INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Telefonia Celular: Redes WLAN

CMS60808 – 2015/1

Professor: Bruno Fontana da Silva

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

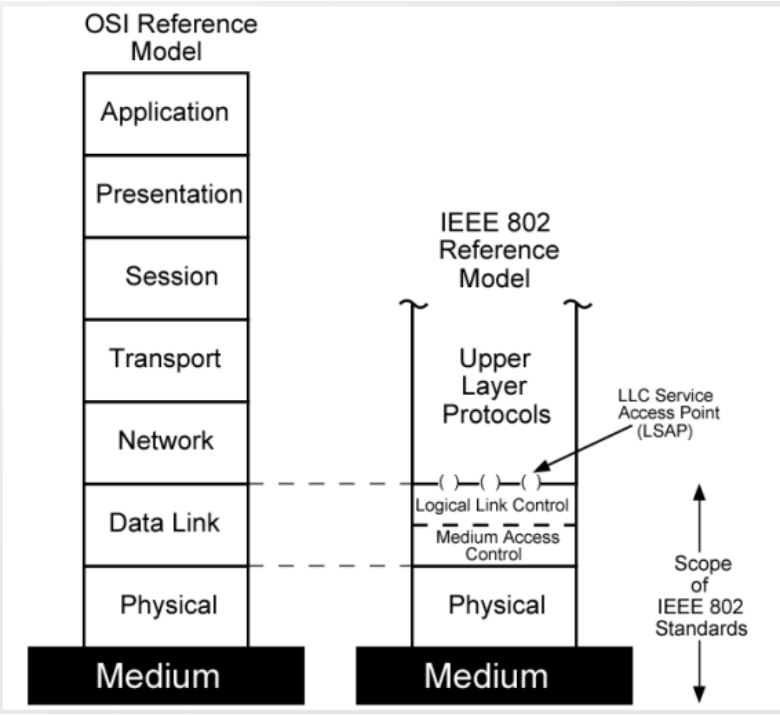
REVISÃO SOBRE REDES LOCAIS

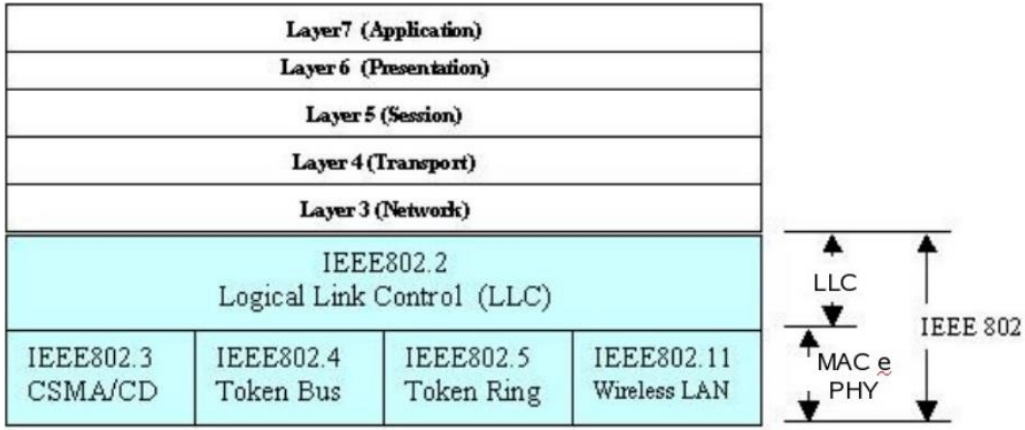
Redes Locais

- Seguem os padrões IEEE 802
  - **IEEE**: Institute of Electronics and Electrical Engineers
  - **802**: projeto de padronização de redes locais (LANs)
- Escopo sobre as camadas física e de enlace do modelo OSI
- Primeira rede local foi a primeira versão da Ethernet (pela Xerox, 1980)
- Ethernet foi padronizada pelo grupo de trabalho 3 do projeto 802 da IEEE
  - Daí o nome do padrão **IEEE 802.3** para redes Ethernet.

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Redes Locais





INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Arquitetura 802.11

- **(1) Camada Física (PHY):**
  - Codificação
  - Geração de preâmbulo (sincronização)
  - Transmissão e recepção de bits
  - Meio físico e topologia
- **(2) Camada de Enlace**
  - **(2.2) Subcamada LLC (Logical Link Control)**
    - Interface para camadas superiores
    - Controle de erro e fluxo
    - Padrão IEEE 802.2
  - **(2.1) Subcamada de acesso ao meio (MAC)**
    - Especificação do formato do quadro
    - Endereçamento
    - Controle de acesso ao meio (MAC)

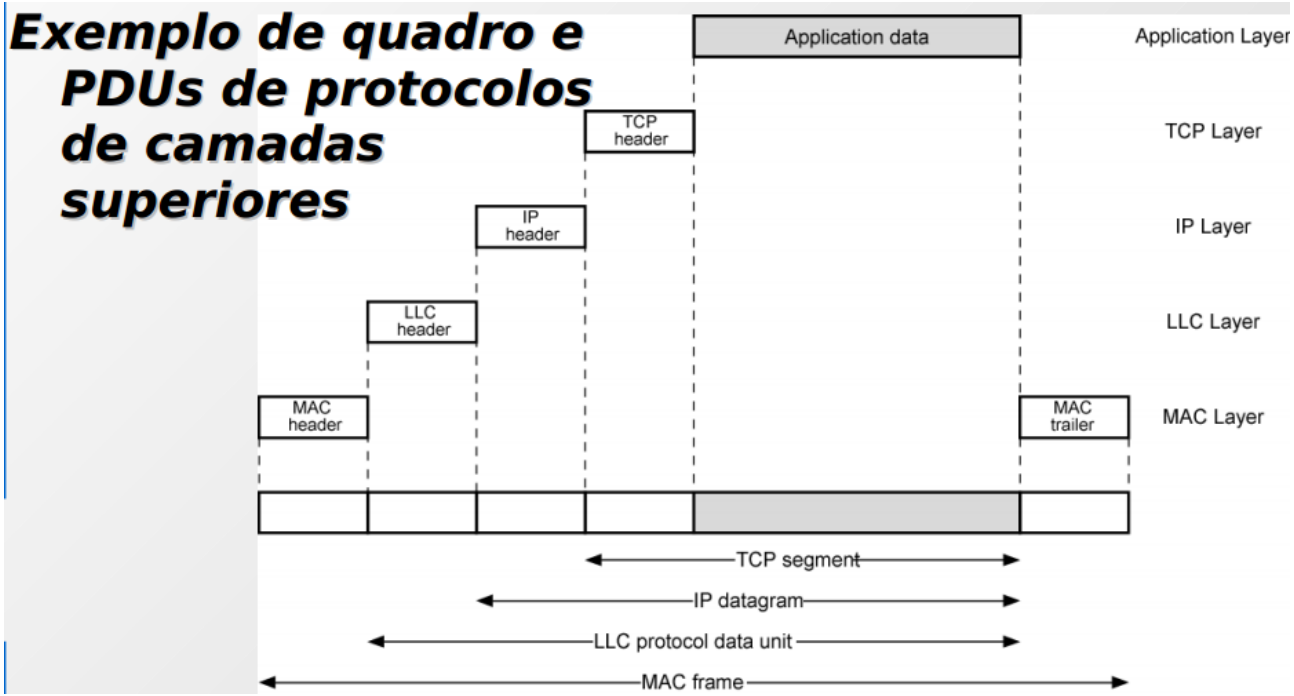
(MAC): Depende do meio particular (Ethernet, token ring, FDDI, 802.11, etc.)

(PHY): também depende do meio físico e até da natureza/topologia da rede

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Formato de Quadro LAN

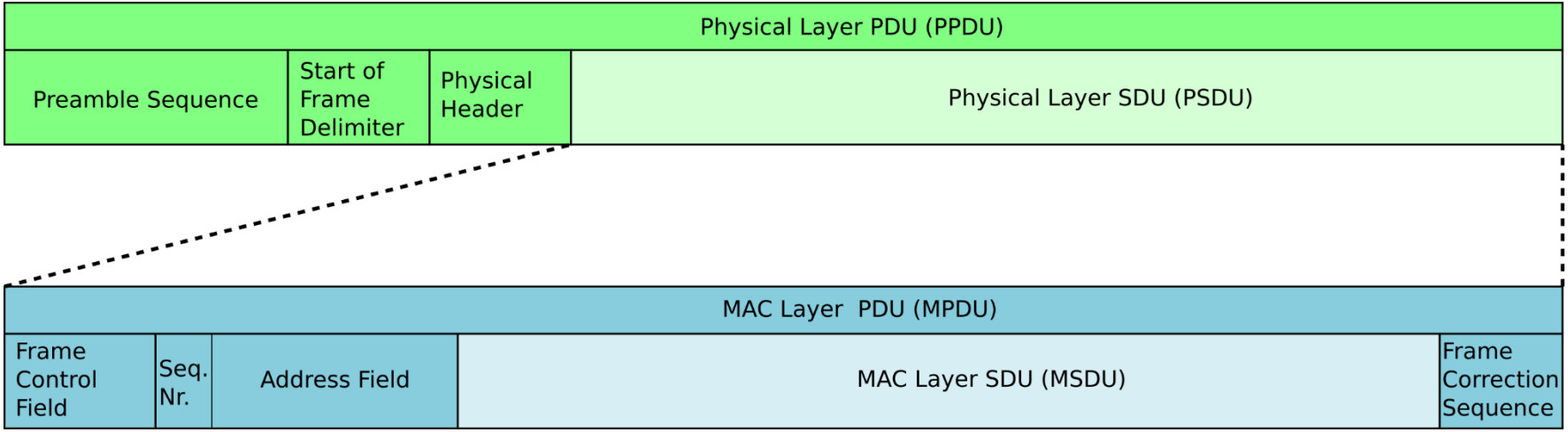
- Unidades de Dados de Protocolo (PDUs) da Aplicação ao MAC



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

PPDU e MPDU Genéricos

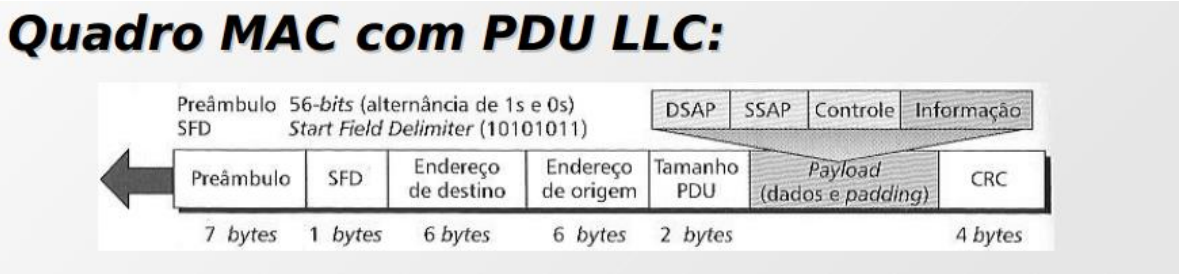
- Unidades de Dados de Protocolo (PDUs) das camada PHY e subcamada MAC



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Formato de Quadro de Enlace (LAN)

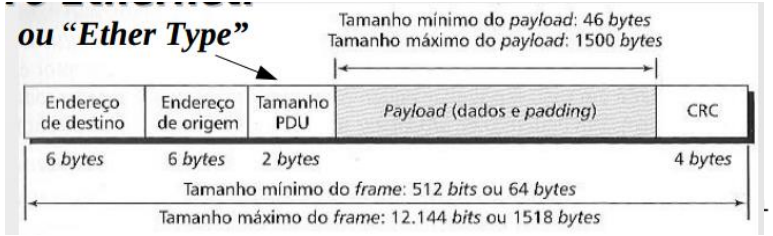
- Quadro MPDU com uso do encapsulamento LLC:



- Ethernet opera nas camadas 1 (PHY) e 2 (MAC)

- Exemplo comum de MPDU:

(pré-âmbulo LLC não é muito utilizado)



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Redes locais sem fio.

WLAN:
WIRELESS LOCAL AREA NETWORK

Wireless Local Area Network

- Motivação: **mobilidade** para o usuário.
- Filosofia da telefonia celular trazida pra redes locais.
- **Flexibilidade** da infra-estrutura em relação às redes cabeadas.
  - Posicionamento/distribuição relativamente rápidos.
  - Múltiplo acesso é “natural”.
- Vantagens da **cobertura** por ondas de rádio.

Arquitetura 802.11

- WLANs foram padronizadas pelo grupo de trabalho 11 (**IEEE 802.11**)
- Subgrupos de trabalho (“forças-tarefa” TG) revisam particularidades ou incrementam funcionalidades à padronização geral. Uma letra minúscula é associada à essas TGs.
- O primeiro subgrupo que ganhou destaque para padronização de redes sem fio foi o TGb, o qual concebeu o padrão **IEEE 802.11b**.

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Arquitetura 802.11

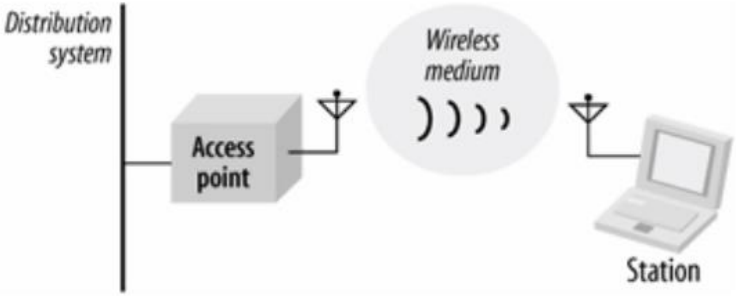
- Resumo dos principais padrões WLAN da IEEE 802.11

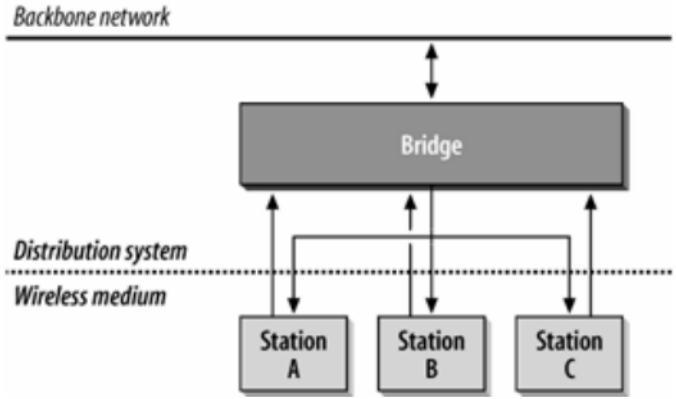
	802.11A	802.11B	802.11G	802.11N
Date of standard approval	July 1999	July 1999	June 2003	Oct 2009
Maximum data rate (Mbps)	54	11	54	~600
Modulation	OFDM	CCK or DSSS	CCK, DSSS, or OFDM	CCK, DSSS, or OFDM
RF Band (GHz)	5	2.4	2.4	2.4 or 5
Number of spatial streams	1	1	1	1, 2, 3, or 4
Channel width (MHz) nominal	20	20	20	20, or 40

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Componentes de uma WLAN

- **Estações Fixas/Móveis (FS ou MS)**
- **Access points (APs)**
  - Função mais importante é ser a ponte (bridge) entre o mundo sem fio e a rede com cabeada.
- **Meio sem fio (WM)**
- **Sistema de distribuição (DS)**
  - Interconexão entre componentes da rede sem fio; componente lógica da rede sem fio. Na prática, é utilizado como uma combinação entre mecanismo de *bridging* e meio de roteamento de pacotes entre nós (*pode ser visto como interface para a rede backbone, ex. Ethernet*).

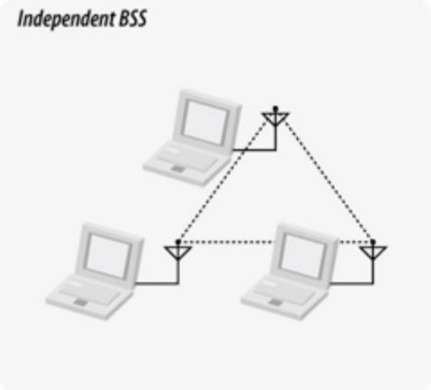




Definição: BSS

- **Basic Service Set**
- Um grupo de estações que se comunicam (entre si).
- A comunicação se dá numa região definida como *basic service area* (BSA).
  - É definida pelas condições de propagação do meio sem fio.
- Uma estação na BSA pode se comunicar com outros membros do BSS.

Tipos de BSS



- **Redes independentes (IBSS)**

  As estações se comunicam diretamente entre si.

  Devem estar, portanto, dentro da faixa de comunicação adequada.

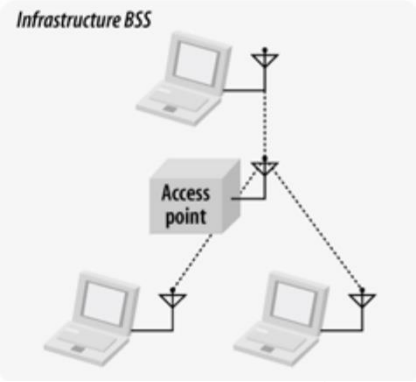
  Menor tamanho possível: 2 nós (2 estações).

  Geralmente criadas para aplicações específicas e por curtos períodos de duração.

  Ex.: *ad hoc*, mesh.

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Tipos de BSS



- **Redes infraestruturadas**

  São distintas pelo uso de APs.

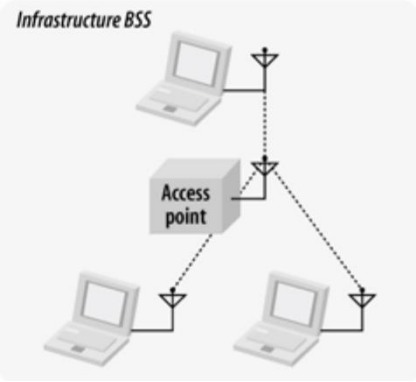
  APs são utilizados para todas as comunicações neste tipo de rede, inclusive nó-para-nó na mesma BSA. O AP é um *relay* que roteia os pacotes entre os nós da rede.

  Algumas Vantagens:

  - *Os nós só precisam estar na região de cobertura de sinal do AP. A distância entre nós é irrelevante.*
  - *APs podem auxiliar gerenciamento de energia de nós de baixo consumo, guardando pacotes para transmitir somente quando necessário.*

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Tipos de BSS



- **Redes infraestruturadas**

  Cada nó da rede deve se associar com um AP.

  Um nó pode associar-se exclusivamente com um AP.

  Um AP pode ter um número ilimitado de nós.

  - Mas é claro, limitações práticas de implementação existem.

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

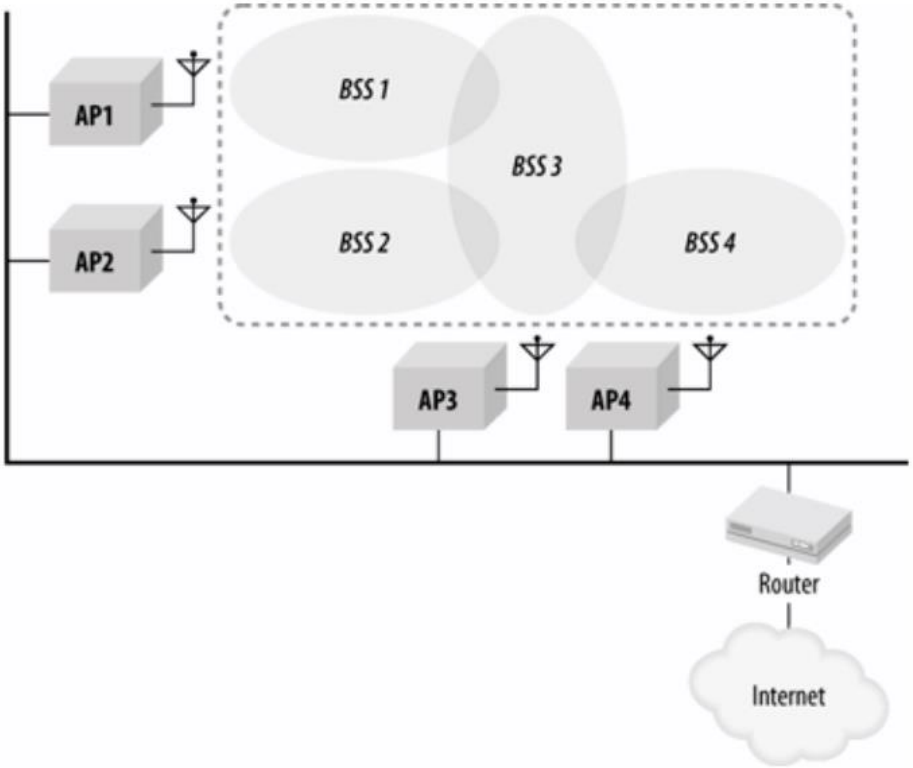
Redes Estendidas

- **Extended Service Set (ESS)**
- É criado pelo encadeamento de diferentes BSSs junto com uma rede de *backbone*.
- Todos os APs de uma ESS recebem o mesmo identificador de serviço (SSID – *service set identifier*), o qual é o “nome” da rede para os usuários.
- VLANs de chipsets modernos permitem que um único AP ofereça, por exemplo, dois SSIDs (*um para convidado e outro para usuários internos*).

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Redes Estendidas

- **Extended Service Set (ESS)**
- Ao lado, um exemplo de ESS.
- É desejável uma cobertura contínua (*sem obrigar o usuário a planejar seu deslocamento entre* BSSs)**.**
- Comunicação entre nós (*independente de suas* BSSs) deve se dar como uma camada 2 (*enlace*). Os APs tornam-se pontes, e a rede backbone também é vista como um enlace.

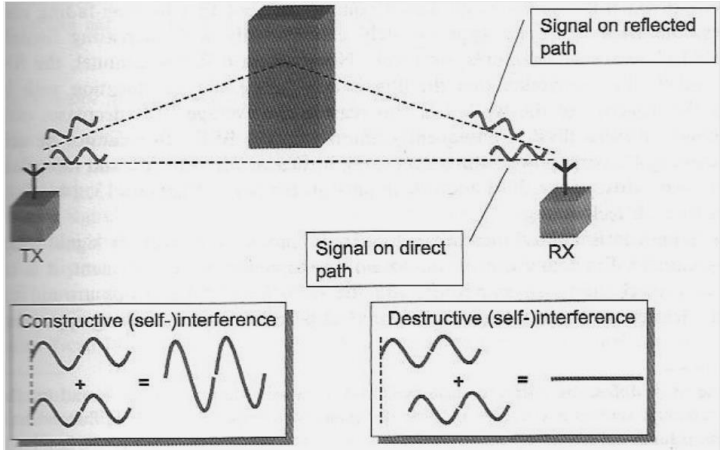


Qualidade do Sinal

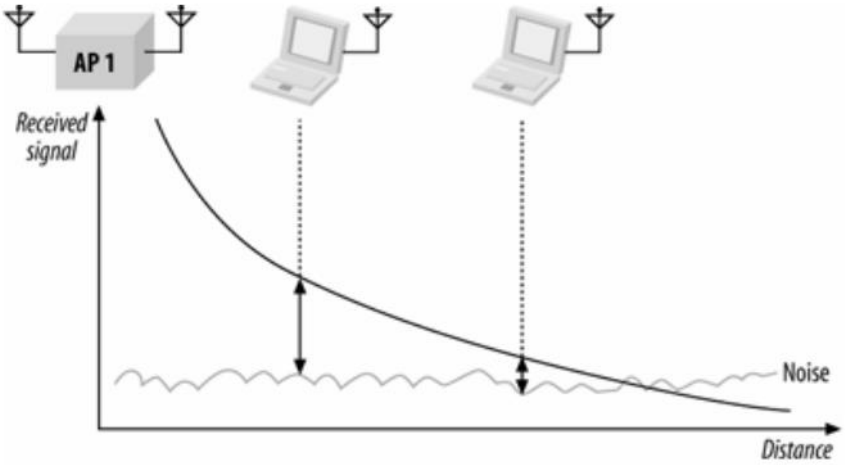
- É afetada pelo meio de propagação.
- A **distância** de propagação Tx→Rx afeta a potência do sinal recebido.
- Múltiplas reflexões do sinal propagado geram um fenômeno conhecido como **desvanecimento multipercurso**.
- Pode ocorrer também **sombreamento** do sinal em algumas regiões da área de serviço.
- **Ruído** e **interferência** (inclusive de outros equipamentos WLAN) podem prejudicar a qualidade do sinal.

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Qualidade do Sinal



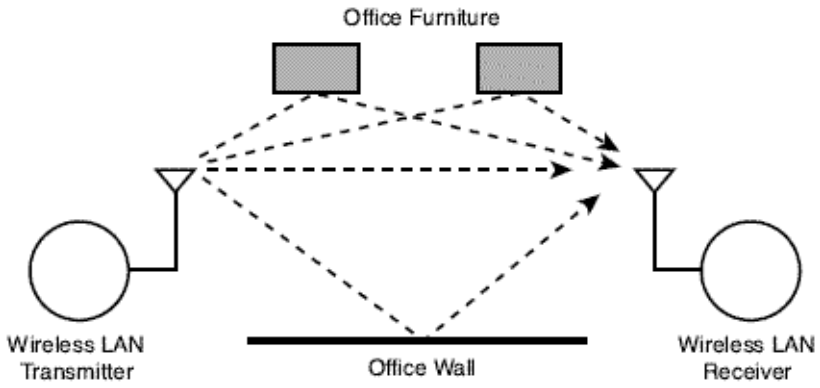
Modelo de longa distância com reflexão.



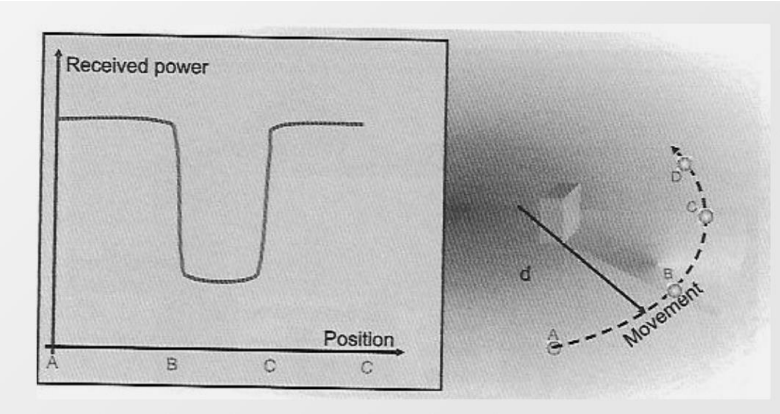
Perda de potência em função da distância.

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Qualidade do Sinal



Multipercurso (pequenas distâncias com obstáculos).



Exemplo de sombreamento no nível de sinal para um caso de mobilidade.

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Qualidade do Sinal

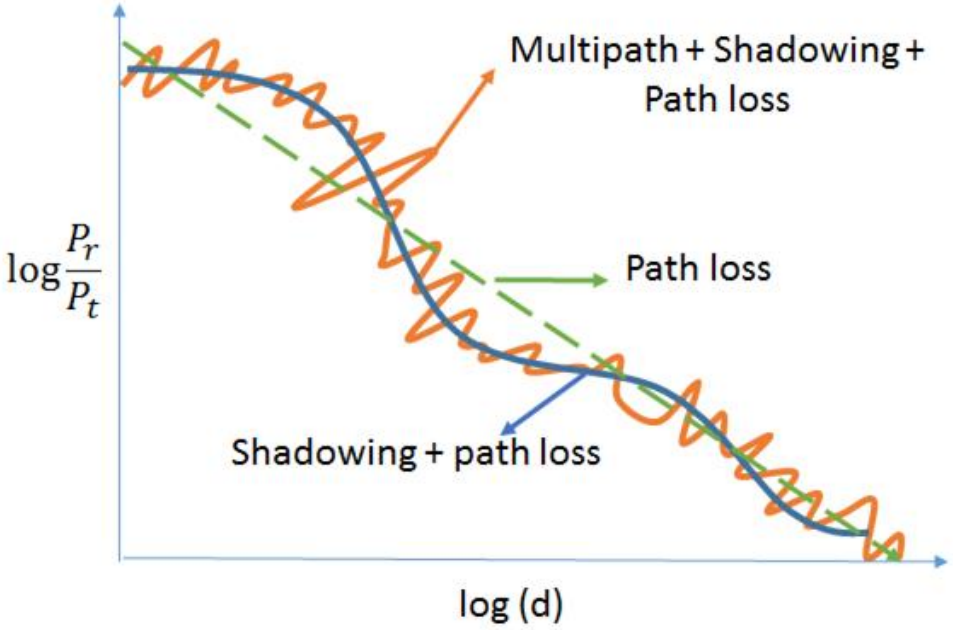
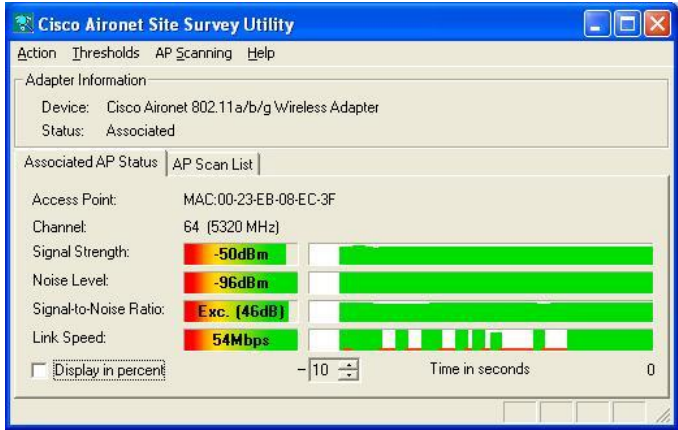


Ilustração dos efeitos do ambiente sobre o nível de potência do sinal recebido.

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

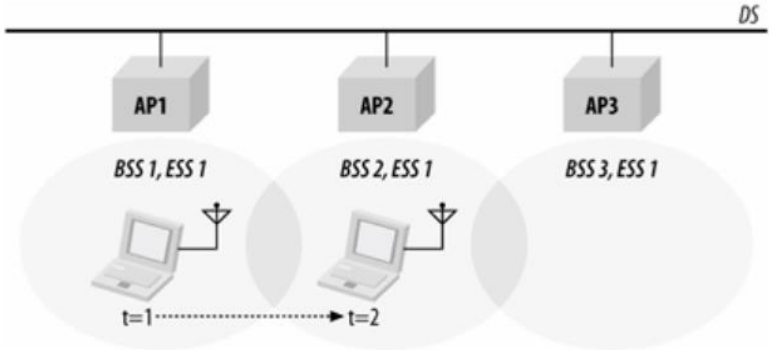
Indicadores da Qualidade do Sinal

- **Received Signal Strength Indication (RSSI)**
  - Previsto pelo 802.11 como indicador de nível potência de sinal recebido na estação.
- **Razão sinal-para-ruído (SNR)**
  - Necessita da informação sobre o nível de ruído e do RSSI.
- **Razão sinal-para-interferência (SIR)**
- **Taxa de erro de Frame (FER)**



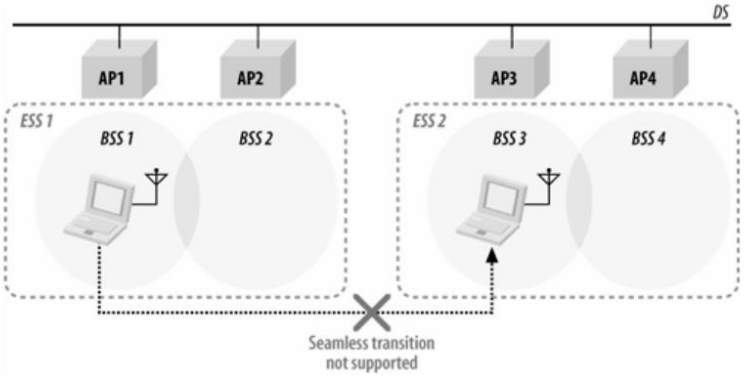
Mobilidade: Transições de BSS

- As estações continuamente monitoram o nível e qualidade de sinal dos APs de uma ESS.
- Dentro de uma ESS, a camada MAC do 802.11 prevê mobilidade.
- O serviço de reassociação é utilizado para transições de BSS.
- APs precisam cooperar para realizar a transição.
- O DS não precisa conhecer a posição da estação desde que ela esteja na área de serviço estendida.



Mobilidade: Transições de ESS

- O padrão 802.11 **não suporta** mobilidade entre ESSs.
- Na transição entre duas ESSs distintas, as conexões com camadas superiores são (quase-certamente) interrompidas. Para manter serviços, é necessário suporte das camadas superiores (ex: Mobile IP).
- O procedimento durante a mudança é, ao sair de uma ESS1, por exemplo, associar-se a um AP da ESS2.



Serviços do 802.11

Service	Station or distribution service?	Description
Distribution	Distribution	Service used in frame delivery to determine destination address in infrastructure networks
Integration	Distribution	Frame delivery to an IEEE 802 LAN outside the wireless network
Association	Distribution	Used to establish the AP which serves as the gateway to a particular mobile station
Reassociation	Distribution	Used to change the AP which serves as the gateway to a particular mobile station
Disassociation	Distribution	Removes the wireless station from the network
Authentication	Station	Establishes station identity (MAC address) prior to establishing association
Deauthentication	Station	Used to terminate authentication, and by extension, association
Confidentiality	Station	Provides protection against eavesdropping
MSDU delivery	Station	Delivers data to the recipient
Transmit Power Control (TPC)	Station/spectrum management	Reduces interference by minimizing station transmit power
Dynamic Frequency Selection (DFS)	Station/spectrum management	Avoids interfering with radar operation in the 5 GHz band

Quadro resumo dos serviços oferecidos e (possivelmente) implementados em redes WLAN.

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

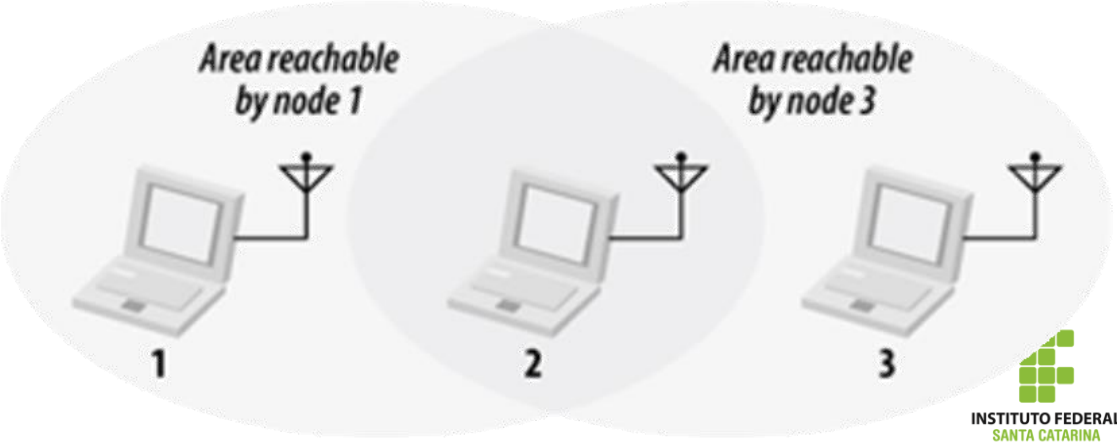
INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Redes locais sem fio.

WLAN:
CAMADA DE ENLACE (MAC)

Hidden Node Problem

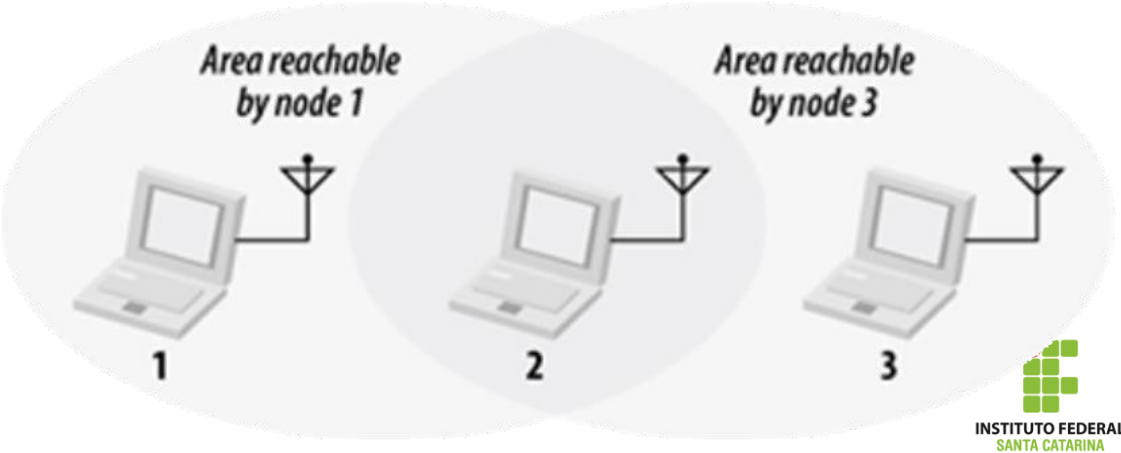
- As “fronteiras” de cobertura dos nós sem fio são confusas e irregulares.
- Os nós 1 e 3 do exemplo da Figura abaixo não são visíveis entre si.
- Como evitar colisões de pacotes enviados de 1 ou 3 (origem) para o nó 2 (destino)?



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Hidden Node Problem

- Protocolos “transmit-and-pray” (ex.: UDP) não são muito adequados nesta situação (para evitar colisões).
- **Solução**: o 802.11 permite o uso de quadros RTS, CTS e ACK para prevenir colisões de pacotes.

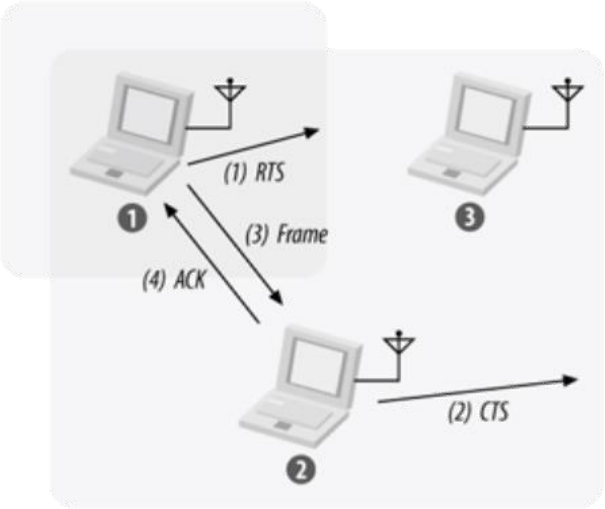


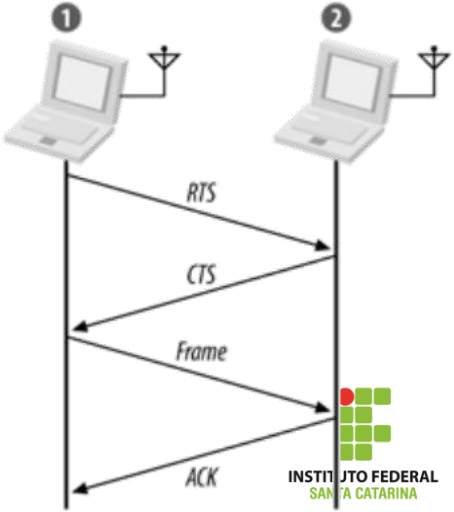
INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Liberação RTS/CTS

- A Figura abaixo mostra a transmissão de um quadro MAC/PHY como uma “única operação” que inclui os quadros *Request to Send* (RTS), *Clear to Send*, PPDU (quadro a ser transmitido) e *Acknowledgment* (ACK).

- RTS e CTS também silenciam nós nas imediações da BSA.





INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Liberação RTS/CTS

- **Desvantagem**: latência e baixa eficiência espectral (bits de informação útil por uso do canal).
- Nem sempre é utilizado. Quando há poucos nos associados a um AP, há capacidade suficiente para realizar retransmissões, ou baixo risco de colisões.
- **Critério**: estabelecer um *threshold* (em termos de comprimento de quadro) para habilitar ou desabilitar o uso do procedimento RTS/CTS. Quadros curtos não necessitam RTS/CTS.

802.11: Modos de Acesso MAC

- Acesso ao meio sem fio é controlado por **funções coordenadoras**.
- **Função coordenadora distribuída (DCF)**
- **Função coordenadora pontual (PCF)**
- **Função coordenadora híbrida (HCF)**

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

802.11: Modos de Acesso MAC

- **Função coordenadora distribuída (DCF)**
  - Mecanismo de acesso padrão.
  - Verifica se o link de rádio está livre antes de transmitir.
  - Para evitar colisões, as estações usam *backoff* aleatório após cada quadro.
  - Pode usar RTS/CTS em algumas situações.

802.11: Modos de Acesso MAC

- **Função coordenadora pontual (PCF)**
  - Oferece serviços livres de contenção.
  - Estações especiais (*coordenadores pontuais,* localizados nos APs) são usados para garantir que o meio será oferecido sem contenção.
  - Restrito a BSS infraestruturadas.
  - Permite transmissões em pequenos intervalos para ganhar prioridade sobre serviços com padrões de contenção.
  - Não é largamente implementada.

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

802.11: Modos de Acesso MAC

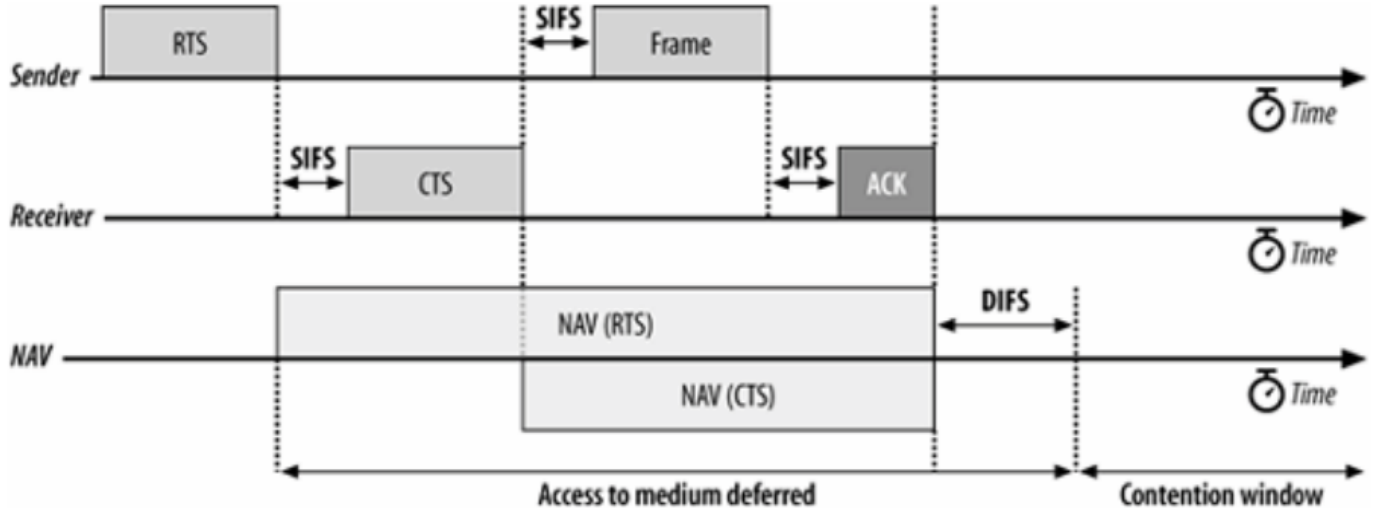
- **Função coordenadora híbrida (HCF)**
  - Regulamentado pelo 802.11e
  - Dois tipos de métodos de acesso ao meio: HCCA e EDCA.
  - Ambos os tipos definem categorias diferentes de tráfego de dados, onde prioridades diferentes são atribuídas nas filas de espera.
  - Implementação complexa.
  - Funcionamento dinâmico para melhorar a Qualidade de Serviço (QoS).

802.11: Modos de Acesso MAC

- **Network Allocation Vector (NAV)**
  - É um timer que indica uma quantidade fixa de tempo (em μs) que o meio será reservado.
  - As estações ajustam o NAV para o tempo que esperam precisar utilizar o meio, incluindo todos os quadros até o fim da operação corrente.
  - Outras estações fazem uma contagem regressiva do NAV até zero.
  - Essa é uma forma “virtual” de indicar que o meio está sendo ocupado (*virtual carrier-sensing mechanism*).

802.11: Modos de Acesso MAC

- **Network Allocation Vector (NAV)**



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

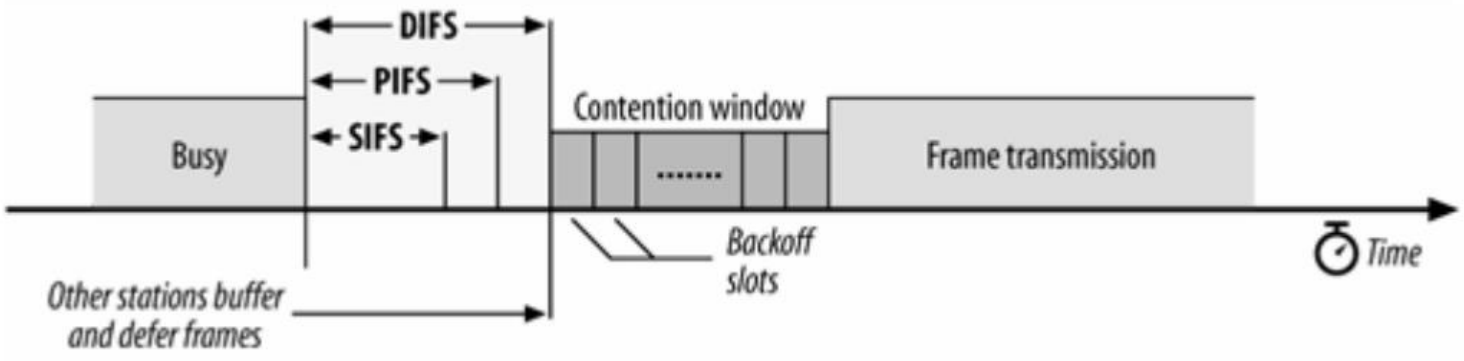
Espaço entre quadros (IFS – *Interframe Spacing*)

- **Short IFS (SIFS)**
  - Utilizado para quadros de alta prioridade (RTS/CTS, ACK positivo, etc.).
- **PCF IFS (PIFS)**
  - Usado pelo PCF em operação sem contenção. Podem acabar interrompendo tráfego baseado em contenção.
- **DCF IFS (DIFS)**
  - Tempo médio mínimo de inatividade para serviços baseados em contenção.
- **Extended IFS (EIFS)**
  - Não possui intervalo fixo. É utilizado quando há erros na transmissão do quadro.

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Espaço entre quadros (IFS – *Interframe Spacing*)

- Ilustração da relação entre os espaços entre quadros.



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

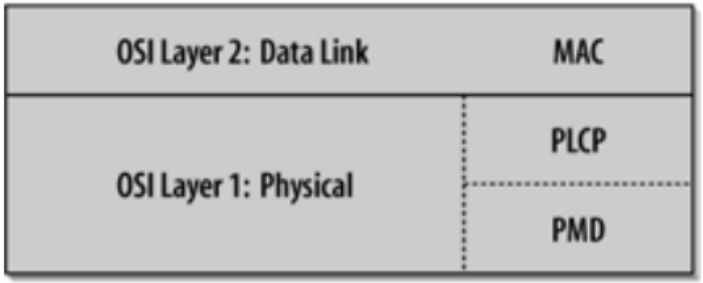
INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Redes locais sem fio.

WLAN:
CAMADA FÍSICA (PHY)

802.11: Camada Física (PHY)

- Assim como o enlace, a camada física divide-se em duas subcamadas:
  - **Physical Layer Convergence Procedure (PLCP) sublayer**
  - **Physical Medium Dependent (PMD) sublayer**



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

802.11 PHY: Padronizações

- 802.11 (revisão inicial de 1997) padroniza os três seguintes tipos de PHY de rádio:
  - Frequency Hoping Spread-Spectrum (**FHSS**) PHY;
  - Direct Sequence Spread Spectrum (**DSSS**) PHY;
  - Infrared Light (**IR**) PHY.
- Outras camadas físicas baseadas em tecnologias de radiotransmissão foram desenvolvidas e padronizadas posteriormente:
  - 802.11a: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (**OFDM**) PHY;
  - 802.11b: High-rate Direct Sequence (HR-DS ou **HR-DSSS**) PHY;
  - 802.11g: Extended Rate PHY (**ERP**)
  - 802.11n: **MIMO PHY** ou High-throughput PHY

802.11 PHY: Uso do espectro de rádio

- Na maior parte dos países, o uso do espectro é licenciado pelo governo.

- Bandas ISM: não licenciadas (uso livre, ex.: 2.4 GHz).

- Há outras frequências não licenciadas na faixa de 5 GHz (varia entre países).

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

802.11 PHY: Spread Spectrum

- Técnicas clássicas de radiotransmissão: utilizar a menor banda possível para enviar a maior quantidade de informação possível.
- **Problema nas bandas ISM:** excesso de interferência de diversos dispositivos.
- **Requisitos de órgãos regulamentadores:** uso de técnicas de acesso ao meio com espalhamento espectral.

802.11 PHY: Spread Spectrum

- *Spread spectrum*: utiliza funções matemáticas que espalham um sinal de banda "estreita" por uma faixa mais larga do espectro, antes da transmissão. No receptor, a função inversa é aplicada, recuperando o sinal e com alta energia em relação a ruídos e interferência.

802.11 PHY: Spread Spectrum

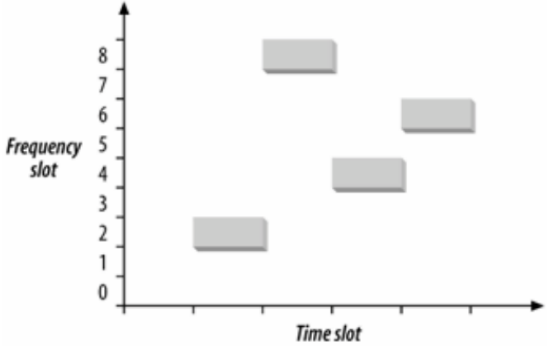
- Dispositivos de banda estreita são incapazes de detectar os sinais, observando apenas “ruído”.

- Limites de potência (FCC): 1 W de potência de saída e 4 W de potência de radiação efetiva (ERP).

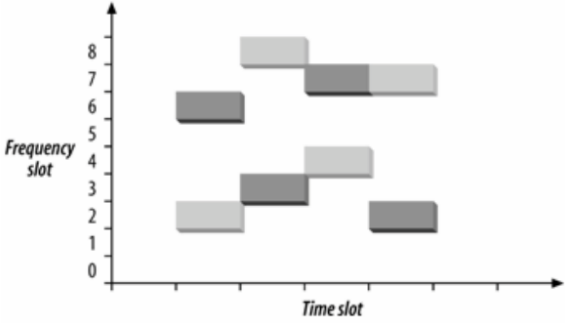
802.11 PHY: Spread Spectrum

- ***Frequency Hopping (FHSS)***
- A frequência de transmissão depende do tempo. A energia se espalha por uma faixa larga de frequências. Usa modulação GFSK. Diversos canais com banda de 1 MHz.

Transmissão de um usuário.



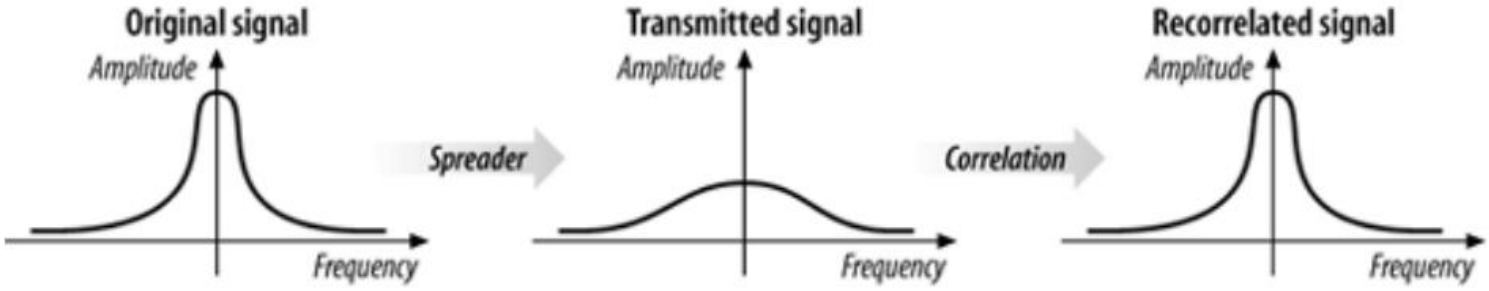
Múltiplo acesso ortogonal.



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

802.11 PHY: Spread Spectrum

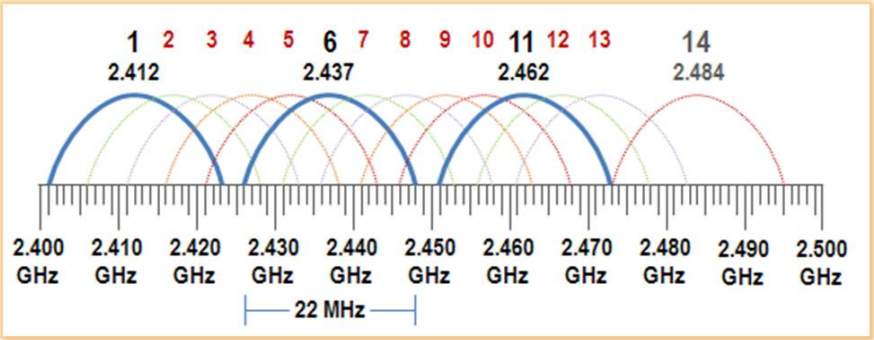
- ***Direct Sequence (DSSS)***
- Regulamentada pela 802.11b, permite taxas maiores que FHSS (5.5 e 11 Mbps).
- Espalha o espectro do sinal de forma altamente controlada, usando técnicas de correlação de sinais. Usa modulação DPSK ou CCK.

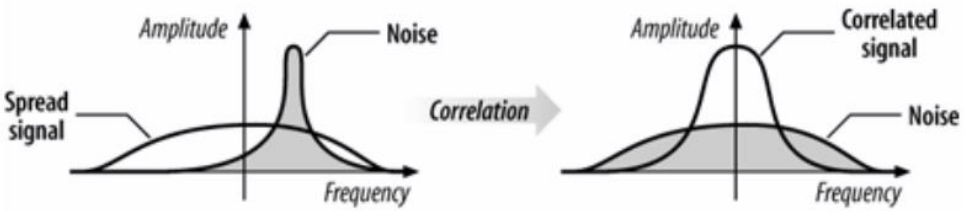


INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

802.11 PHY: Spread Spectrum

- ***Direct Sequence (DSSS)***
- Poucos canais com banda mais larga (14 canais $\times$ 5 MHz na faixa 2.4 GHz).
- Os canais se espalham por uma largura de 22 MHz.
- Os canais 1, 6 e 11 não se sobrepõem.





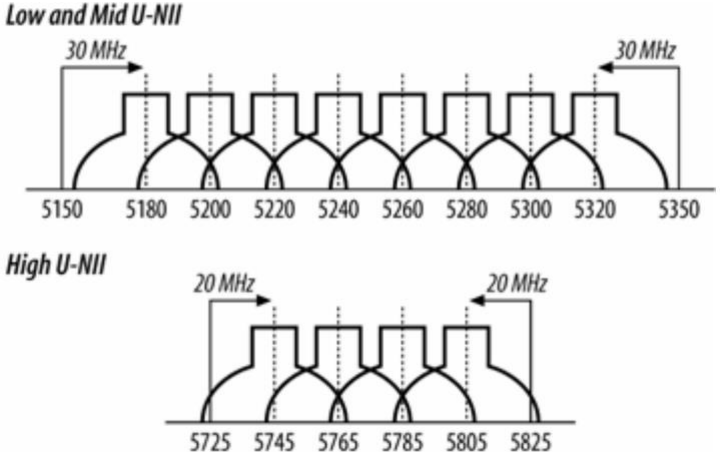
802.11 PHY: Spread Spectrum

- ***Orthogonal Multiplexing Frequency Division (OFDM)***
- Semelhante à divisão por multiplexação na frequência (FDM), porém considera bandas de frequência que se sobrepõem, mas não interferem uma nas outras. Divide uma faixa larga de frequência em pequenas faixas mais estreitas (conhecidas como subportadoras), como se fossem vários canais com baixa taxa de transmissão de dados, mas multiplexados (em paralelo).
- Usa modulações M-QAM

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

802.11 PHY: Spread Spectrum

- ***Orthogonal Multiplexing Frequency Division (OFDM)***
- 802.11a foi a primeira padronização com uso de OFDM (separa canais na faixa de 5 GHz em bandas de 5 MHz). O sinal é transmitido por uma banda de 20 MHz (4 canais simultâneos).
- 802.11a foi desenvolvido originalmente para os EUA, e 802.11h e 802.11j posteriormente para Europa e Japão, respectivamente.



802.11g: Extended Rate PHY (ERP)

- São algumas modificações e adaptações dos protocolos anteriores para oferecer as vantagens e altas taxas do 802.11a, porém na faixa de frequência ISM 2.4 GHz, oferecendo inclusive maior área de cobertura (devido à menor faixa de frequência).

- Possui diversos modos de operação, sendo os principais conhecidos como **ERP/DSSS e ERP/CCK** (*retro-compatíveis com equipamentos 802.11b*) e **ERP OFDM** (modo principal com velocidades variando **de 6 a 54 Mbps**).

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

802.11g: Extended Rate PHY (ERP)

IEEE 802.11G WI-FI FEATURES	
FEATURE	802.11G
Date of standard approval	June 2003
Maximum data rate (Mbps)	54
Modulation	CCK, DSSS, or OFDM
RF Band (GHz)	2.4
Channel width (MHz)	20

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

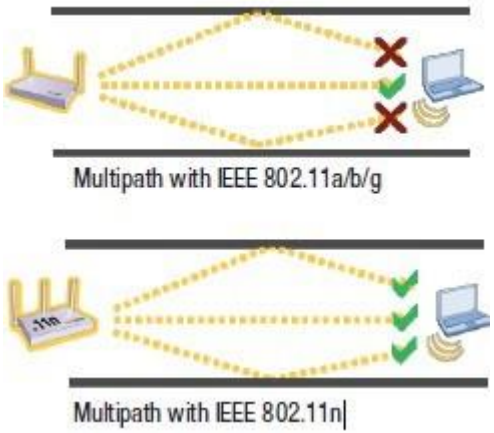
802.11n

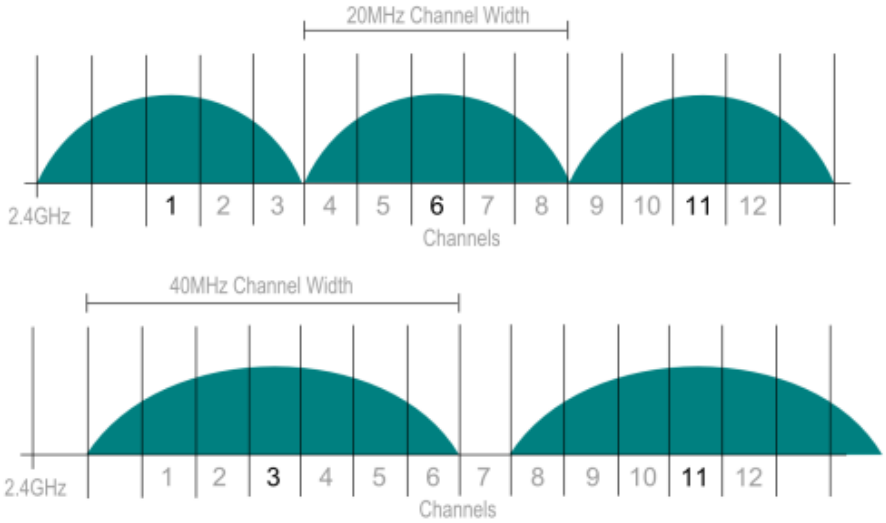
- O TGn foi iniciado em 2004 com o objetivo de buscar taxas de transmissão ainda mais altas, em relação aos padrões 802.11 a/b/g.
- Os dispositivos são retro-compatíveis com os padrões anteriores.
- Introduz o uso de largura de banda de 40 MHz e possibilidade do uso de múltiplas antenas para transmissão/recepção (MIMO). O padrão prevê até o caso de 4 antenas transmissoras e 4 antenas receptoras recebendo 4 quadros diferentes ($4 \times 4: 4$).
- Máxima taxa de transmissão possível (em condições ideais sem interferência) pode chegar a 600 Mbps.

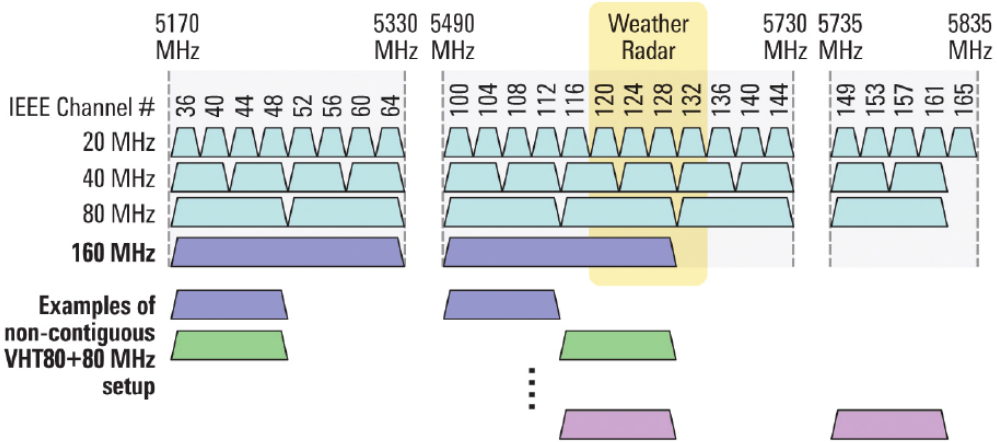
INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

802.11n

Ilustrações das principais modificações do 802.11n.







INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

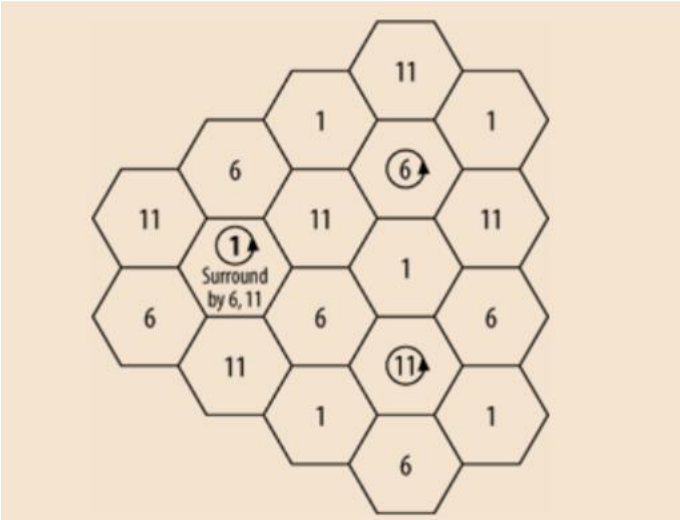
Redes locais sem fio.

WLAN:
PLANEJAMENTO E PROJETO

Reuso de Frequências

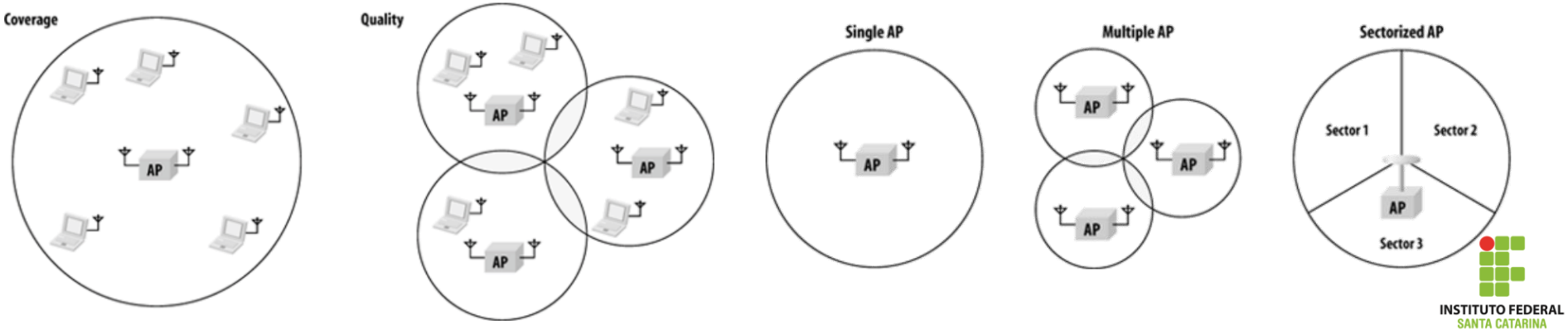
- Minimizar a interferência entre APs de uma ESS considerando pico-células com a estratégia de clusters e reuso de frequências.

- A figura ao lado ilustra uma estratégia de planejamento para os canais de largura de 20 MHz na banda ISM 2.4 GHz.



Cobertura × Qualidade

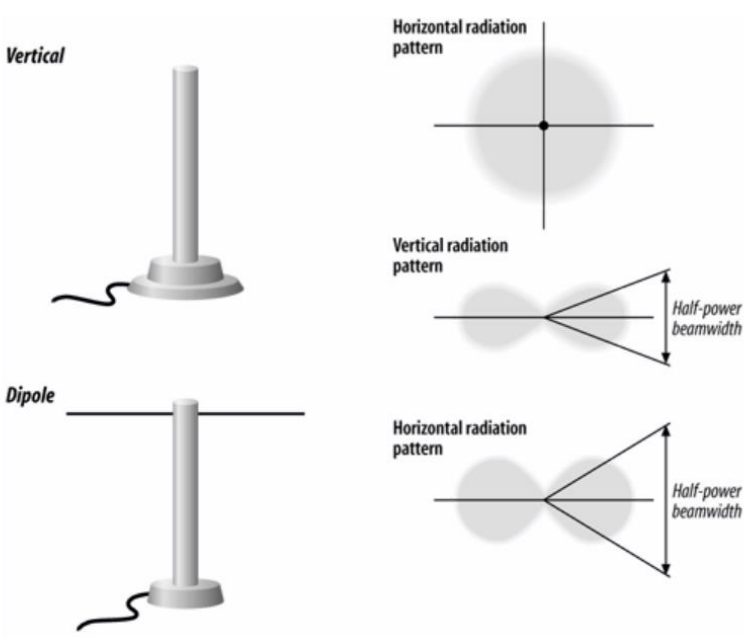
- Estratégias de controle de potência para controlar raios das células, escolhendo entre uso de único AP ou múltiplos APs.
- Estratégia de setorização com APs com antenas direcionais.

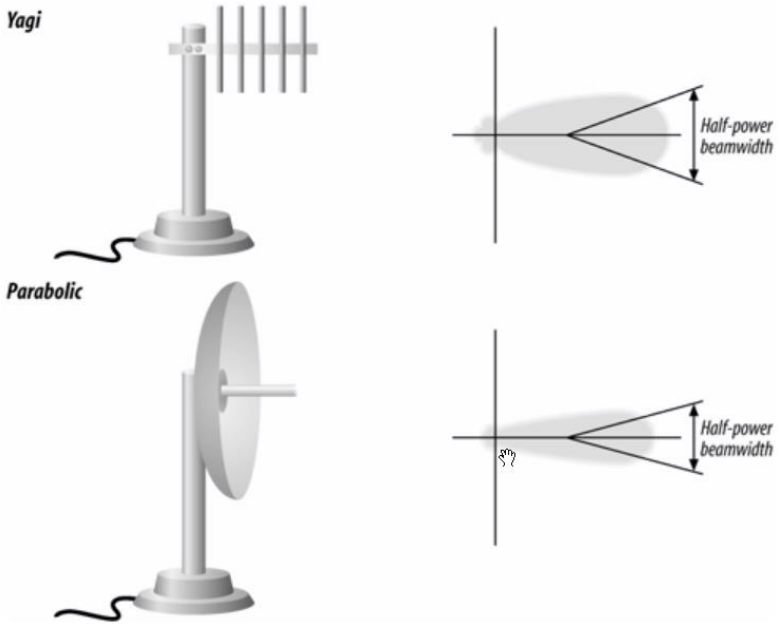


INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Diretividade de Antenas

Atentar para posicionamento na instalação do AP (vertical, horizontal, teto, parede, etc.).





“Regras do polegar”

- Algumas recomendações genéricas para capacidade (diferentes tecnologias) e raio de cobertura (diferentes tipos de ambiente).

Client Capability	Channel Width	Spatial Streams	Minimum PHY Rate	Maximum PHY Rate
Legacy 802.11b	20 MHz	1	1 Mbps	11 Mbps
Legacy 802.11g	20 MHz	1	1 Mbps	54 Mbps
Legacy 802.11a	20 MHz	1	1 Mbps	54 Mbps
802.11n 1 stream client (1x1:1)	20 MHz	1	6.5 Mbps	72.2 Mbps
802.11n 1 stream client (1x1:1)	40 MHz	1	13.5 Mbps	150 Mbps
802.11n 2 stream client (2x2:2)	40 MHz	2	13 Mbps	300 Mbps

Table 3 - Common 802.11 PHY rates

Table 23-1. Rule of thumb capacity for different 802.11 technologies

Technology	Approximate capacity
802.11 direct sequence	1.3-1.5 Mbps
802.11b	6 Mbps
802.11g, with protection	15 Mbps
802.11g, no protection	30 Mbps, although this will be rare
802.11a	30 Mbps

Table 23-5. "Rule-of-thumb" coverage radius for different types of space

Type of space	Maximum coverage radius (2.4 GHz)	Maximum coverage radius (5 GHz)
Closed office	Up to 50-60 feet	35-40 feet
Open office (cubicles)	Up to 90 feet	60 feet
Hallways and other large rooms	Up to 150 feet	75 feet
Outdoors (without antenna engineering)	Up to 300 feet	Don't even bother!
Outdoors (with custom antennas)	Many miles	Don't even bother!

Exemplo de Configurações Básicas

- SSID/senha
- Modos de Segurança
- WPS: WiFi Protected Setup
- Interface (b, g, n)
- Canal de controle
- Largura de banda do canal
- % potência de transmissão
- Tipo de uplink

Referências Bibliográficas

GAST, M. **802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide**. 2ª ed. O'Riley, 2005.

RadioElectronics.com. **IEEE 802.11 Standards Tutorial**. Disponível em: http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11-standards-tutorial.php, acessado em 07/04/2015 às 17h.

SOBRAL, M. **WLAN: IEEE 802.11**. Notas e slides de aula da disciplina RCO20703. IFSC-SJ.

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA