caso 2: Ad Hoc



- Transmissão direta somente em IBSS (BSS Independente), ou seja, sem PA
- Observação:
  - no modo de infraestrutura (ou seja, quando o AP está presente), mesmo que B possa ouvir A, A envia o quadro para o AP e o AP o retransmite para B

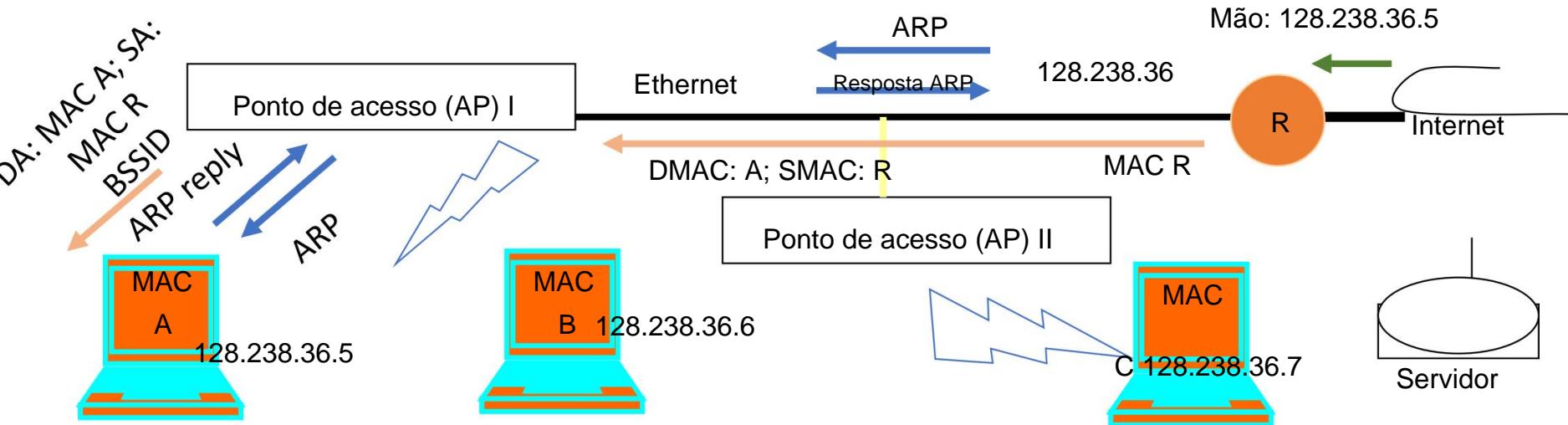
# Caso 3: Para a Internet



- MAC A determina o endereço IP do servidor (usando DNS)
- A partir do endereço IP, determina que o servidor está em uma sub-rede diferente. • Portanto, define MAC R como DA; • Endereço 1: BSSID, Endereço 2: MAC A; Endereço 3: DA
- O AP analisará o endereço DA e o enviará pela Ethernet
  - AP é uma ponte 802.11 para Ethernet
- O roteador R irá retransmiti-lo para o servidor



## Caso 4: Da Internet à Estação



- O pacote chega ao roteador R – usa ARP para resolver o endereço IP de destino
  - O AP não sabe nada sobre endereços IP, então simplesmente transmitirá ARP em sua rede sem fio link
  - DA = todos – endereço de broadcast no ARP
- MAC Um host responde com seu endereço MAC (resposta ARP) • O AP passa a resposta ao roteador
- O roteador envia pacotes de dados, que o AP simplesmente encaminha porque sabe que o MAC A está registrado



## Contorno

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

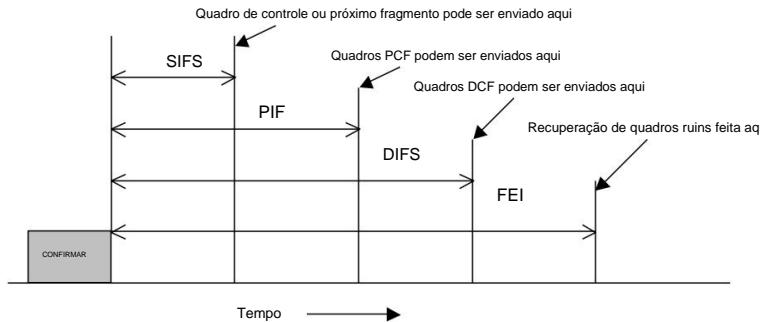


## Camada MAC

- Serviço de dados assíncronos (DCF) • CSMA/CA • RTS/CTS

- Serviço controlado por tempo (PCF) • Pesquisa

- Espaçamento entre quadros (IFS) • DIFS (distribuído), para o nó iniciar a transmissão • PIFS (ponto), utilizado pelo PCF para acesso à rede • SIFS (curto), entre pacotes do mesmo fluxo



DCF: Função de Coordenação de Distribuição

PCF: Função de Coordenação de Ponto

DIFS: Espaçamento entre quadros DCF

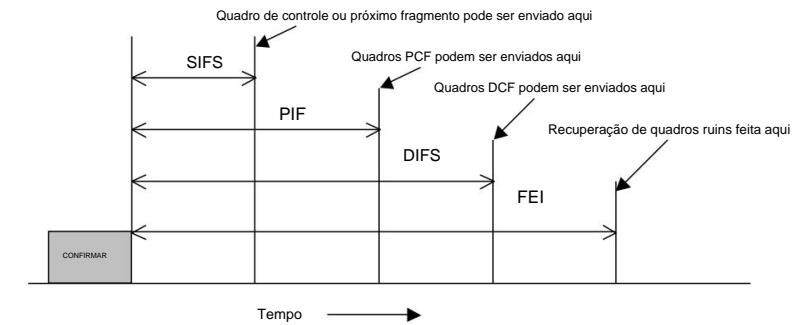
PIFS: Espaçamento entre quadros PCF

SIFS: espaçoamento curto entre quadros



## Acesso Múltiplo ao Carrier Sense

- Antes de transmitir um pacote, detecte a portadora
  
- Se estiver ocioso, envie
  - Depois de esperar por um espaçamento entre quadros DCF (DIFS) • Se estiver ocupado, então
    - Aguarde até que o meio fique ocioso para um DIFS (DCF IFS) período
    - Passe pela espera exponencial e depois envie
      - Quer evitar que várias estações esperando para transmitir colidam automaticamente
  - Aguarde ACK
    - Se houver, você terminou
    - Se não houver, suponha que houve uma colisão, retransmita usando espera exponencial



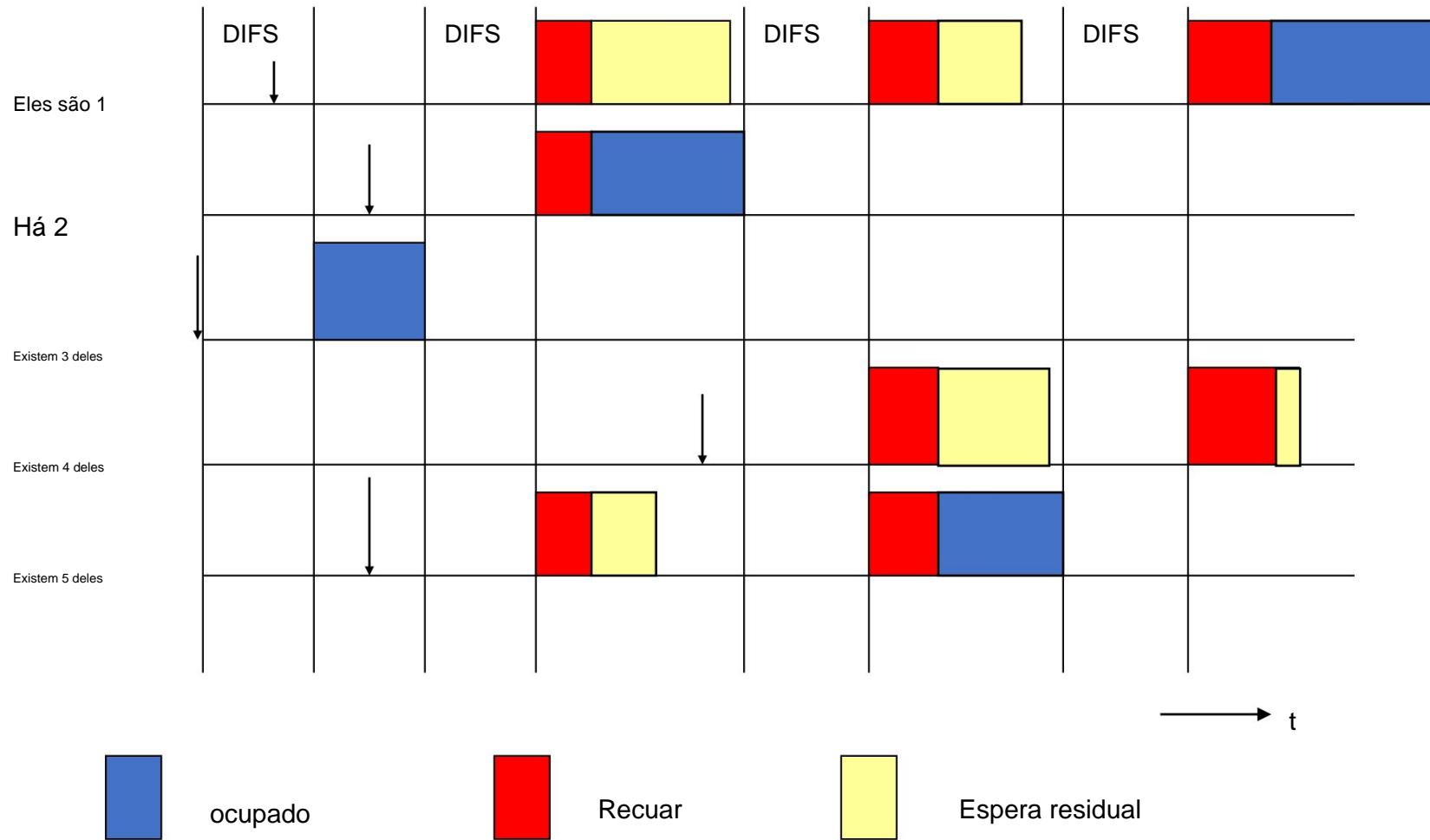


# Recurso exponencial

- Forçar as estações a esperar por um período de tempo aleatório para reduzir a chance de colisão
  - O período de espera aumenta exponencialmente após cada colisão
  - Semelhante à Ethernet
- Se o meio for detectado como ocupado:
  - Aguarde que o meio fique ocioso por um período DIFS (DCF IFS)
  - Escolha um número aleatório na janela de contenção (CW) = contador de espera
  - Diminua o temporizador de espera até atingir 0
    - Mas congele o contador sempre que o meio ficar ocupado.
  - Quando o contador chegar a 0, transmita o quadro.
  - Se duas estações tiverem seus temporizadores chegando a 0; ocorrerá colisão;
- Após cada tentativa de retransmissão malsucedida:
  - aumente exponencialmente a janela de contenção •  $2^{i-1}$  começando com CWmin até CWmax , por exemplo, 7, 15, 31, ...



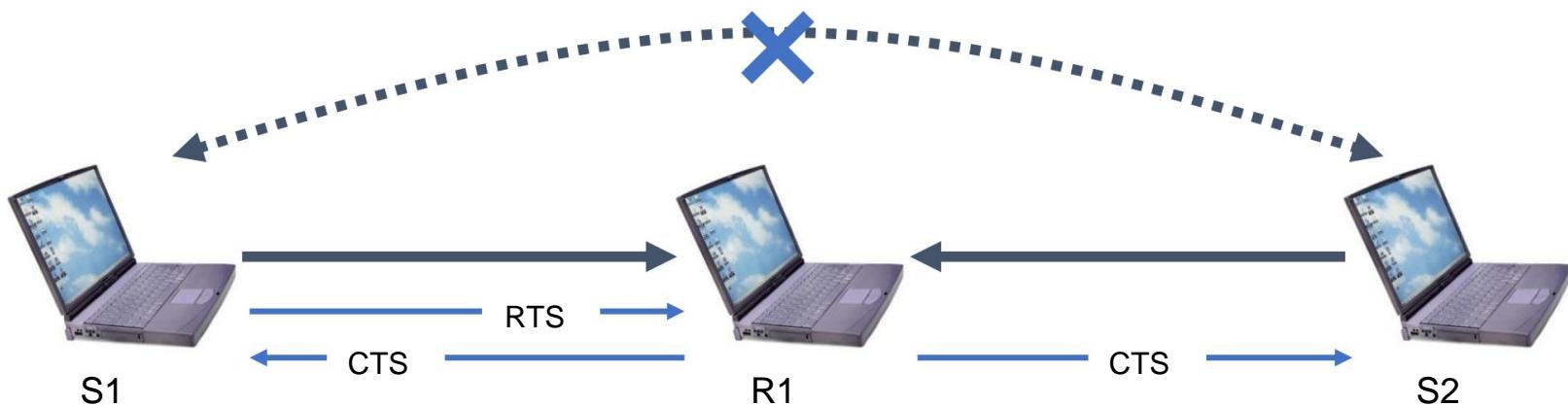
## CSMA/CA





## Prevenção de Colisões

- Difícil detectar colisões em um ambiente de rádio
  - Durante a transmissão, uma estação não consegue distinguir sinais fracos de ruído – seu próprio sinal é muito forte
- Por que acontecem as colisões?
  - Transmissões quase simultâneas
    - Período de vulnerabilidade: atraso de propagação
  - Situação de nó oculto: dois transmissores não conseguem ouvir um ao outro e sua sobreposição de transmissão em um receptor





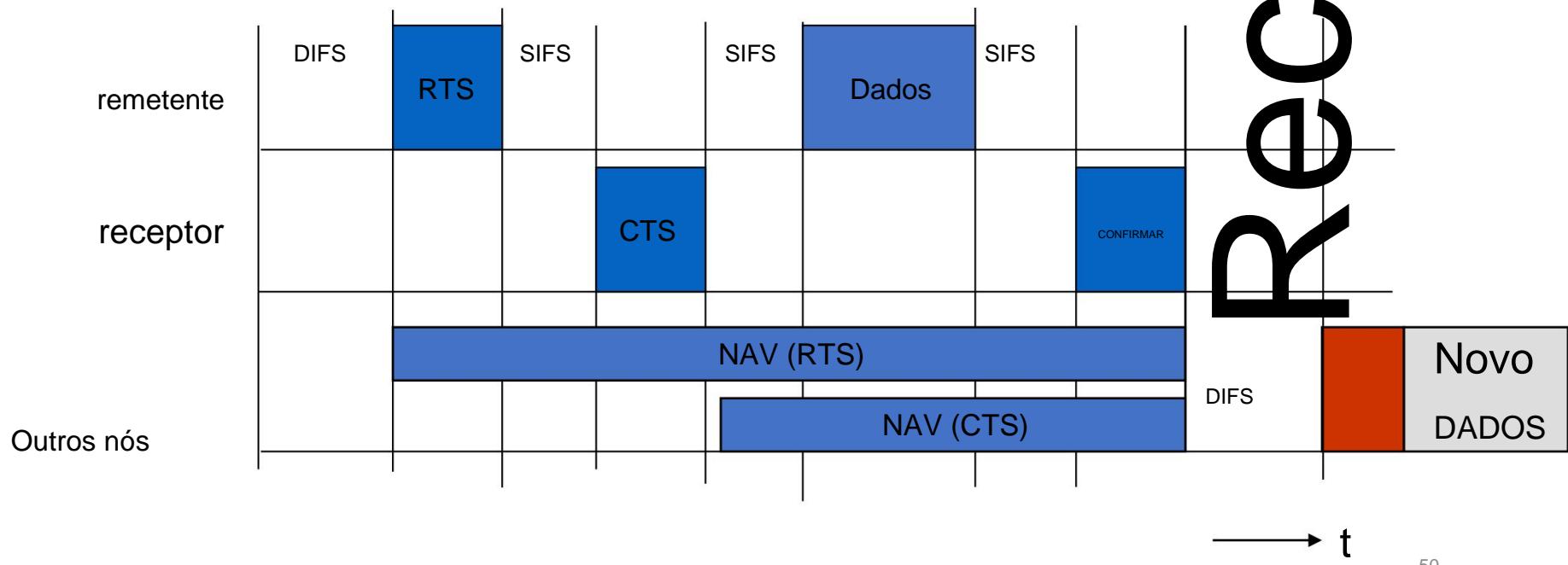
## Solicitar para enviar e liberar para enviar

- Antes de enviar um pacote, uma estação primeiro envia um RTS.
- A estação receptora responde com um CTS. • RTS e CTS  
são menores que pacotes de dados
  - RTS e CTS usam IFS mais curtos para garantir acesso
- Estações que ouvem o RTS ou o CTS  
“lembra” que o meio estará ocupado durante a transmissão
  - Com base em um ID de duração no RTS e CTS
- Detecção de Portadora Virtual: estações mantêm Rede  
Vetor de Alocação (NAV)
  - Tempo que deve decorrer antes que uma estação possa amostrar o canal para  
status inativo



# RTS/CTS: NAV

- NAV: Vetor de Alocação de Rede
- O NAV atua como um registro de alocação de recursos distribuído (em cada nó).
- RTS/CTS
- Não é uma preocupação “grande”

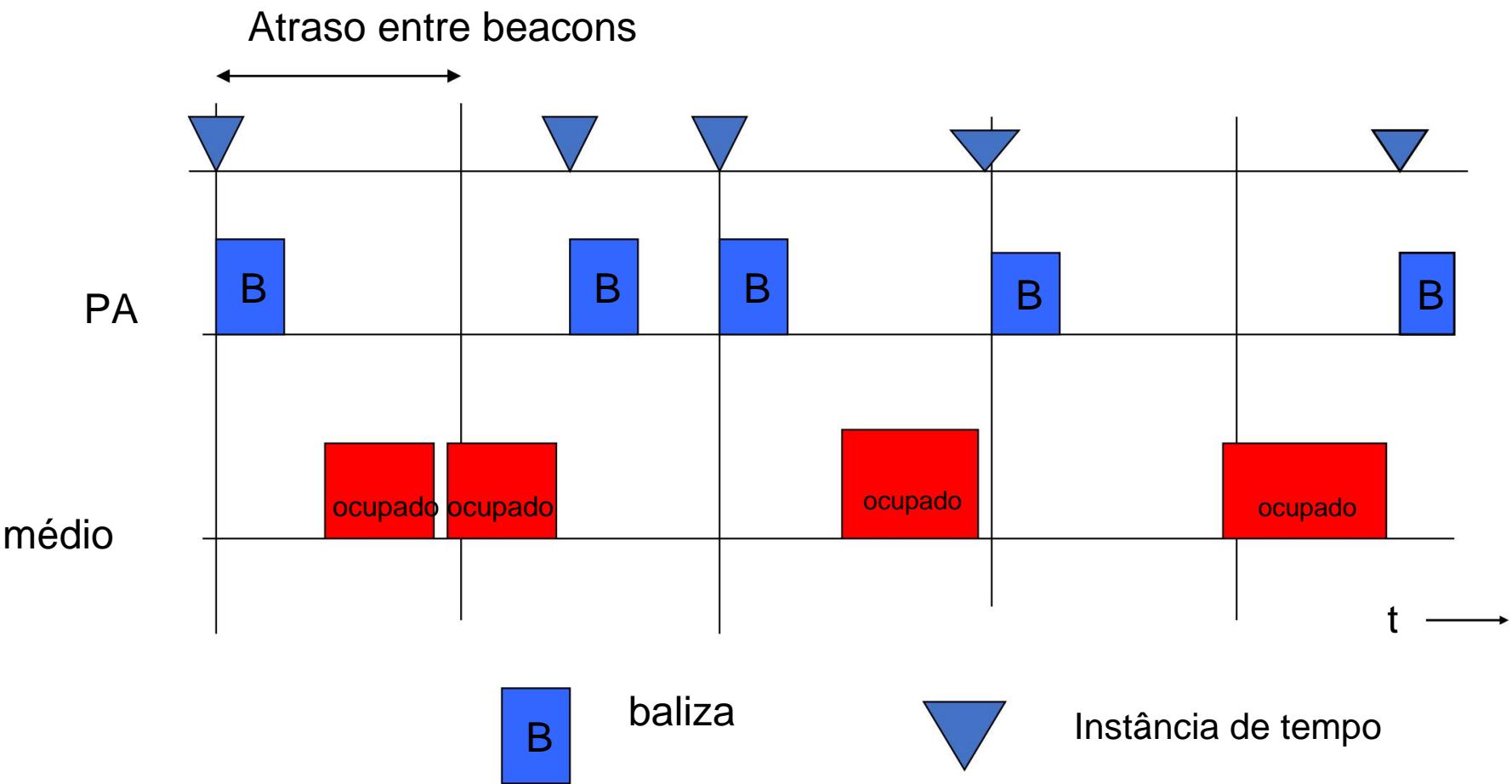




# Sincronização

- Função de sincronização de tempo (TSF)
  - Os beacons do AP são enviados em instantes bem definidos.
  - O conteúdo do pacote é o instante exato em que ele chega à rede. • Usado também para gerenciamento de energia
  - Todos os relógios de todas as estações no BSS são sincronizados • Isto permite que o STA acorde para verificar se existem pacotes.

# Sincronização





# Contorno

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

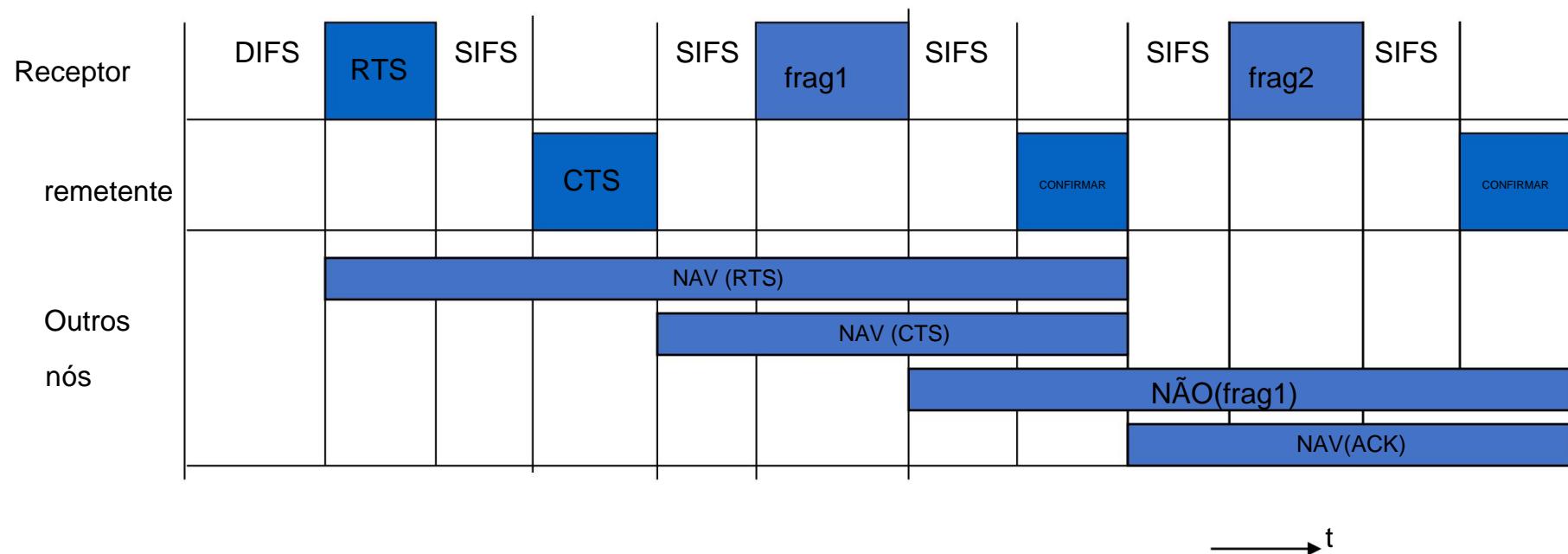


# Mais alguns recursos MAC

- O uso de RTS/CTS é controlado por um limite de RTS
  - O RTS/CTS é usado apenas para pacotes de dados maiores que o limite do RTS. • Não faz sentido usar o RTS/CTS para pacotes de dados curtos – alto overhead!
- O número de novas tentativas é limitado por um contador de tentativas
  - Contador de novas tentativas curto: para pacotes menores que o limite do RTS
  - Contador de novas tentativas longo: para pacotes maiores que o limite do RTS
- Os pacotes podem ser fragmentados.
  - Cada fragmento é reconhecido • Mas todos os fragmentos são enviados em uma sequência • O envio de quadros mais curtos pode reduzir o impacto de erros de bit
  - Temporizador de vida: tempo máximo para todos os fragmentos do quadro



## Fragmentação



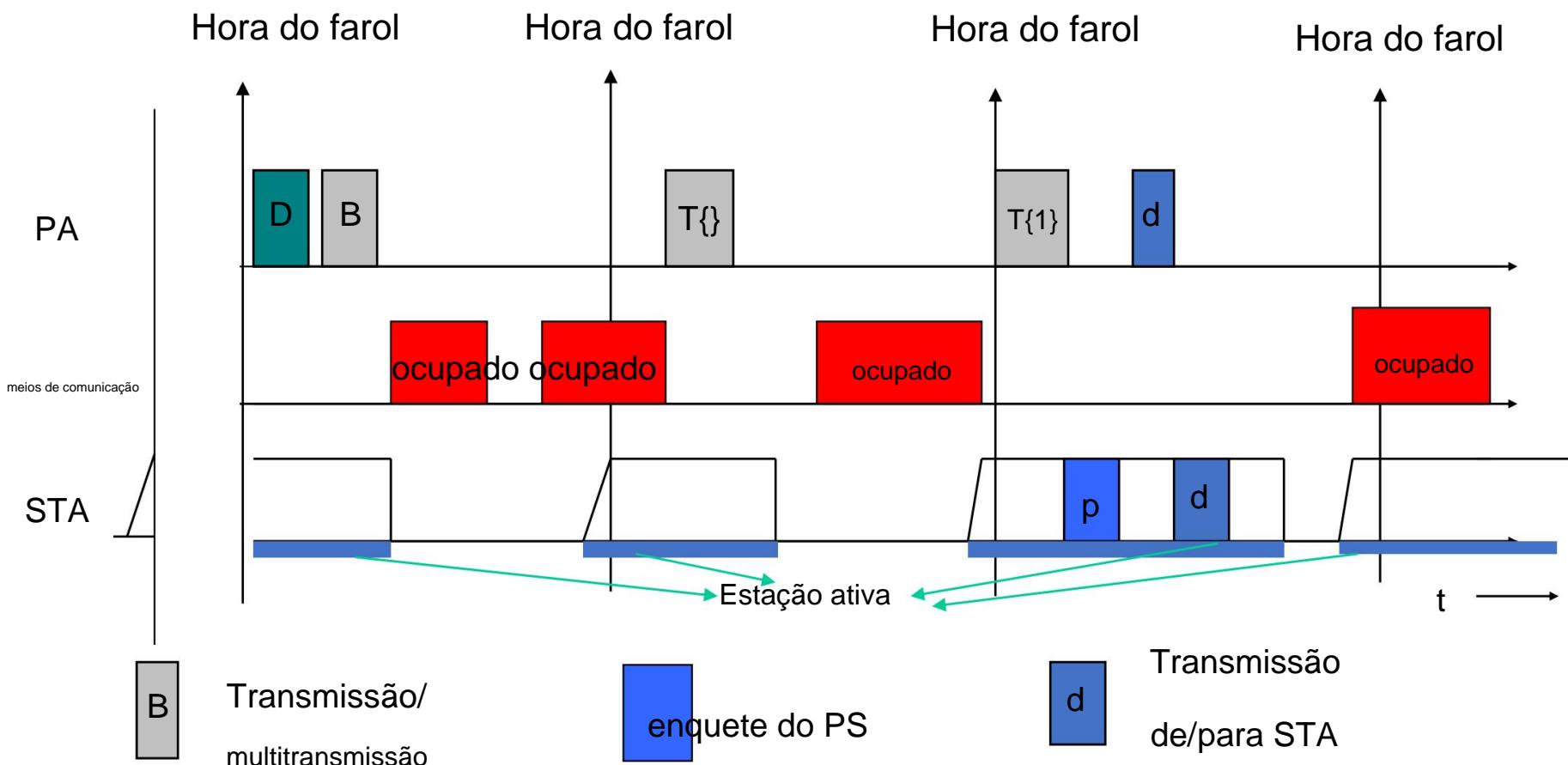


## Gerenciamento de energia (infraestrutura)

- Pacotes de buffer de APs para estações em modo de economia de energia
  - APs anunciam em beacons quais pacotes estão aguardando com o TIM (Mapa de indicação de tráfego)
  - Quadros de transmissão/multicast também são armazenados em buffer no AP
    - Enviado após beacons, mesmo período de tempo comum.
    - Utiliza Mapa de Indicação de Tráfego de Entrega (DTIM)
    - O AP controla o intervalo DTIM
- STA em modo de economia de energia é despertada periodicamente para escutar beacons
  - Caso tenha dados pendentes, envie um PS-Poll
  - AP envia dados em buffer para esta sondagem PS
- TSF (Função de Sincronização de Tempo) garante que o AP e as estações estejam sincronizados
  - Sincroniza relógios dos nós no BSS



## Gerenciamento de energia





Como uma estação se conecta a um ponto de acesso?



## Serviços de controle no MAC

- Sincronização, Roaming e Associação • Funções para encontrar uma rede
  - Alterar APs. •
  - Pesquisar APs.
- Gerenciamento de energia •  
modo de suspensão sem perda de pacotes
  - Funções de gerenciamento de energia
- MIB: base de informações de gerenciamento •

Segurança: autenticação e criptografia



## SSID

- Mecanismo usado para segmentar redes sem fio
  - Várias redes sem fio independentes podem coexistir no mesmo localização
- Cada AP é programado com um SSID que corresponde a sua rede
- O computador cliente apresenta o SSID correto para acessar o AP •

### Comprometimentos de segurança

- O AP pode ser configurado para “transmitir” seu SSID
- A transmissão pode ser desabilitada para melhorar a segurança
- O SSID pode ser compartilhado entre usuários do segmento sem fio



## Gerenciamento de associação: digitalização

- A digitalização é necessária para:
  - Encontre e conecte-se a redes
  - Encontre um novo AP durante roaming
- Varredura passiva: • A estação simplesmente escuta o Beacon e obtém informações do BSS. A energia é salva.
- Varredura Ativa: • Estação transmite Solicitação de Sonda; provoca resposta de sondagem do AP. Economizar tempo.



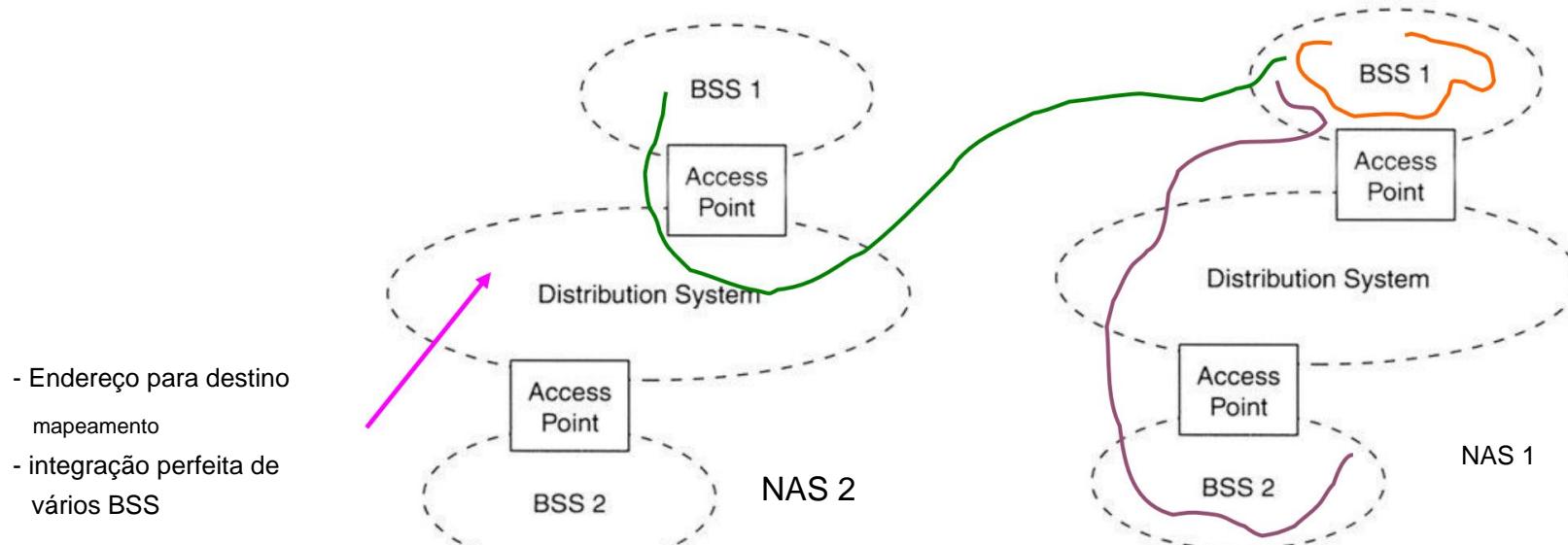
# Gestão da Associação: Digitalizando e juntando

- A estação deve se associar a um AP antes de poder usar a rede
  - O AP deve saber sobre eles para poder encaminhar pacotes
- Reassociação (roaming): a associação é transferida
  - Suporta mobilidade no mesmo ESS
- Desassociação: estação ou AP pode terminar Associação
- As estações podem detectar AP com base na varredura
- Participar de um BSS
  - Sincronização no campo Timestamp e frequência (ou seja, canal): • Adote parâmetros PHY
  - Outros parâmetros: BSSID, WEP, Período de Beacon, etc.



# Mobilidade IEEE 802.11

- Padrão define os seguintes tipos de mobilidade:
  - Sem transição: nenhum movimento ou movimentação dentro de um BSS local
  - Transição BSS: a estação se move de um BSS em um ESS para outro BSS dentro do mesmo ESS
  - Transição ESS: a estação se move de um BSS em um ESS para um BSS em um diferente ESS (roaming contínuo não suportado)





## Roaming

- Roaming: estação muda de rede (BSS) • STA pode  
ir: • Fora da área  
de cobertura do seu AP • Mas ainda sob a  
área de cobertura de outro AP
- Reassociar a STA ao novo AP permite que a comunicação  
continuar



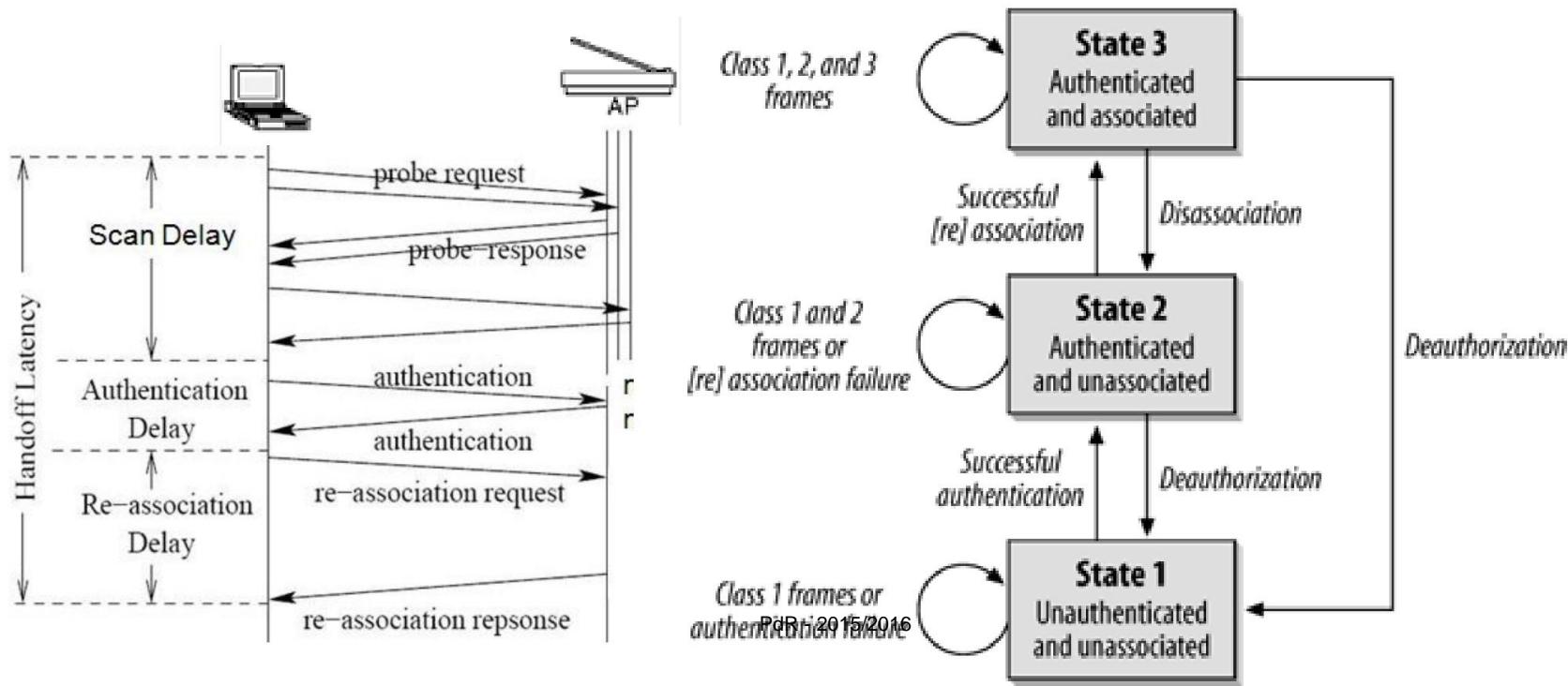
# Roaming

- A STA decide que o sinal do AP atual está ruim.
- STA faz varredura (act/pas) para encontrar novo AP
- STA reassocia-se ao Novo AP (NAP)
  - Inclui autorização.
- Sem resposta positiva
  - STA faz nova varredura
- Com resposta positiva:
  - STA mudou de rede para o novo NAP
  - AP informa o ESS sobre a nova associação. • As informações no sistema distribuído são sempre atualizadas.



## Anexo a um BSS

- A STA encontra um BSS/AP por meio de varredura/sondagem
- Tanto a autenticação quanto a associação são necessárias para inserir um BSS





## Fase 1: Digitalização

- A STA procura por APs
  - Verificação Passiva
    - STA analisa canais em busca de pacotes Beacon, que são enviados periodicamente pelo AP, anunciando sua presença e SSID
  - Varredura Ativa • STA
    - envia pacotes de Solicitação de Sonda para todos os canais em sequência
    - Os APs que escutam nesses diferentes canais respondem com uma Resposta de Sonda



## Fase 2: Autenticação

- Depois de encontrar e selecionar um AP, a STA deve autenticar-se com ele.

Dois métodos principais:

- Método 1: Autenticação de Sistema Aberto •

Procedimento padrão, executado em 2 passos:

- 1 - STA envia um frame de autenticação incluindo sua identidade
- 2 - AP responde com um frame como Ack/NAck

- Método 2: Autenticação de chave compartilhada •

STA e AP possuem um segredo compartilhado, obtido de alguma outra forma

- 1 – STA envia uma solicitação de autenticação

inicial

- 2 – AP responde ao STA com um desafio

- 3 – STA decifra o desafio com seu própria chave e envia para o AP
- 4 – AP usa sua própria chave para decifrar o desafio e comparar resultados



## Fase 3: Associação

- Após autenticada, a STA inicia o processo **de associação**, ou seja, troca informações de roaming e capacidade entre STA e AP
- Procedimento:
  - 1 – STA envia uma **solicitação de associação** ao AP, indicando taxas de transmissão suportadas e SSID de associação pretendido
  - 2 – AP aloca recursos e decide se aceita ou rejeita a STA • 3 – AP envia uma **Resposta de Associação**, indicando a identificação da associação e taxas de transmissão suportadas, caso a associação seja aceita • 4 (opcional) – Em caso de handover (transição da STA entre dois APs diferentes), o novo AP informa o antigo AP
- Somente após associar-se ao AP, a STA pode começar a enviar e receber dados



## Como estender o alcance do Wi Fi?



# “Extensores” Wi-Fi.

- Barato
- Eles configuram um novo SSID e encaminham todo o tráfego para o SSID original
- Configurações multi-hop são possíveis
  - Exigir configuração manual
- Porque o ponto de acesso original e o extensor têm diferentes SSIDs
  - Muitos dispositivos não se conectam automaticamente ao que estiver mais próximo
  - Eles preferem manter a conexão com o SSID original até que o sinal desaparece
  - Isto é, para muitos utilizadores móveis, razão suficiente para desistir desta estratégia.

<http://intronetworks.cs.luc.edu/current2/mobile/wireless.html>



## Malha

- Diferentes padrões

- Padrão IEEE 802.11s

- Concentra-se na configuração das redes mesh • Usa um protocolo de roteamento obrigatório – Hybrid Wireless Mesh Protocol • As estações Mesh podem colocar APs 802.11 e fornecer acesso à rede mesh para Dispositivos 802.11

- Um Mesh Gateway interconecta a malha a outras redes não 802 • Padrão Wi-Fi Alliance (também conhecido como “EasyMesh”)

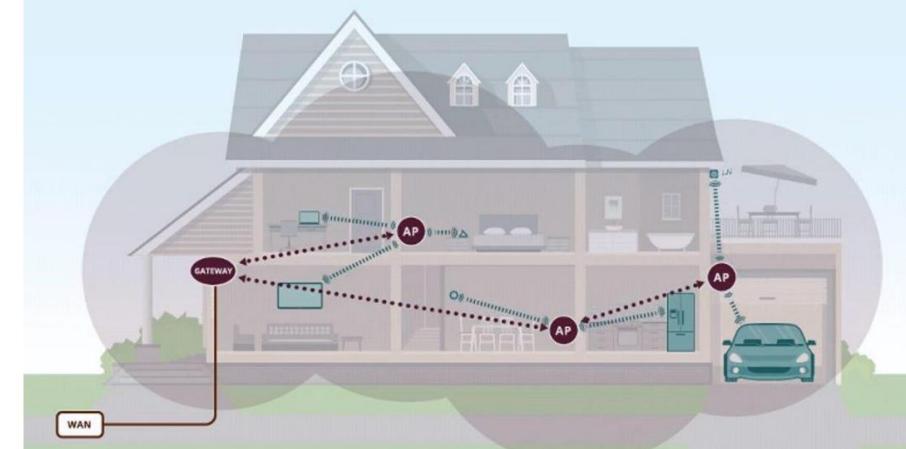
- Concentra-se em uma configuração mais “fácil” de redes WiFi mesh
      - incorpora partes do padrão IEEE 1905.1 para redes domésticas, o que simplifica configuração.
    - Especifica que um ponto de acesso – aquele conectado à Internet – será um “Multi Controlador AP”
    - os demais pontos de acesso são chamados de Agentes. • O padrão EasyMesh também



## Wi-Fi EasyMesh

- Programa de certificação WiFi Alliance que define vários pontos de acesso para redes Wi-Fi domésticas e de pequenos escritórios que são fáceis de instalar e usar, auto-adaptáveis e adicionam interoperabilidade entre vários fornecedores.
- Esta tecnologia proporciona aos consumidores e aos prestadores de serviços flexibilidade adicional na escolha de dispositivos Wi-Fi EasyMesh para implementação doméstica.
- O Wi-Fi EasyMesh utiliza um controlador para gerenciar a rede, que consiste no controlador, além de APs adicionais, chamados de agentes.
- O estabelecimento de controladores para gerenciar e coordenar as atividades entre os agentes garante que cada AP não interfira no outro, proporcionando uma cobertura ampliada e uniforme e um serviço mais eficiente.

**Wi-Fi CERTIFIED EasyMesh™:**  
Smart, extended coverage home Wi-Fi®





A especificação EasyMesh depende de outros padrões/especificações, seja estendendo-os ou simplesmente referenciando-os.

Isso inclui, principalmente:

- Desenvolver e ampliar o padrão IEEE 1905.1 para configurar interfaces de ponto de acesso Wi-Fi
  - **Descoberta:** como os nós estão se encontrando e identificando o controlador
  - **Configuração por botão:** para inicializar a "integração" de pontos de acesso - o processo comumente chamado de "malha"
  - **Comunicação Backhaul:** Comunicação entre os nós / pontos de acesso na rede mesh

[Padrão IEEE 1905.1, Rede Doméstica Digital Convergente para Tecnologias Heterogêneas.](#)



# Padrão IEEE 1905.1, casa digital convergente Rede para Tecnologias Heterogêneas.

- Essa tecnologia permite que dispositivos em rede conectados por diferentes meios de rede (por exemplo, Gigabit Ethernet de 2,4 GHz e Wi-Fi de 5 GHz) operem como se estivessem conectados em uma única rede. No EasyMesh, os controladores utilizam os dados dele para configurar os rádios AP de cada agente. Também inclui mecanismos para configurar políticas relacionadas ao controle dos agentes, como métricas e orientação. Além disso, o controlador determina a topologia da rede de agentes, para que possa se adaptar às mudanças nas condições da rede.
- também utilizar mecanismos da nova Wi-Fi Alliance Agile Multibanda padrão. Os novos dispositivos certificados Agile Multiband funcionarão melhor à medida que forem movidos de um ponto a outro com direção inteligente e transições de rede mais rápidas.

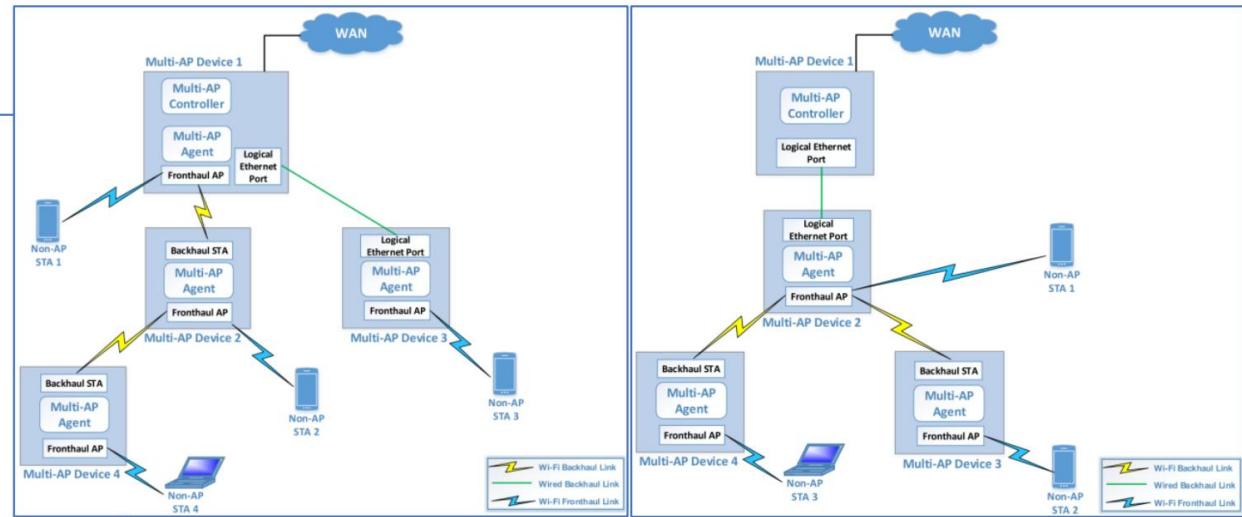
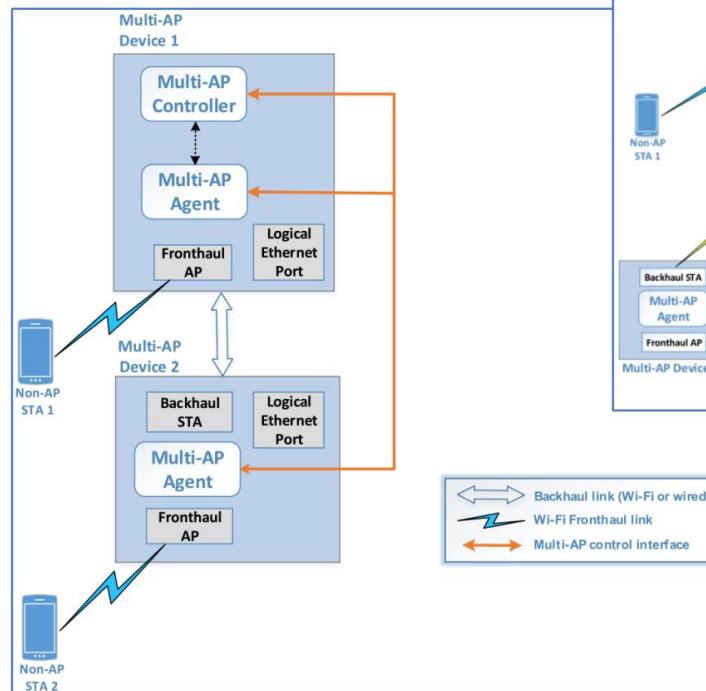


## Arquitetura e componentes

- Controlador – toda rede EasyMesh deve ter um. O controlador pode ser um dispositivo único ou incorporado em um dispositivo que também possui outras funcionalidades
- Agente - para que exista uma rede mesh, pelo menos dois agentes devem estar conectados ao controlador
- Dispositivo - qualquer componente de uma rede mesh, quer contenha um controlador, um agente ou ambos



# Exemplos de implantações



Especificação Wi-Fi EasyMesh™  
v4.0 Aliança Wi-Fi



- a especificação toma decisões não padronizar algoritmos ou
- Como fazer a orientação do cliente constitui uma parte significativa do especificação, informando aos fabricantes como direcionar um cliente de um ponto de acesso para outro.
- Quando um cliente deve ser orientado não está coberto. Portanto, os algoritmos ainda irão variar (e os mecanismos de roaming do cliente ainda podem interferir).



## NETWORK OPERATION MECHANISMS

VELUP  
WHOLE HOME WI-FI

Network operation mechanisms are needed to create and maintain a self-optimizing network that maximizes performance and improves client roaming

- **Capability reporting** - The master node uses the information sent by other nodes to maintain optimal network performance. Based on network conditions reported by the nodes in the network, the master node could send control commands to one or more nodes to move to a different channel, decrease transmit power, or report bandwidth utilization
  - **Channel selection** - The Wi-Fi EasyMesh controller obtains preferred operating channels for the nodes and sets the operating configuration(such as channels, transmit power, etc.) including preferences and restrictions for each radio in the nodes
  - **Link metric collection** - Defines the protocol for network devices to convey link metric information associated with the network
  - **Client steering** - Master Node may choose to send control messages to "steer", or suggest, a client move its connection from one node to another
-  **Optimizing connection between agents** - Manage the connections between nodes by selecting the best path (wired, wireless, or mixed) between nodes to optimize the network