

Redes sem Fio

Tecnologia em Redes de Computadores
Prof. Macêdo Firmino

Aula 11
Padrões IEEE 802.11

“Não espere por uma crise para descobrir o que é importante em sua vida.” (Platão)



O que Aprenderemos?

- Conhecer o padrão IEEE 802.11;
- Descobrir o histórico da tecnologia;
- Aprender suas arquitetura e faixa de frequência utilizadas;
- Conhecer as principais tecnologias da camada física;
- Aprender as principais característica da camada de enlace.

Depois de sabermos que as ondas eletromagnéticas poderiam levar informações, como elas podem ser geradas, como podemos utilizar antenas para inserir e/ou captar elas no espaço, o comportamento e os efeitos das ondas eletromagnéticas durante a transmissão, agora iremos discutir os protocolos (conjunto de regras) que fazem uso desta tecnologia para transmitir as nossas informações.

Em 1997, surgiu um dos primeiros protocolos para transmissão sem fio que foi o IEEE 802.11. Ele teve como objetivo a definição das camadas física e de enlace de dados do modelo de referência OSI para redes locais sem fio (WLAN). Ele foi especificado inicialmente para operar na faixa de frequência de 2,4 GHz com taxa de dados de 1 Mbps e 2 Mbps.

- Em 1999, o IEEE publicou os suplementos 802.11a e 802.11b, que estenderam a taxa de transmissão para 54 e 11 Mbps, respectivamente. O 802.11b mantém a operação a 2,4 GHz, enquanto que o 802.11a passa a operar na frequência de 5 GHz.
- Em 2002, surgiu o Wi-Fi Alliance, que é uma aliança entre vários fabricantes com o objetivo garantir promover a tecnologia 802.11 e certificar produtos visando garantir interoperabilidade entre diferentes fabricantes.
- Em 2003, o IEEE publicou o 802.11g que opera com taxa de transmissão de 54 Mbps usando a frequência de 2,4 GHz;

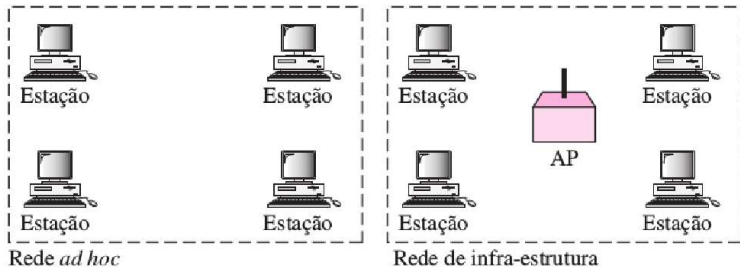
História

- Em 2004, a especificação 802.11i aumentou consideravelmente a segurança, definindo melhores procedimentos para autenticação, autorização e criptografia;
- Em 2009, o IEEE publicou o 802.11n que opera nas faixas de frequência de 2,4GHz e 5GHz e atingindo velocidades de até 600 Mbps;
- Em 2012, é lançado o IEEE 802.11ac operando na frequência de 5GHz atingindo velocidades de até 7 Gbps.
- Em 2019, é lançado o IEEE 802.11ax operando na frequência de 2,4 e 5GHz atingindo velocidades de até 10 Gbps.

Arquitetura

O padrão IEEE 802.11 define dois tipos de serviços:

- BSS (*Basic Service Set*), também chamada de rede infraestruturada, é definido como um conjunto de estações (STAs) que conseguem se comunicar com o auxílio de um ponto de acesso (AP).
- IBSS (Independent BSS), também chamado de *ad hoc*, é uma BSS sem um AP, ou seja, as estações se comunicam diretamente;



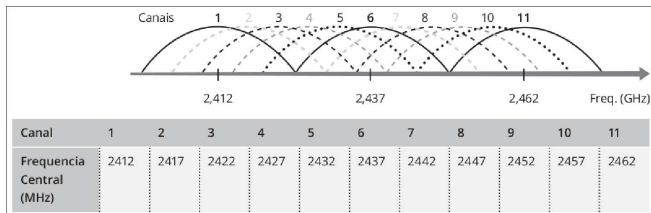
Faixas de Frequência do IEEE 802.11

Redes 802.11 utilizam duas faixas do espectro de uso não licenciado, chamadas Industrial, *Scientific and Medical* (ISM). Ela podem ser usadas por qualquer dispositivo, contanto que a potência transmitida não ultrapasse certos valores legais.

- A primeira é a chamada banda S-ISM, que abrange as frequências entre 2,4 e 2,5 GHz.
- A segunda faixa do espectro é chamada banda C-ISM e abrange as frequências entre 5 e 5,875 GHz.

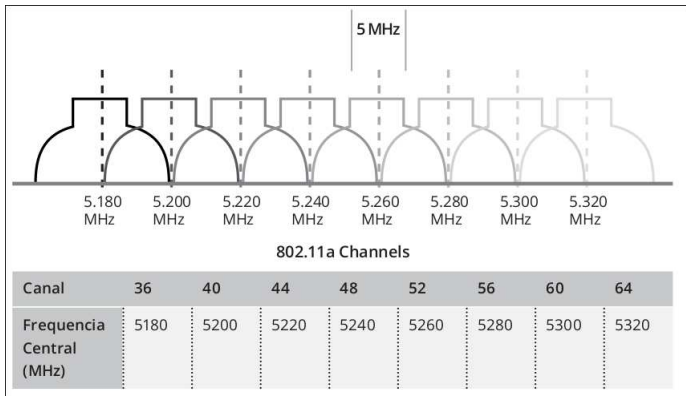
Canais na Faixa de 2.4 GHz

Na faixa de 2.4 GHz, cada canal está separado por 5 MHz. Assim, o canal 1 tem a frequência central em 2.412 MHz, enquanto a frequência central do canal 2 é 2.417 MHz, no total são 11 canais. Quando se pretende instalar vários pontos de acesso próximos, é sugerido o uso dos canais 1, 6 e 11, chamados canais ortogonais ou não interferentes.



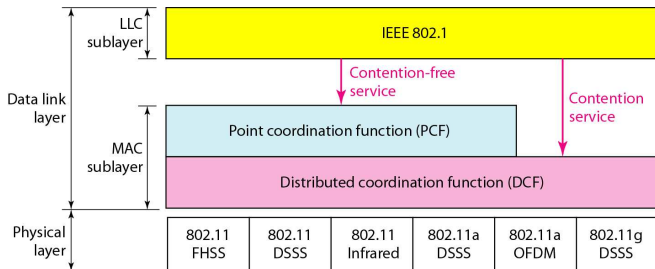
Canais na Faixa de 5 GHz

Na faixa de 5 GHz é utilizado canais com 40 MHz de largura, criando no total 8 canais alocados entre 5.160 MHz e 5.340 MHz, sendo o primeiro o canal (chamado de 36) com frequência central 5.180 MHz.



IEEE 802.11 – Camadas

O padrão IEEE 802.11 descreve a várias camadas físicas e uma camada de enlace. A camada de enlace é subdividida em subcamada de controle (LLC) e subcamada de acesso (MAC).



Camada Física

A camada física é responsável pela codificação, modulação, espalhamento espectral e transmissão dos dados no meio físico. Ao longo de sua evolução, o padrão IEEE 802.11 incorporou uma série de técnicas de modulação e codificação distintas, sendo que as mais importantes:

- 802.11: infravermelho, FHSS (2,4 GHz) e DSSS (2,4 GHz);
- 802.11b: DSSS (2,4 GHz);
- 802.11a: OFDM (5 GHz);
- 802.11g: OFDM com CCK (diversos) (2,4 GHz);
- 802.11n: MIMO-OFDM (2,4 GHz e 5 GHz);
- 802.11ac: MU-MIMO (5 GHz).
- 802.11ax: MU-MIMO-OFDMA (2,4 GHz e 5 GHz);

IEEE 802.11 Legado

O padrão IEEE 802.11 original incorpora três descrições de camada física, sendo que uma delas, que utiliza luz infravermelha, e suportaria apenas a taxa de 1 Mbps, nunca chegou a ser implementada.

As outras duas PHYs usam sinais de radiofrequência (RF) e a técnica de espalhamento espectral (spread spectrum), Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS) e Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS).

Apresenta taxas de transmissão de 1 e 2 Mbps.

IEEE 802.11a

O padrão 802.11a, apesar de oferecer taxas mais altas, não alcançou a mesma do que o 802.11b. As taxas oferecidas pela emenda “a” são: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 e 54 Mbps. Para isso, utilizada a técnica Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM).

As frequências utilizadas por esse padrão estão entre 5,725 e 5,875 GHz. Nessa faixa de frequência mais alta, o sinal é mais susceptível a perdas de propagação, diminuindo seu alcance em comparação à faixa utilizada pelo IEEE 802.11b.

Toda a banda é dividida em 52 subfaixas, sendo 48 para dados e 4 para controle. A modulação é a PSK (18 Mbps) e QAM (54 Mbps).

IEEE 802.11b

Uma nova proposta de camadas físicas permitiram aumentar o desempenho das redes sem fio. Trouxe a técnica de modulação DSSS com taxa de 5.5 Mbps e uma variante chamada High Rate Direct Spread Spectrum (HR/DSSS) foi empregada para alcançar taxas de 11 Mbps. Opera na faixa de 2,4 GHz.

A modulação é a BPSK (1 Mbps), QPSK (2Mbps), BPSK com CCK de 4 bits (5,5 Mbps) e QPSK com CCK de 8 bits (11 Mbps).

IEEE 802.11g

Sua grande vantagem foi elevar as taxas de transmissão até o patamar de 54 Mbps utilizando a codificação OFDM na faixa de frequências ISM de 2,4 GHz. A rigor, o IEEE 802.11g oferece um conjunto de especificações de camada física agrupadas sobre o que se convencionou chamar Extended-Rate PHY (ERP): ERP-DSSS e ERP-CCK (1, 2, 5,5 e 11 Mbps) e ERP-OFDM (6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 e 54 Mbps).



IEEE 802.11n

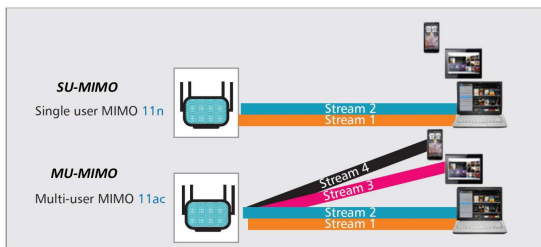
Alcança taxas de transmissão de 600 Mbps (HT-MIMO-OFDM com modulação 64-QAM) incluindo o uso de até 4 antenas simultaneamente (SU-MIMO, permite a transmissão de informações independentes em cada antena de transmissão), o aumento da largura do canal (para 40 MHz) e a possibilidade de agregação de quadros. Latência maior que 100 ms.

MIMO usa múltiplas antenas no transmissor e receptor para aumentar a sensibilidade do sistema, através de um mecanismo chamado de “diversidade” e outro chamado de “multiplexação espacial”.

Opera nas faixas de 2,4 GHz e 5 GHz.

IEEE 802.11ac

Poderá alcançar taxas de transmissão de até 6,77 Gbit/s (MU-MIMO com 8 antenas e modulação 256-QAM). Também aumenta a largura do canal (para 160 MHz) e a possibilidade de agregação de quadros. Permite até 4 transmissões simultâneas para vários usuários utilizando multiplexação por divisão de espaço (Spatial Division Multiplexing - SDM) e MU-MIMO (cada estação pode receber até 4 SSs). Latência de 5 ms. Opera nas faixas de 5 GHz.



IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6.0)

A versão mais recente, operando nas faixas de 2,4 GHz, 5 GHz e 6 GHz. O principal objetivo desse padrão foi aumentar o rendimento por área em cenários de alta densidade, como escritórios corporativos, shopping centers e apartamentos residenciais, e menor consumo de energia. Podendo alcançar taxas de transmissão de até 9,6 Gbps. Utiliza tecnologia OFDMA (da tecnologia celular), 1024-QAM, MU-MIMO e WPA3.

Camada de Enlace

O padrão 802 define duas subcamadas:

- Subcamada MAC: controle de acesso ao meio, de forma que a transmissão não sofra interferência das outras estações que também disputam o meio.
- Subcamada LLC: serviços de endereçamento, reconhecimento de quadros, controle de erros, controle de fluxo e interface para camada superior.

O LLC provê um protocolo único para o controle do enlace de dados de todas as LANs IEEE. Enquanto que, a subcamada MAC é específico para os diferentes tipos de LANs.

Subcamada MAC

O padrão IEEE 802.11 estabelece duas subcamadas MAC:

- *Distributed Coordination Function* (DCF): usa o CSMA/CA como método de acesso ao meio físico;
- *Point Coordination Function* (PCF): implementado em redes de infra-estrutura, utiliza o método de acesso centralizado por meio de *polling*, livre de contenção.

IEEE 802.11 – Subcamada DCF

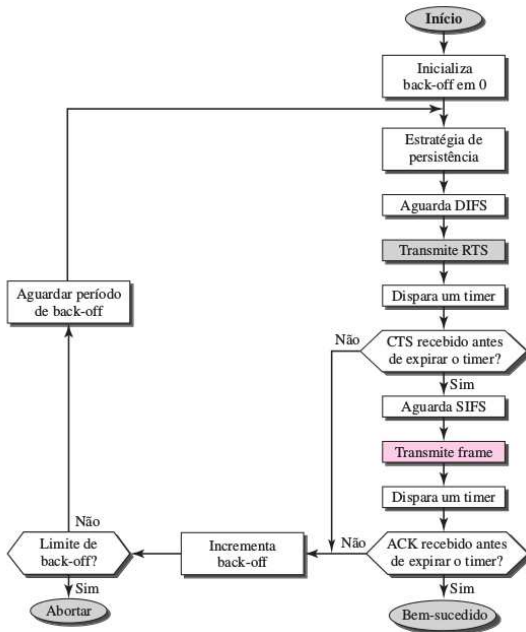
O *Distributed Coordination Function* (DCF) usa o CSMA/CA modificado como método de acesso ao meio. A decisão de transmitir é tomada em cada estação, há possibilidade de colisão e pode ser utilizada tanto em redes com infraestrutura quanto *ad-hoc*. O CSMA/CA funciona da seguinte forma:

1. Antes de transmitir, a estação “escuta” o meio usando uma estratégia de persistência com back-off (tentativa);
2. Após constatar que o canal está livre, a estação espera um período DIFS (*Distributed Interface Space*). Em seguida, envia um quadro de controle RTS (*Request to Send*);

IEEE 802.11 – Subcamada DCF

3. Após receber o RTS, a estação de destino envia um *frame* de controle CTS (*Clear to Send*), para a estação de origem;
4. A estação de origem envia os frames de dados após aguardar um período SIFS (*Short Interframe Space*);
5. A estação de destino, envia um ACK (confirmação) para indicar que o quadro foi recebido com sucesso.
6. Fim da transmissão.

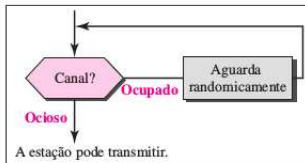
Caso algum erro, não receber o CTS ou ACK ou estourar o temporizador, é aumentado o back-off (tentativa), verifica se não estourou o limite de tentativas, espera um tempo e tenta novamente a transmissão.



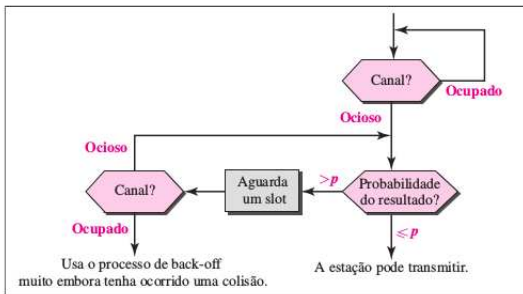
São três possibilidades de estratégias de persistência, são elas:



a. 1-persistent



b. Nonpersistent



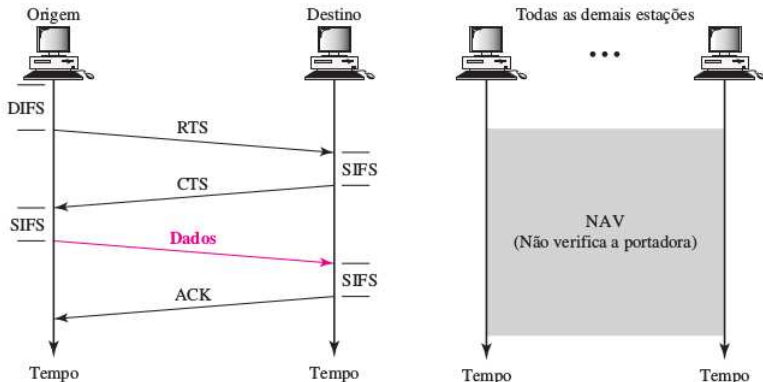
c. *p*-persistent

IEEE 802.11 – Subcamada DCF (NAV)

Quando uma estação manda um frame RTS, ela inclui quanto tempo será necessário ocupar o canal (transmissão e confirmação de recebimento pelo destinatário). As estações que estão na rede e não irá receber os dados, inicializam um *timer*, chamado de Network Allocation Vector (NAV), que mostra quanto tempo as estações irão esperar para verificar novamente se o canal está livre.

Quando receber o RTS o receptor envia de volta um quadro CTS. Este quadro também informa o tempo necessário para a transmissão. As estações que não escutarem o RTS, mas escutam o CTS, também irão entrar no mecanismo NAV, e a colisão será evitada.

IEEE 802.11 – Subcamada DCF (NAV)



IEEE 802.11 – Subcamada PCF

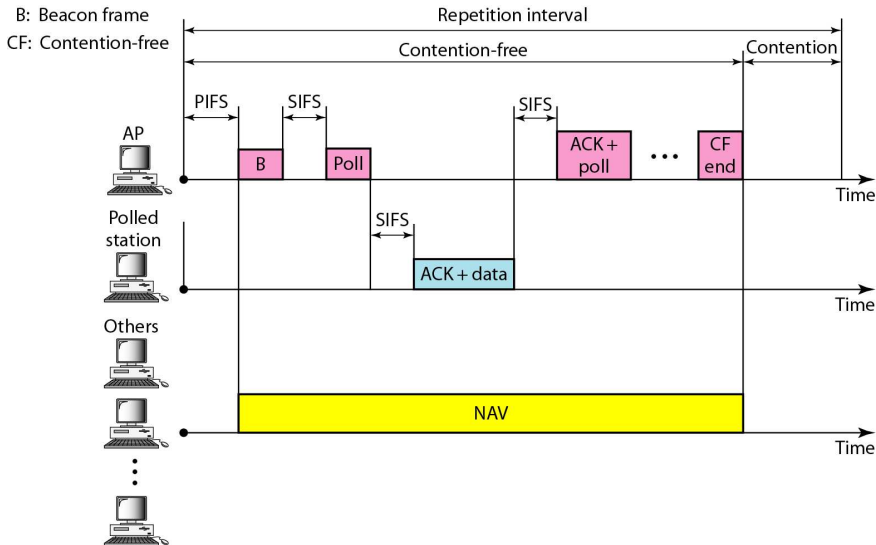
O PCF (*Point Coordination Function*) é um método que só pode ser implementado em rede com infra-estrutura. Ele oferece suporte à transmissão sensíveis ao atraso, como voz e vídeo. O PCF é implementado com um controle centralizado (pelo AP) por meio de *polling*, dessa forma, não existe a possibilidade de colisão. O AP faz varredura (*polling*) em todas as estações perguntando a cada uma se desejam transmitir.

IEEE 802.11 – Subcamada PCF

O PCF é implementado em conjunto com o DCF (através de intervalos de repetição), entretanto o PCF tem prioridade. Essa prioridade é feita através de temporizadores (PIFS e SIFS). O SIFS é o mesmo que o do PCF, mas o PIFS é mais curto.

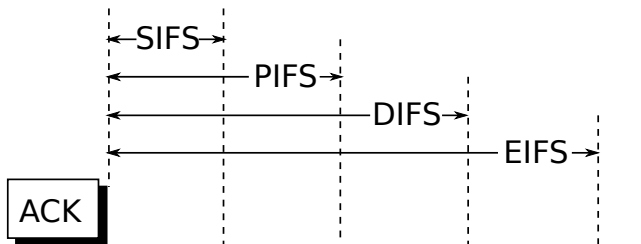
No intervalo de repetição, inicia com um quadro de controle **beacon** (sinalização). O AP pode enviar um frame de pool, receber dados, transmitir ACKs. Ao final do período de contenção (PCF), o AP envia um quadro CF, informando o fim do PCF. Agora as demais estações baseadas em DCF podem utilizar o meio de transmissão.

IEEE 802.11 – Subcamada PCF



IEEE 802.11 - PCF e DCF

Os quatro intervalos entre *frames* estão representados na figura:

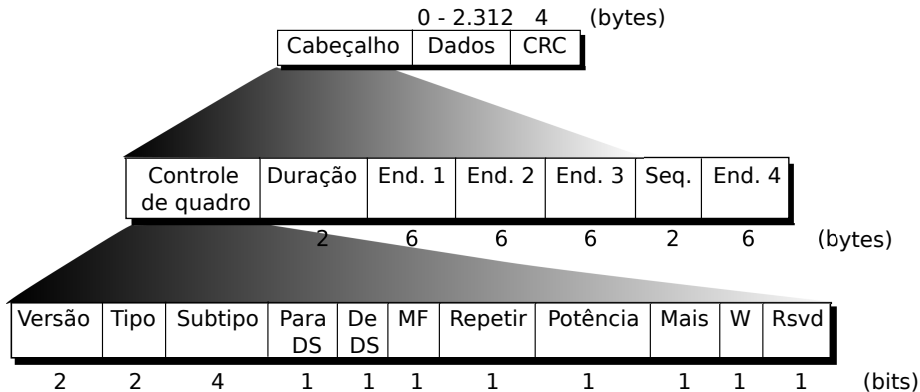


IEEE 802.11 - Temporização

- SIFS (*Short InterFrame Spacing*): é usado para permitir que as partes de um único diálogo tenham a chance de transmitir primeiro. Por exemplo, permite ao receptor enviar um CTS, a fim de responder a um RTS, ou ACK relativo a um dado;
- PIFS (*PCF InterFrame Spacing*): permite ao AP enviar um quadro *beacon* ou um quadro de *polling*;
- DIFS (*DCF InterFrame Spacing*): qualquer estação poderá tentar adquirir a posse do canal para enviar um novo quadro. O controle de acesso é feito através do CSMA/CA;
- EIFS (*Extended InterFrame Spacing*): é usado por uma estação que tenha acabado de receber um quadro defeituoso ou desconhecido, a fim de informar sobre a presença do quadro defeituoso.



IEEE 802.11 – Quadro



IEEE 802.11 - Estrutura do *Frame*

- Controle de quadro:
 - Versão: define a versão atual do protocolo (atualmente é 0);
 - Tipo: define o tipo da informação: 00 (gerenciamento), 01 (controle), 10 (dados) e 11 (reservado);
 - Subtipo: define o subtipo para cada tipo de *frame*, por exemplo: 1011 (RTS), 1100 (CTS) e 1101 (ACK);
 - Para DS e De DS: define o modo de endereçamento;
 - MF: indica se existem mais fragmentos;
 - Repetir: indica que o frame é de uma retransmissão;
 - Potência: significa que a estação está no modo de gerenciamento de energia;
 - Mais: significa que a estação tem mais dados a serem transmitidos;
 - W: indica que os dados estão criptografados;
 - Rsvd: reservado para uso futuro.

IEEE 802.11 - Estrutura do *Frame*

- Duração: define a duração do quadro e da sua confirmação. Este campo é usado no mecanismo de NAV;
- Endereços: depende do valor dos subcampos Para DS e De DS:

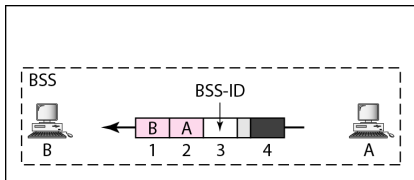
Para DS	De DS	End. 1	End. 2	End. 3	End.4
0	0	Destino	Origem	ID da BSS	-
0	1	Destino	AP transmissor	Origem	-
1	0	AP receptor	Origem	Destino	-
1	1	AP receptor	AP transmissor	Destino	Origem

- Seq.: define o número de seqüência do *frame*, ou seja, permite que os fragmentos sejam numerados;
- CRC: 4 bytes para detecção de erros.

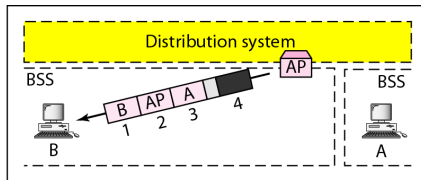
IEEE 802.11 - Mecanismo de Endereçamento

- Caso 1: os subcampos “Para DS = 0” e “De DS = 0”. O *frame* vai de uma estação para outra sem passar por um sistema de distribuição;
- Caso 2: os subcampos “Para DS = 0” e “De DS = 1”. O *frame* vem de um sistema de distribuição (AP) e indo para uma estação. O endereço 3 contém o endereço da estação emissora original do *frame*;
- Caso 3: os subcampos “Para DS = 1” e “De DS = 0”. O *frame* está indo para um sistema de distribuição (AP) e foi originado por uma estação. O endereço 3 contém o endereço do destino final do *frame*;
- Caso 4: os subcampos “Para DS = 1” e “De DS = 1”. Usado quando o sistema de distribuição também é *wireless*. O *frame* vai de um AP para outro AP. Os endereços irão definir o emissor original, o destino final e os dois APs intermediários.

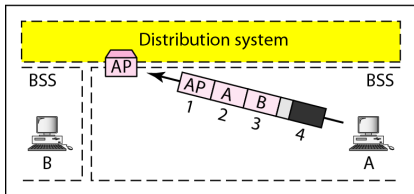
IEEE 802.11 - Mecanismo de Endereçamento



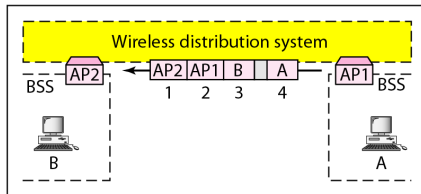
a. Case 1



b. Case 2



c. Case 3



d. Case 4

Práticas de Múltiplos APs

Quando utilizamos em uma LAN várias APs (múltiplos pontos de acesso) uma solução recomendada, visando facilidade de configuração e mobilidade dos equipamentos, é usarmos uma única sub-rede IP envolvendo todos os pontos de acesso, SSID único em todos os pontos de acesso, seleção dinâmica de canal, distribuição de endereços IP por DHCP.

Dúvidas

