

**Módulo 6b:**  
**Redes Locais Sem Fio –**  
**Wireless LAN**  
**(IEEE 802.11)**

**Ricardo Couto Antunes da Rocha**  
**rcarocho@inf.ufg.br**

# Objetivos

- Entender os conceitos básicos de comunicação sem fio
- Entender o funcionamento básico de uma WLAN baseada em 802.11
- Entender como ocorre a integração de uma WLAN com uma LAN

# Roteiro

- Histórico do IEEE 802.11
- Introdução às redes locais sem fio
- Nível Físico e de Enlace
- Topologias do 802.11
- Protocolo WEP
- Extensões do 802.11
- Interconexão WLAN com uma LAN
- Referências

# Roteiro

- Histórico do IEEE 802.11
- Introdução às redes locais sem fio
- Nível Físico e de Enlace
- Topologias do 802.11
- Protocolo WEP
- Extensões do 802.11
- Interconexão WLAN com uma LAN
- Referências

# Histórico

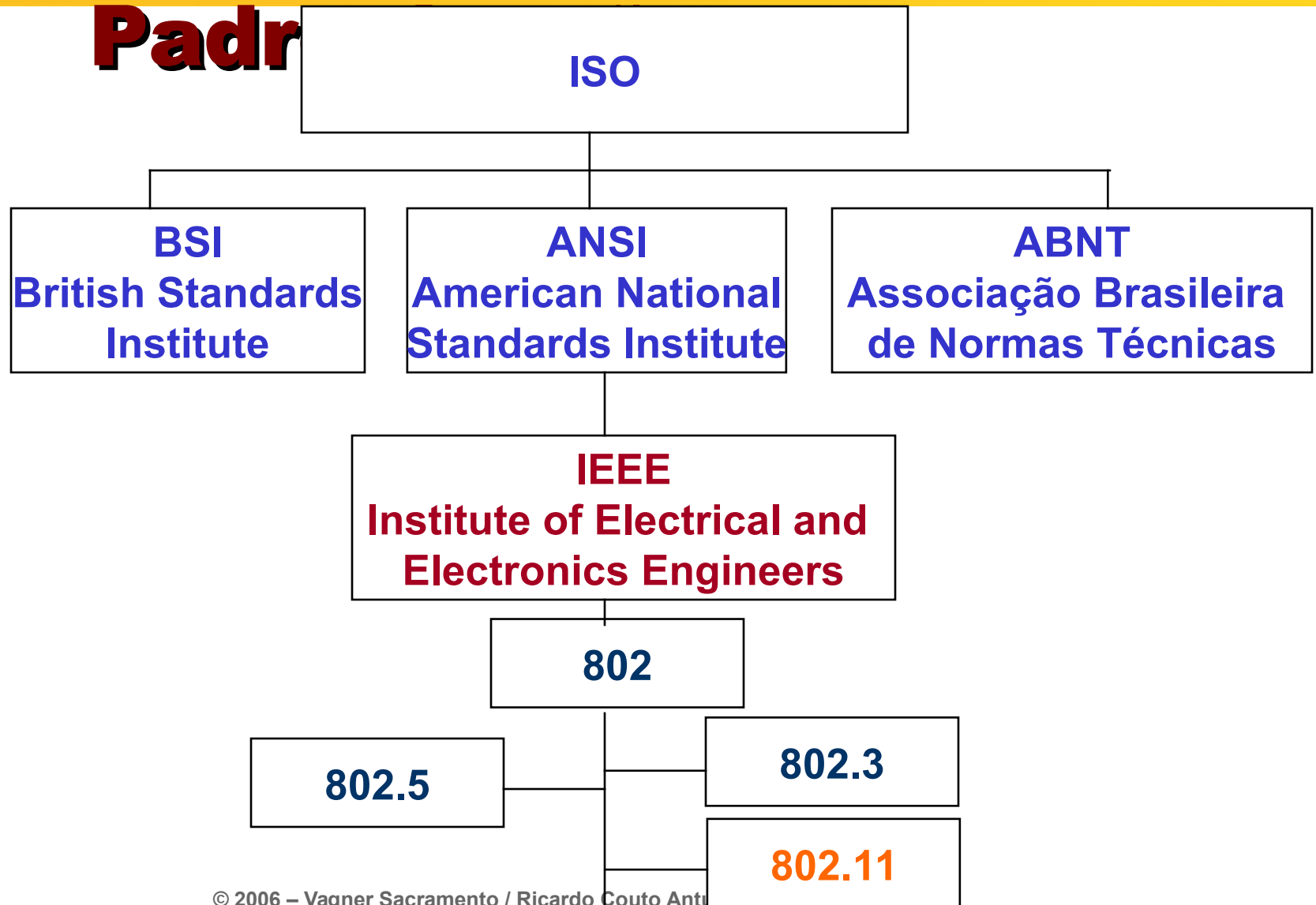
- 1985 a **FCC** (*Federal Communications Commission*) impulsionou o desenvolvimento comercial de componentes LAN baseados em radio difusão, por ter autorizado o uso público das bandas ISM (Industrial, Scientific, and Medical)
- Depois da liberação das bandas ISM, a indústria de equipamentos wireless começaram a desenvolver tecnologias de rádios proprietárias;
- Para evitar a falta de interoperabilidade entre as novas tecnologias que estavam surgindo, em 1980 o grupo de trabalho do IEEE do 802 responsável pelo padrões de redes locais começaram a projetar/desenvolver padrões para a rede sem fio;

# Histórico

## IEEE 802.11

- A partir de então, os padrões para redes locais sem fio são criados por um órgão de padronização;
- O IEEE 802 é um desses órgãos, e possui três grupo de trabalhos (*Working Groups* ou WGs) dedicados a redes sem fio;
  - A. Grupo de trabalho 11:** é o responsável pelo padrão 802.11, para as redes locais sem fio;
  - B. Grupo de trabalho 15:** é o responsável pelo padrão 802.15 que atua na área das redes de área pessoal (Wireless Personal Area Networks ou WPANs); A principal tecnologia atual para WPANs é o **Bluetooth**. Este está sendo incorporado ao 802.15;
  - C. Grupo de trabalho 16:** é o responsável pelo padrão 802.16 que elabora as especificações para as redes metropolitanas sem fio (Broadband Wireless Metropolitan Area Networks ou WirelessMAN) com o objetivo de oferecer acesso fixo em banda larga (WiMAX);

# Organizações Internacionais de Padr

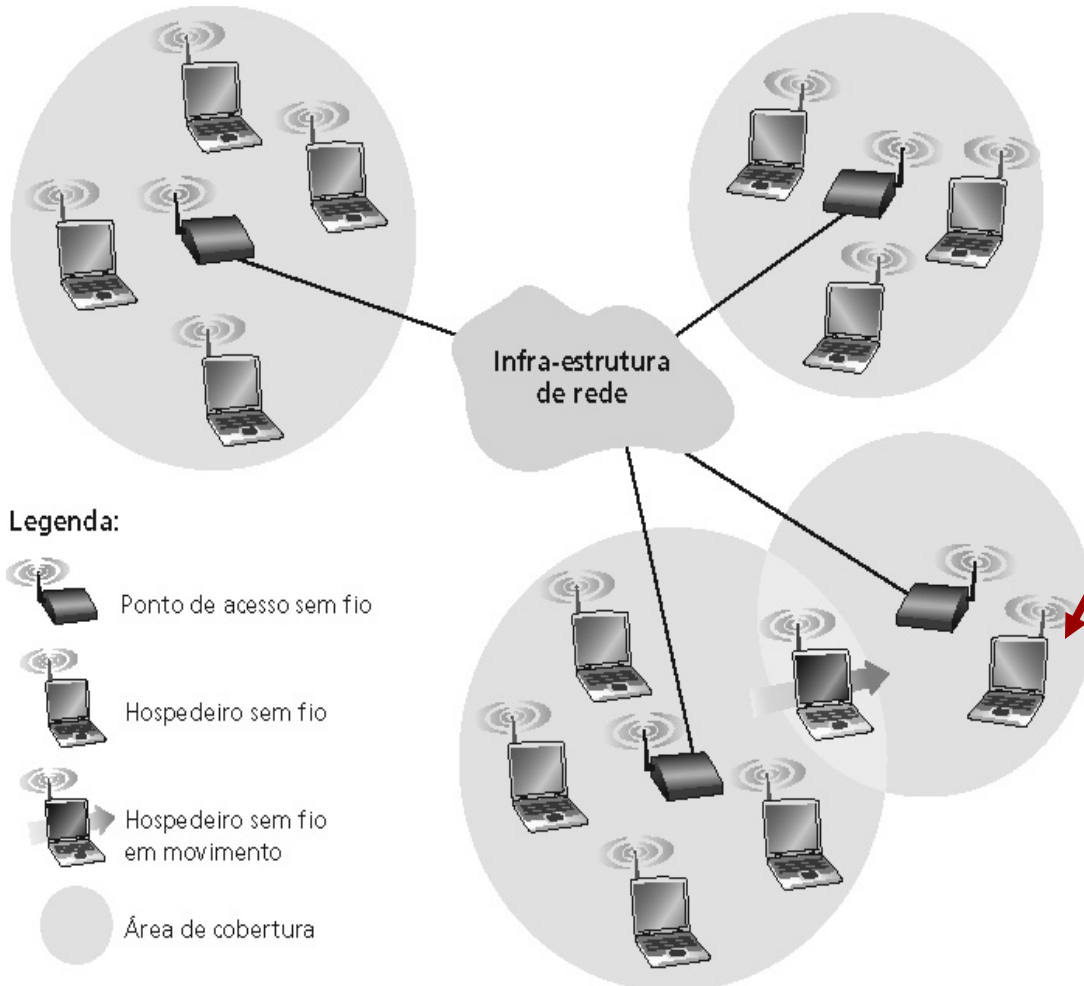


# Roteiro

- Histórico do IEEE 802.11
- Introdução às redes locais sem fio (Wireless LAN)
- Topologias do 802.11
- Protocolo WEP
- Extensões do 802.11
- Referências



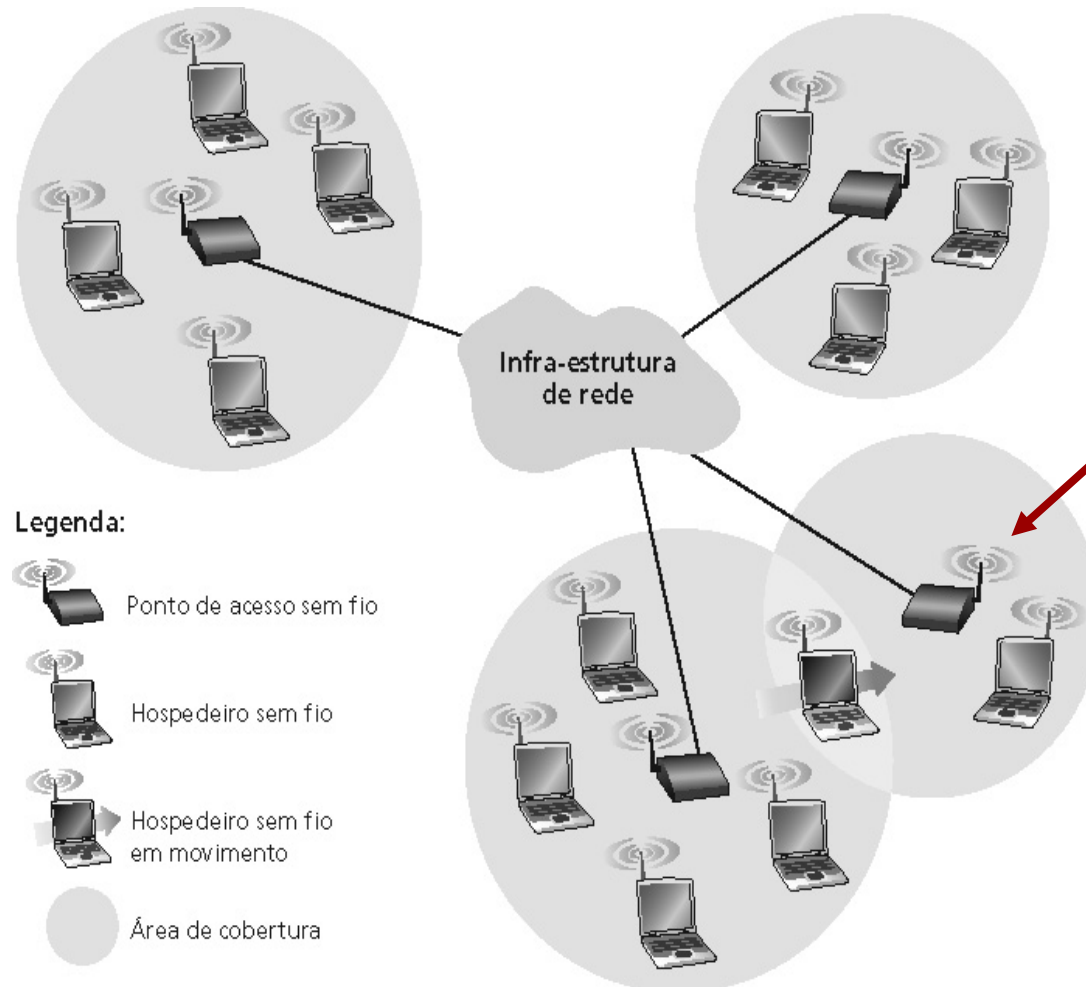
# Elementos de uma rede sem fio



## Hospedeiros sem fio

- Laptop, PDA, IP phone
- Rodam aplicações
- Pode ser fixos ou móveis
- “sem fio” nem sempre significa mobilidade

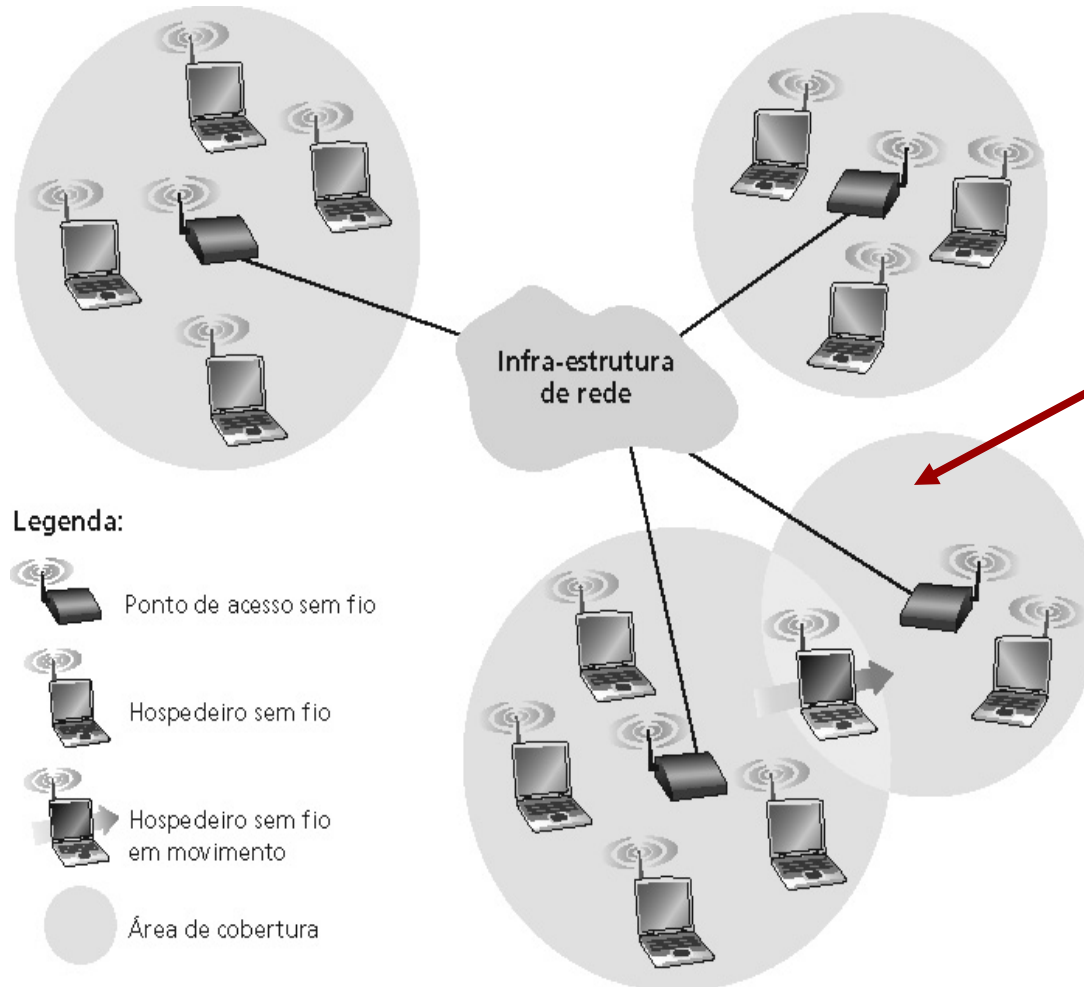
# Elementos de uma rede sem fio



## Estação-base

- Tipicamente se conecta à rede cabeada
- Relay – responsável por enviar pacotes entre a rede cabeada e os hospedeiros sem fio na sua “área”
  - Ex.: torres de celular
  - Pontos de acesso 802.11

# Elementos de uma rede sem fio



## Enlace sem fio

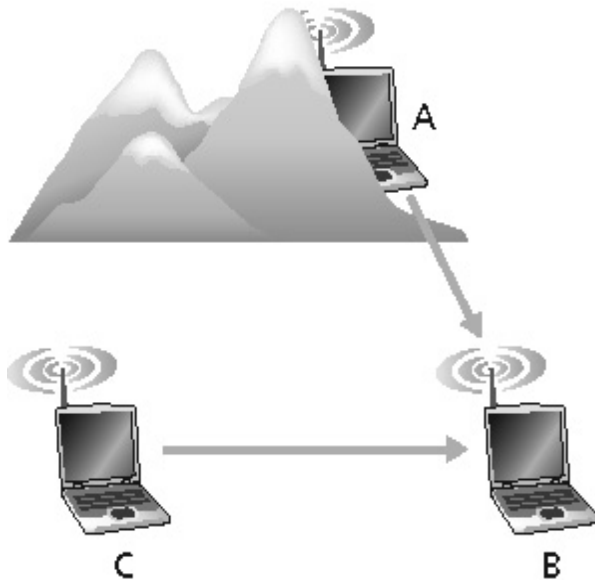
- Tipicamente usado para conectar os hospedeiros móveis à estação-base
- Também usado como enlace de backbone
- Protocolos de acesso múltiplos coordenam o acesso ao enlace
- Várias taxas de dados

# Equipamentos Wireless



# Características das redes sem fio

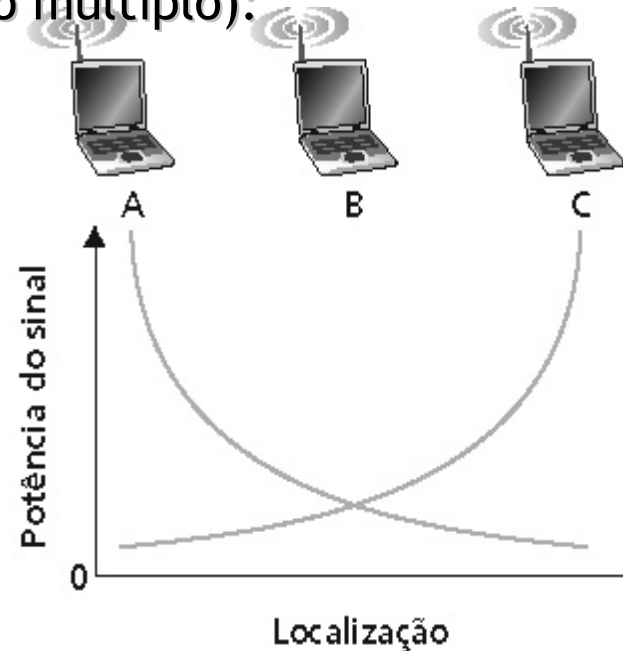
Múltiplos remetentes sem fio e receptores criam problemas adicionais (além do acesso múltiplo):



a.

## Problema do terminal oculto

- B, A ouvem um ao outro
- B, C ouvem um ao outro
- A, C, quando não podem ouvir um ao outro, implica que não se dão conta da sua interferência em B



b.

## Desvanecimento (fading):

- B, A ouvem um ao outro
- B, C ouvem um ao outro
- A, C não podem ouvir um ao outro, interferindo em B

# Introdução às redes locais sem fio

## ■ Wireless LAN - WLAN:

- ◆ Wireless LAN – Redes Locais Sem Fio
- ◆ “Uma rede sem fio é um sistema que interliga vários equipamentos fixos ou móveis utilizando o ar como meio de transmissão [IEEE 802.11]”
- ◆ Uma WLAN converte pacotes de dados em onda de rádio ou infravermelho e os envia para outros dispositivos sem fio;

## ■ Objetivos do IEEE 802.11

- ◆ Suportar diversos canais de comunicação; sobrepor diversas redes na mesma área de canal; apresentar robustez com relação a interferências; possuir mecanismos para evitar nós escondidos; oferecer privacidade e controle de acesso ao meio;
  - Para tanto, o IEEE 802.11 definiu um nível físico onde as transmissões são realizadas por rádio frequência ou infravermelho, e um protocolo que controla o acesso ao meio de comunicação DFWMAC (Distributed Foundation Wireless MAC);

# Introdução às redes locais sem fio

- **WLAN:** Termo utilizado para definir qualquer um dos seguintes padrões definidos pelo IEEE:
  - ◆ IEEE 802.11:
    - Velocidade limitada a 2 Mbps em 2.4GHz.
  - ◆ IEEE 802.11b
    - Velocidade limitada a 11 Mbps em 2.4GHz.
  - ◆ IEEE 802.11a
    - Velocidade limitada a 54 Mbps em 5 GHz.
  - ◆ IEEE 802.11g
    - Velocidade em torno de **54**Mbps em 2.4GHz.



# Introdução às redes locais sem fio

- Bandas ISM disponíveis para uso público;
- Atualmente quem regulamenta o uso das bandas de frequência no Brasil é a Anatel;
- Nos EUA é a FCC (*Federal Communications Commission*)

Bandas ISM	EUA	Europa	Japão
<b>900 MHz</b>	902-928 MHz <b>(26 MHz)</b>	902-928 MHz <b>(26 MHz)</b>	...
<b>2.4 GHz</b>	2.4 a 2.4835 <b>(83.5 MHz)</b>	2.4 a 2.4835 <b>(83.5 MHz)</b>	2.481 a 2.497 <b>(16 MHz)</b>
<b>5 GHz</b>	5.15 a 5.35 e 5.725-5.825 <b>(300 MHz)</b>	5,15 a 5,35 e 5.47 a 5.725 <b>(155 MHz)</b>	5.15 a 5.25 <b>(100 MHz)</b>

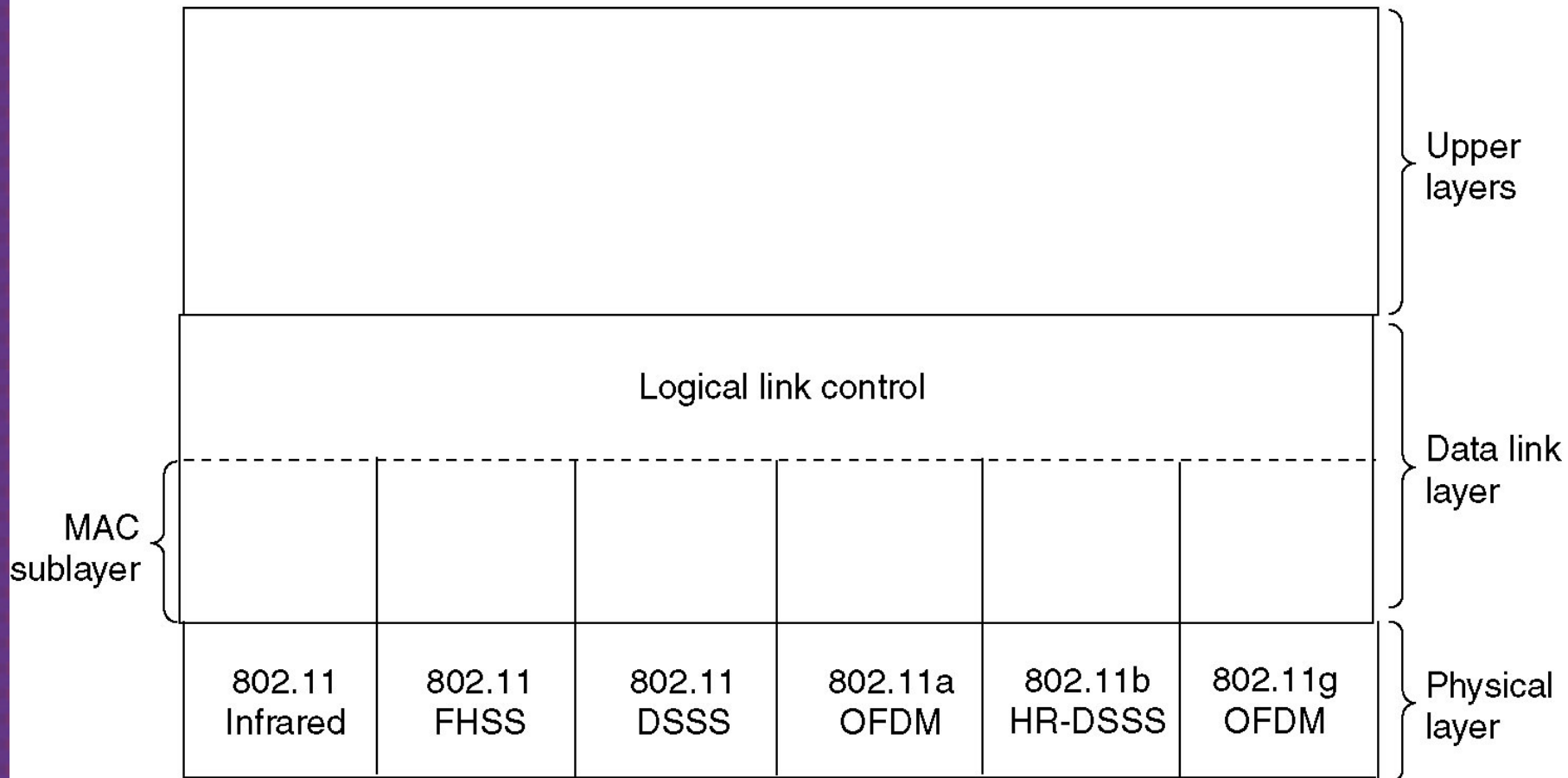


# Roteiro

- Histórico do IEEE 802.11
- Introdução às redes locais sem fio
- **Nível Físico e de Enlace**
- Topologias do 802.11
- Protocolo WEP
- Extensões do 802.11
- Interconexão WLAN com uma LAN
- Referências

# Pilha de protocolos do 802.11

## Parte da pilha de protocolos do 802.11



# IEEE 802.11: acesso múltiplo

- Evita colisões: 2 ou mais nós transmitindo ao mesmo tempo
- 802.11: CSMA – escuta antes de transmitir
  - ◆ Não colide com transmissões em curso de outros nós
- 802.11: não faz detecção de colisão!
  - ◆ Difícil de receber (sentir as colisões) quando transmitindo devido ao fraco sinal recebido (desvanecimento)
  - ◆ Pode não perceber as colisões: terminal oculto, fading
  - ◆ Meta: evitar colisões: CSMA/C(collision)A(voidance)
  - ◆ Dois mecanismos: DIFS/SIFS+ACK e RTS+CTS

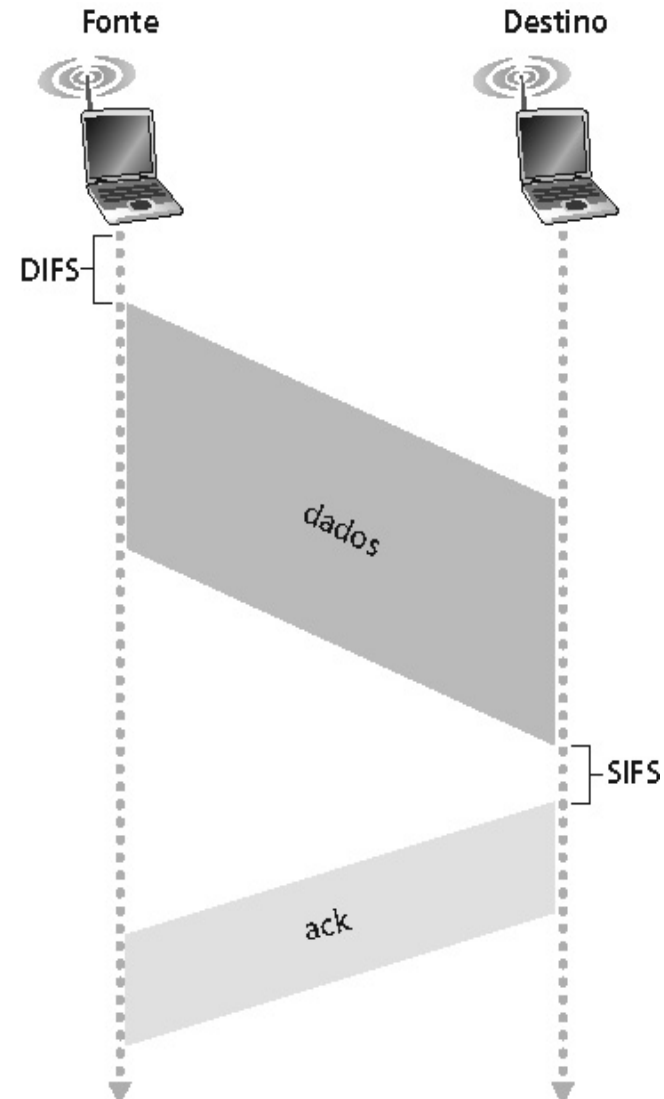
# IEEE 802.11 Protocolo MAC: CSMA/CA

## Transmissor 802.11

1. Se o canal é percebido quieto (idle) por **DIFS** então
  - ◆ Transmite o quadro inteiro (sem CD).
2. Se o canal é percebido ocupado, então
  - ◆ Inicia um tempo de backoff aleatório
  - ◆ Temporizador conta para baixo enquanto o canal está quieto
  - ◆ Transmite quando temporizador expira
  - ◆ Se não vem ACK, aumenta o intervalo de backoff aleatório, repete 2.

## Receptor 802.11

- Se o quadro é recebido OK
  - ◆ retorna ACK depois de **SIFS** (ACK é necessário devido ao problema do terminal oculto)



# Evitando colisões

**Idéia:** permite o transmissor “reservar” o canal em vez de acessar aleatoriamente ao enviar quadros de dados: evita colisões de quadros grandes

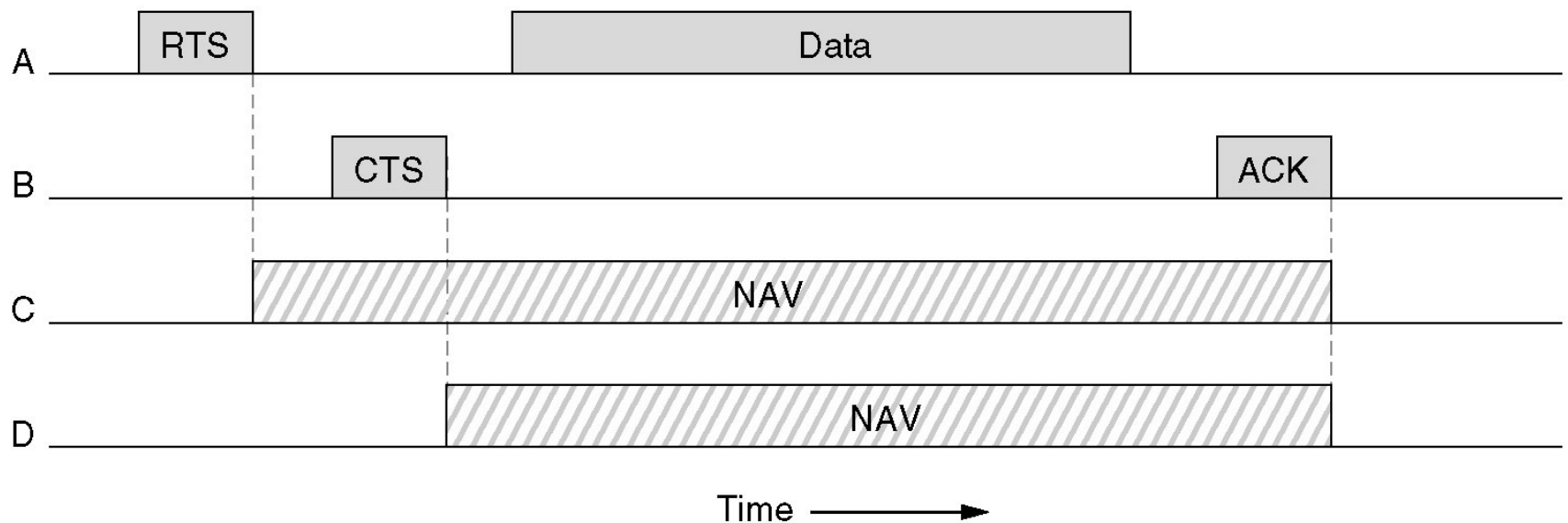
- ◆ Transmissor envia primeiro um pequeno quadro chamado **request-to-send** (RTS) à estação-base usando CSMA
- ◆ RTSs podem ainda colidir uns com os outros, mas são pequenos
- ◆ BS envia em broadcast **clear-to-send** (CTS) em resposta ao RTS

RTS é ouvido por todos os nós

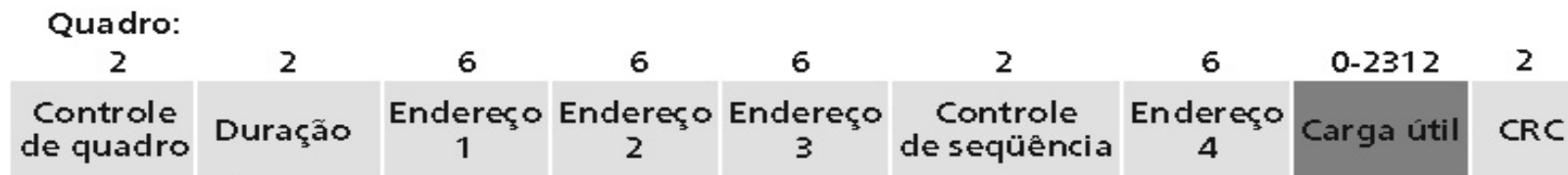
- ◆ Transmissor envia o quadro de dados
- ◆ Outras estações deferem suas transmissões

# Evitando colisões

RTS+CTS definem uma reserva de uso do canal para um transmissor



# Quadro 802.11: endereçamento



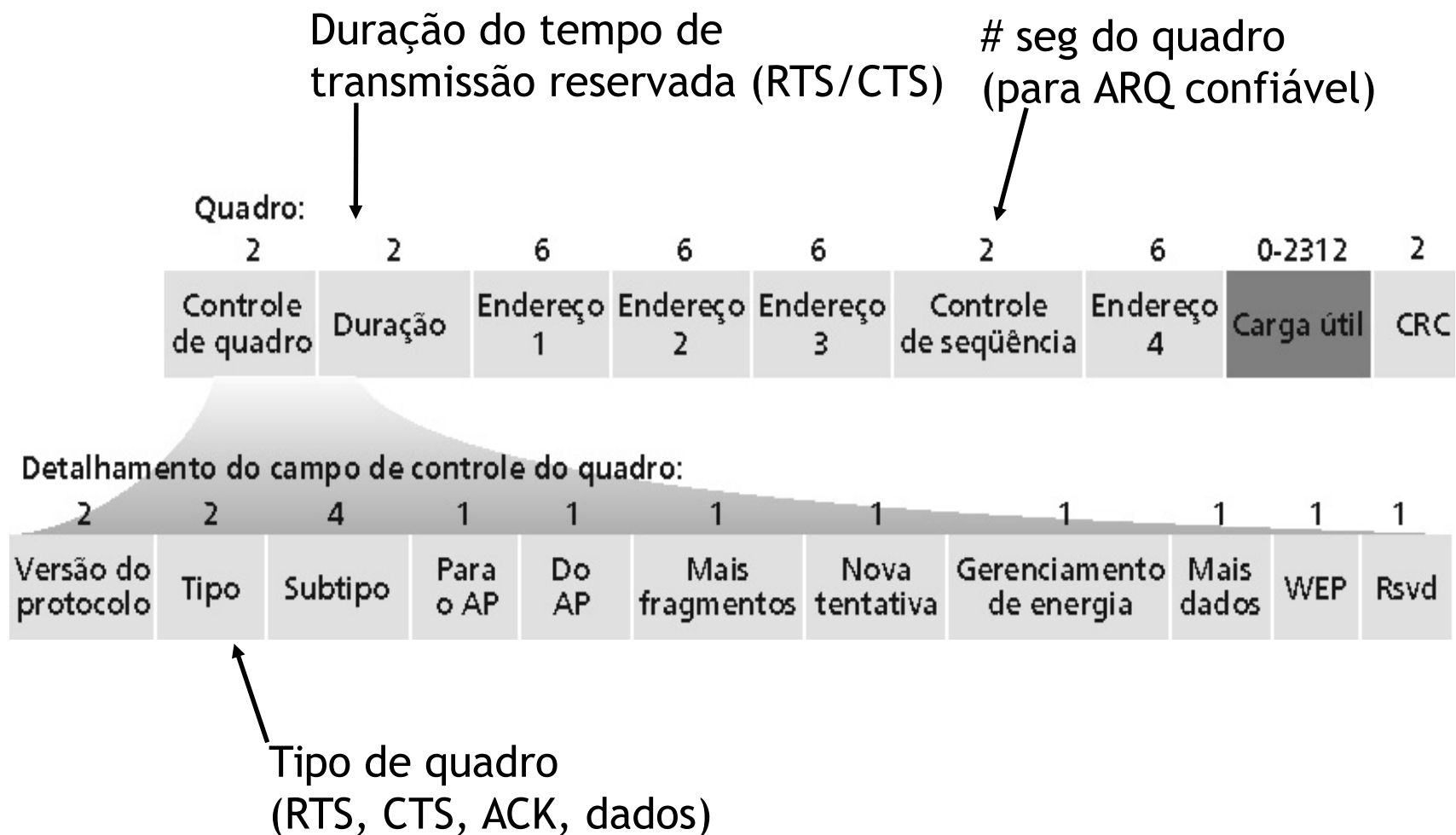
**Endereço 1:** endereço MAC do host móvel ou AP que deve receber o quadro

**Endereço 2:** endereço MAC do hospedeiro sem fio ou AP transmitindo este quadro

**Endereço 3:** endereço MAC da interface do roteador à qual o AP é ligado

**Endereço 4:** usado apenas no modo ad hoc

# Quadro 802.11





# Roteiro

- Histórico do IEEE 802.11
- Introdução às redes locais sem fio (Wireless LAN)
- Topologias do 802.11
- Protocolo WEP
- Extensões do 802.11
- Referências

# Topologia do 802.11

- A topologia do IEEE 802.11 consiste da interação dos componentes de rede para prover uma WLAN que possibilite a mobilidade das estações transparentemente para os protocolos de níveis mais altos (ex: IP, TCP, UDP)
- O padrão 802.11 suporta duas topologias:
  - ◆ Independent Basic Services Set (IBSS) Networks – **Ad Hoc**
  - ◆ Extended Service Set (ESS) Networks – **Infra-estruturado**

# Topologia do 802.11

- *Independent Basic Services Set (IBSS) Networks*
  - ◆ Uma IBSS é uma rede que não tem um backbone de infra-estrutura e consiste de pelo menos duas estações wireless. Este tipo de rede é comumente conhecido como **AD HOC**.
- *Extended Service Set (ESS) Networks*
  - ◆ Uma ESS possui um backbone de infra-estrutura para viabilizar a comunicação entre as estações na rede sem fio (wireless) e na rede fixa (wired)

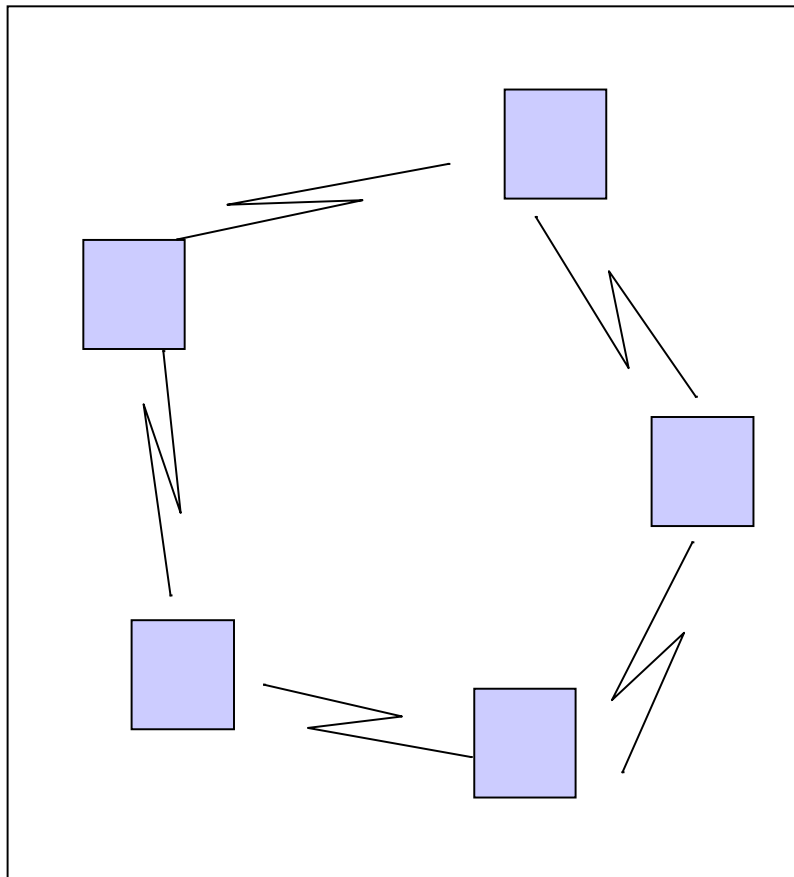
# Topologia do 802.11

- O 802.11 define duas formas de organizar as redes WLAN:
  - ◆ **Ad-hoc** (IBSS):
    - Apenas computadores (2 ou mais) isolados formam uma rede.
  - ◆ **Infra-estruturada** (ESS):
    - Computadores e um Access Point que permite a integração desses computadores com uma rede fixa.

# Topologia do 802.11

## Ad-Hoc

AD-HOC



Rede wireless isolada

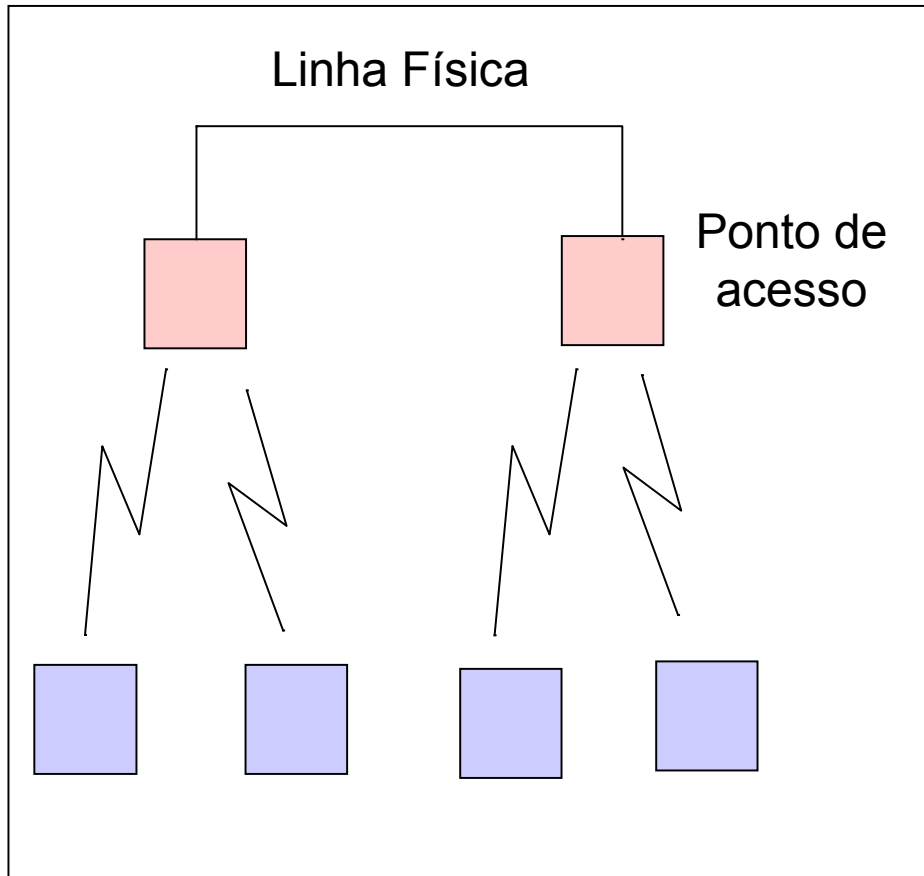
### ■ Ad-hoc:

- ◆ Sem estrutura pré-definida.
- ◆ Cada computador é capaz de se comunicar com qualquer outro.
- ◆ Pode ser implementada através de técnicas de broadcast ou mestre escravo.
- ◆ Também chamado de **IBSS: Independent Basic Service Set.**

# Topologia do 802.11

## Infra-estruturada

### INFRA-ESTRUTURA



Rede wireless integrada a uma rede física

### ■ Infra-estrutura:

- ◆ Os computadores se conectam a um elemento de rede central denominado access point.
- ◆ Uma WLAN pode ter vários access points conectados entre si através de uma rede física.
- ◆ Funciona de maneira similar as redes celulares.

# Topologia do 802.11

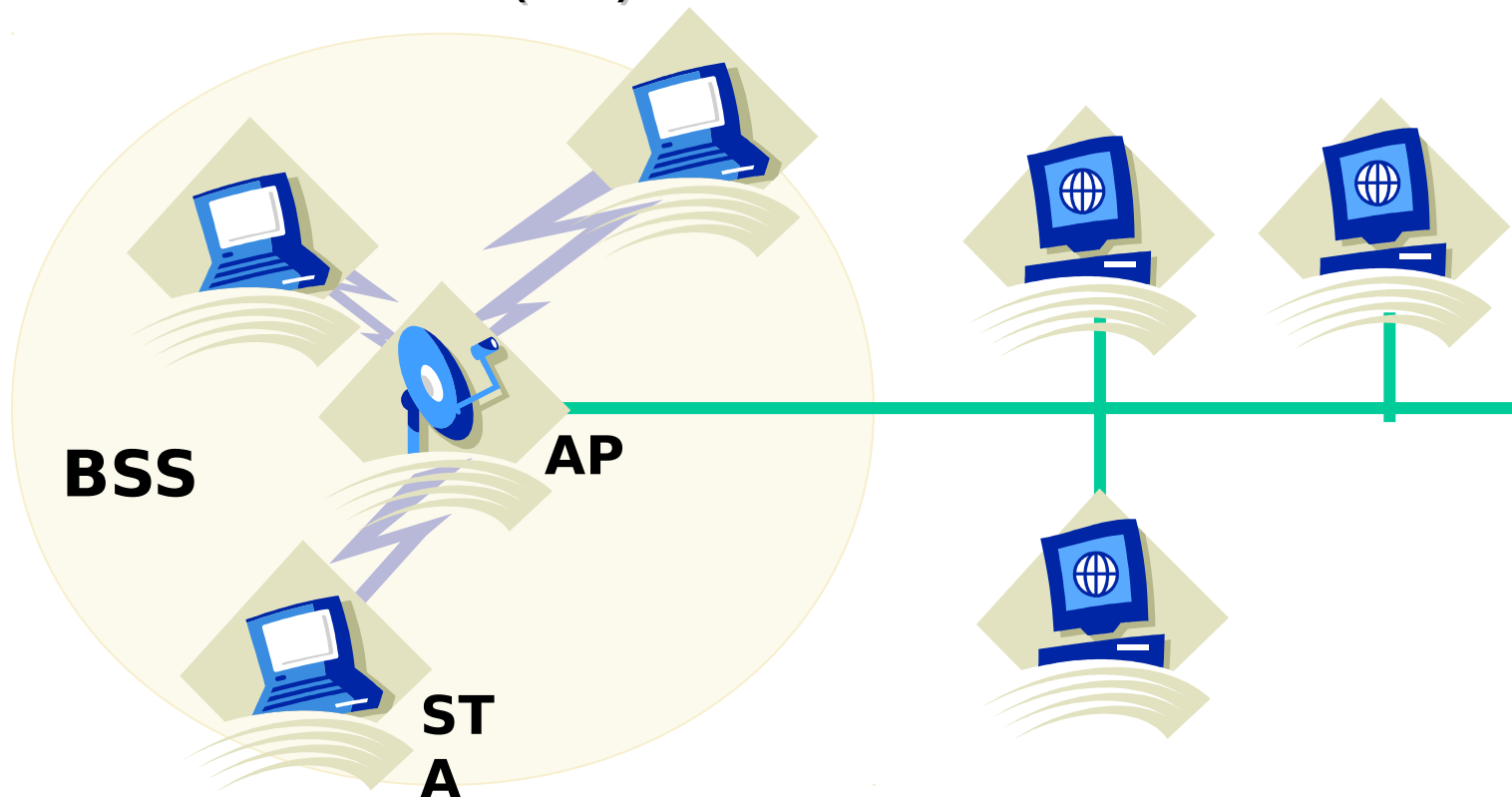
## Infra-estrutura

- O padrão IEEE 802.11 define uma arquitetura para as redes sem fio, baseada na divisão da área coberta pela rede em células;
- Os elementos que compõem essa arquitetura são descritos abaixo: ▶
  - ◆ **BSA (Basic Service Area)** - Conhecidas também como **células**.
    - O tamanho da BSA (célula) depende das características do ambiente e da potência dos transmissores/receptores usados nas estações;
  - ◆ **BSS (Basic Service Set)** - representa um **grupo de estações** comunicando-se por radiodifusão ou infravermelho em uma BSA;
  - ◆ **AP (Access Point)** ou **Ponto de Acesso** - são estações especiais responsáveis pela captura das transmissões realizadas pelas estações de sua BSA, destinadas a estações localizadas em outras BSAs, retransmitindo-as, usando um sistema de distribuição;
    - Uma das funções do access point é implementar uma ponte entre a rede wireless e a rede física;

# Topologia do 802.11

## Infra-estrutura

- Modo infra-estruturado
  - ◆ Basic Service Set (BSS) – com apenas um Access Point (AP)





# Wireless Fidelity – Wi-Fi

- Wi-Fi ou *Wireless Fidelity* é uma associação internacional formada em 1999 para certificar a interoperabilidade dos produtos WLAN baseados no padrão 802.11, conhecida pelo nome *Wireless Ethernet Compatibility Alliance*.
- O certificado Wi-Fi garante que o produto passou por testes rigorosos de interoperabilidade, e assume que produtos de diferentes fabricantes podem interagir entre si sem nenhum problema de compatibilidade;
- Recomendação: só compre equipamentos wireless com certificação Wi-Fi;

# Roteiro

- Histórico do IEEE 802.11
- Introdução às redes locais sem fio
- Nível Físico e de Enlace
- Topologias do 802.11
- Protocolo WEP
- Extensões do 802.11
- Interconexão WLAN com uma LAN
- Referências

# Camada MAC (IEEE 802.11)

## WEP

- Recursos de segurança primários e ineficientes:
  - ◆ ESS-ID
  - ◆ Restrição de acesso através do MAC Address
- Para que as redes Wireless possam ser implementadas num ambiente corporativo, o IEEE 802.11 define a implementação de um protocolo de segurança denominado WEP:
  - ◆ Wireless Equivalent Privacy
- O IEEE tem duas versões de WEP definidas:
  - ◆ WEP 1: 64 bits
    - Chaves de 40 e 24 bits.
  - ◆ WEP 2: 128 bits
    - Chaves de 104 e 24 bits.

# WEP 1

- Os princípios do WEP são:
  - ◆ Razoavelmente forte;
  - ◆ Auto-sincronizado (para estações que entram e saem na área de cobertura);
  - ◆ Computacionalmente eficiente (pode ser implementado por hardware ou software);
  - ◆ Opcional (sua implementação não é obrigatória em todos os sistemas IEEE 802.11).

# Segurança no WEP

- O WEP especifica dois recursos de segurança:
  - Autenticação
  - Criptografia
- A criptografia é baseada numa técnica de chave secreta.
  - ◆ A mesma chave é utilizada para criptografar e decriptografar dados.
- Dois processos são aplicados sobre os dados a serem transmitidos:
  - ◆ Um para criptografar os dados.
  - ◆ Outro para evitar que os dados sejam modificados durante a transmissão (algoritmo de integridade).

# Autenticação

- A autenticação pode ser de dois tipos:
  - ◆ Open System
    - Sistema Aberto, isto é, sem autenticação.
    - A estação fala com qualquer outra estação da qual receba sinal.
  - ◆ Chave Compartilhada (Shared Key)
    - As estações precisam provar sua identidade para a rede antes de transmitir qualquer informação para outras estações.
- No modo infra-estruturado a autenticação é implementada pelo Access Point.

# Problemas no WEP

- Autenticação e criptografia baseada em WEP é muito fraca
  - ◆ Foi quebrada em 2001
  - ◆ Existem programas open source para quebra de criptografia WEP
- O problema maior é que a chave de criptografia é estática
- O padrão 802.11i especifica um mecanismo de segurança mais eficiente que WEP, baseado em chaves dinâmicas → EAP TLS

# Roteiro

- Histórico do IEEE 802.11
- Introdução às redes locais sem fio
- Nível Físico e de Enlace
- Topologias do 802.11
- Protocolo WEP
- Extensões do 802.11
- Interconexão WLAN com uma LAN
- Referências



# Extensões do 802.11

- O grupo de trabalho do 802.11 estendeu o padrão inicial definindo novas características para o nível físico e MAC. Cada extensão proposta é identificada por uma letra em particular;
- O IEEE 802 tem proposto inúmeras extensões do padrão 802.11 inicial com intuito de complementar o padrão inicial, disponibilizando taxas de transmissão mais altas, suporte a QoS, segurança para transmissão das informações, maior interoperabilidade com outros padrões fora do 802.11,...
- As extensões propostas identificadas por uma sopa de letrinhas são:
  - ◆ **802.11a, 802.11b, 802.11c, 802.11d, 802.11e, 802.11f, 802.11g, 802.11h, 802.11i, 802.11j, 802.11l, 802.11m, 802.11n**

# Roteiro

- Histórico do IEEE 802.11
- Introdução às redes locais sem fio
- Nível Físico e de Enlace
- Topologias do 802.11
- Protocolo WEP
- Extensões do 802.11
  - ◆ **802.11a**
  - ◆ 802.11b
  - ◆ 802.11g
- Interconexão WLAN com uma LAN
- Referências

# Padrão IEEE 802.11a

- Esta nova especificação surgiu principalmente da **necessidade de uma maior taxa de transferência**;
- Outro fator de grande influência foi a grande quantidade de dispositivos utilizando a faixa de 2.4GHz, como por exemplo: redes 802.11b, telefones sem fio, microondas, dispositivos Bluetooth, HomeRF, etc...
- Atuando na faixa de **5GHz**, os ruídos e tráfego gerado pelos dispositivos anteriormente citados não interferem na comunicação desta rede;
- Finalizado e publicado no final de 1999;


# Padrão IEEE 802.11a

- As faixas utilizadas na banda não licenciada de 5GHz pelo 802.11a variam conforme o país;
- O 802.11a define taxas de transmissão até 54 Mbps, utilizando a OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ao invés da Spread Spectrum;

# Padrão IEEE 802.11a

- As taxas de transmissão suportada são:
  - ◆ 6, 9 ,12, 18, 24, 36, 48 e 54Mbps;
  - ◆ sendo que as taxas de 6, 12, e 24Mbps são obrigatórias para os produtos que implementam o padrão.
- IEEE 802.11a tem uma camada física incompatível com a versão IEEE 802.11b:
  - ◆ Modulação Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM).
    - Esta modulação tem um overhead menor que a DSSS (praticamente dobra a eficiência de uso da banda disponível).

# Padrão IEEE 802.11a

- A camada MAC do IEEE 802.11a é idêntica ao IEEE 802.11b.
- As desvantagens atuais: 
  - ◆ A frequência de 5GHz faz com que o sinal se atenua duas vezes mais rápido que em 2.4GHz.
  - ◆ Um grande problema que os fabricantes vêm enfrentando para a implementação desta especificação é o alto consumo de energia que os dispositivos utilizam.

# Padrão IEEE 802.11a

- As desvantagens atuais: ◀
  - ◆ Alto preço dos produtos que implementam esta tecnologia;
  - ◆ Área de cobertura pequena devido à alta frequência;
  - ◆ Limite de interoperabilidade com outras tecnologias, por ex. 802.11b e g;
  - ◆ Seu maior ponto fraco é não poder ser utilizado na Europa devido à norma que determina os padrões *HiperLan* do ETSI. O *HiperLan* é um padrão europeu para redes locais sem fio que opera na faixa de frequência 5,15-5,3 coincidindo com a U-NII (padrão americano);
    - 802.11h propõe uma solução para a coexistência dos dois padrões na mesma faixa do espectro.

# Roteiro

- Histórico do IEEE 802.11
- Introdução às redes locais sem fio
- Nível Físico e de Enlace
- Topologias do 802.11
- Protocolo WEP
- Extensões do 802.11
  - ◆ 802.11a
  - ◆ **802.11b**
  - ◆ 802.11g
- Interconexão WLAN com uma LAN
- Referências



# Padrão IEEE 802.11b

- O IEEE 802.11b define um nível físico que utiliza DSSS de taxas altas (*High Rate Direct Sequence Spread Spectrum* - HR-DSSS) como uma extensão do DSSS do padrão 802.11;
- HR-DSSS opera na faixa de frequência de **2.4GHz** incluindo as taxas de transmissão de 5.5Mbps e 11Mbps adicionalmente às taxas de 1Mbps e 2Mbps do padrão inicial;
- Finalizado e publicado no final de 1999;
- Atualmente é a implementação WLAN mais comumente utilizada;

# Padrão IEEE 802.11b

- Interoperável com a implementação do DSSS definido no padrão do 802.11. Sendo assim, é compatível com o padrão inicial;
- Para prover taxas de transmissão de dados mais altas, o 802.11b utiliza CCK (*Complementary Code Keying*), uma técnica de modulação que torna mais eficiente o uso do espectro de rádio;
  - ◆ CCK é uma técnica mais eficiente de implementar o CHIPPING CODE;

# Roteiro

- Histórico do IEEE 802.11
- Introdução às redes locais sem fio
- Nível Físico e de Enlace
- Topologias do 802.11
- Protocolo WEP
- Extensões do 802.11
  - ◆ 802.11a
  - ◆ 802.11b
  - ◆ **802.11g**
- Interconexão WLAN com uma LAN
- Referências

# Padrão IEEE 802.11g

- O propósito deste projeto é desenvolver uma extensão do nível físico do 802.11b definindo taxas de transmissão mais altas (até 54Mbps) na banda de 2.4Ghz;
- O novo padrão deve ser compatível com o 802.11 inicial e com 802.11b; Possibilitando negociação de diferentes taxas de transmissão em uma mesma WLAN;
- Ele implementa todos requisitos obrigatórios do 802.11b;
- Define uma taxa de pelo menos 20Mbps podendo chegar a 54Mbps;
- Utiliza *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) ao invés da DSSS como base para prover taxas de transmissão de dados com mais alta velocidade.

# Padrão IEEE 802.11g

- A área de cobertura de um sinal que opera a uma taxa de 54 Mbps (802.11g) normalmente é menor do que o existente nos pontos de acesso do 802.11b operando a 11 Mbps;
  - ◆ Por isso não pode ser feita uma substituição instantânea das redes 802.11b por 802.11g
- O 802.11g sofre os mesmos problemas de interferência de rádio frequência do 802.11b por operar na banda de 2.4GHz;
- Status: Finalizado e publicado como parte do padrão 802.11b, sendo um melhoramento do padrão corrente;

# Comparação entre padrões 802.11[a-b-g]

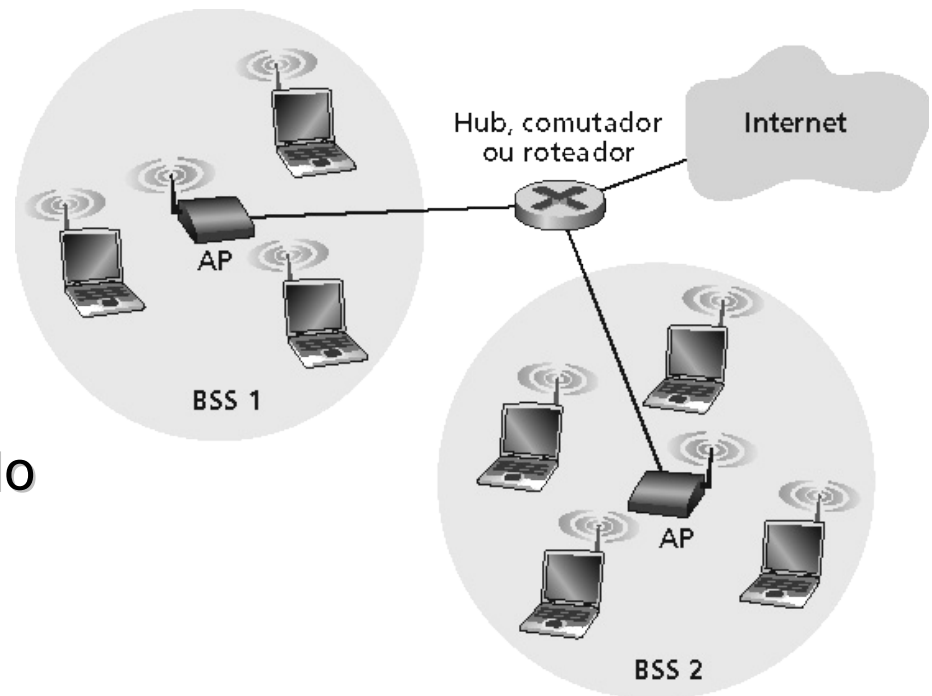
	802.11	802.11b	802.11a	802.11g
<b>Data de publicação</b>	Junho de 1997	Setembro de 1999	Setembro de 1999	Janeiro de 2002 Draft
<b>Compatibilidade</b>	Somente 802.11	802.11 e 802.11g	Somente 802.11a	802.11 e 802.11b
<b>Transferência de dados</b>	1 e 2 Mbps	Até 11Mbps	Até 54Mbps	Pelo menos 20Mbps... Até 54Mbps
<b>Frequência</b>	2.4 GHz	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz
<b>Meio Físico</b>	FHSS ou DSSS	Somente HR-DSSS	Somente OFDM	OFDM DSSS

# Roteiro

- Histórico do IEEE 802.11
- Introdução às redes locais sem fio
- Nível Físico e de Enlace
- Topologias do 802.11
- Protocolo WEP
- Extensões do 802.11
- Interconexão WLAN com uma LAN
- Referências

# Interconexão da WLAN com uma LAN

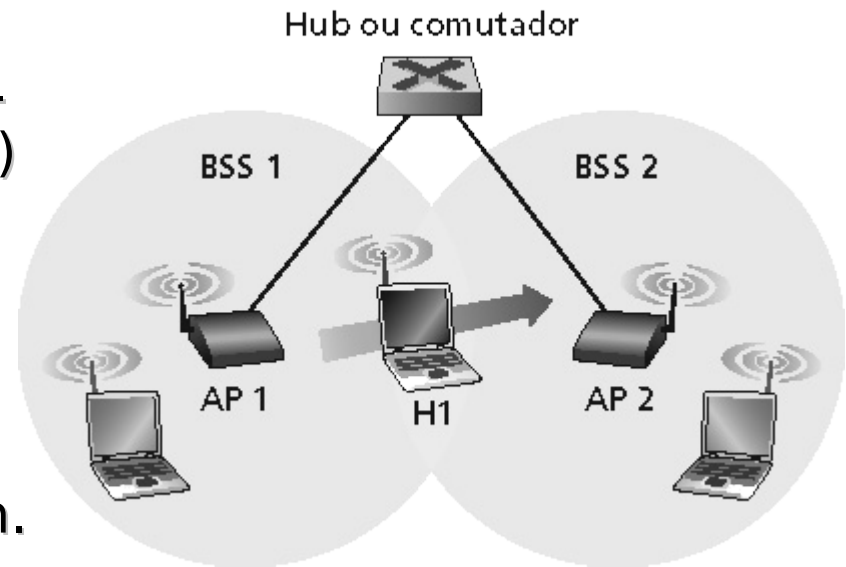
- Roteador envia quadro Ethernet para o AP com o endereço MAC de H1
- AP transforma o quadro Ethernet em um quadro 802.11, inserindo o endereço MAC do AP e do Roteador
- Todo quadro de H1 é enviado com o endereço do AP e do Roteador. Quando AP recebe o quadro, transforma-o em um quadro Ethernet.
- **AP é um dispositivo nível 2!**  
Ele não entende endereços IP!





# Mobilidade em uma mesma sub-rede

- Se dois pontos de acesso pertencem a uma mesma sub-rede, a mobilidade (e hand-off) é tratada automaticamente e não é percebida pelas aplicações: conexões TCP são mantidas
- O elemento de interligação neste caso é o hub ou o switch.
- Neste caso, o IP do dispositivo não muda!
- O único detalhe é que os switches precisam atualizar as tabelas de endereços MAC rapidamente (novo AP envia um broadcast do endereço MAC de H1 após a migração)



# Referências

- Capítulo 6, seção “Wi-Fi” :
  - ◆ **Redes de Computadores e a Internet: Uma Nova Abordagem**  
James Kurose e Keith Ross. Makron Books, 2002.
- Jim Geier; *Wireless LANs*, 2nd Edition; Published by SAMS, July 2001;
- <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>
- <http://www.wireless-nets.com/>
- <http://www.wi-fiplanet.com/>

