

Aula 7

Redes Sem-Fio e Mobilidade

Princípios e características do meio de transmissão; CDMA

Igor Monteiro Moraes
Redes de Computadores II

ATENÇÃO!

- Este apresentação é contém partes baseadas nos seguintes trabalhos
 - Notas de aula do Prof. Marcelo Rubinstein, disponíveis em <http://www.lee.eng.uerj.br/~rubi>
 - Notas de aula do Prof. José Augusto Suruagy Monteiro, disponíveis em <http://www.nuperc.unifacs.br/Members/jose.suruagy/cursos>
 - Material complementar do livro Computer Networking: A Top Down Approach, 5th edition, Jim Kurose and Keith Ross, Addison-Wesley, abril de 2009
 - Computer Networks, Andrew S. Tanenbaum, 4a. Edição, Editora Prentice Hall

- Usuários da telefonia celular no mundo
 - 1993: 34 milhões
 - 2008: 4 bilhões
 - **2014: 7 bilhões**



Número de usuários de telefonia móvel **ultrapassou**
o número de usuários da telefonia fixa

- É possível acontecer o mesmo com a Internet?
 - Desenvolvimento e **barateamento** de dispositivos móveis
 - *Laptops, PDAs, smartphones, etc.*
 - Usuários desejam **acesso ubíquo**
 - Internet em qualquer lugar e a qualquer instante
- Internet tem 1,5 bilhão de usuários
 - Estima-se que 1/3 acessam a rede de dispositivos móveis
- Operadoras limitam a taxa dos usuários ou a quantidade de dados “baixados”

Motivação

- Desafios
 - Comunicação sem-fio
 - Mobilidade


Comunicação Sem-Fio

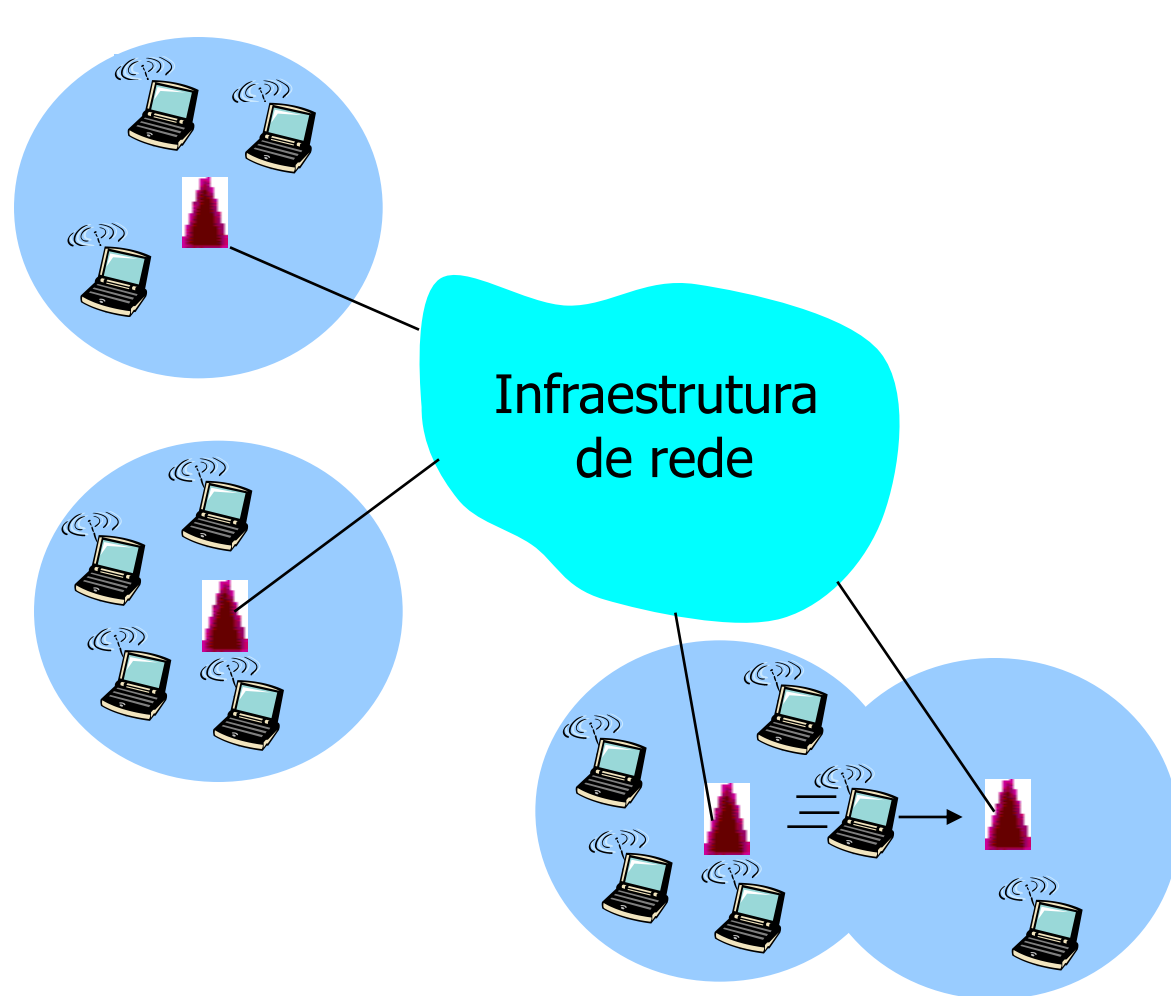
- Comunicação usando enlaces sem-fio
- Usada desde o início do século passado
 - Telégrafo
- Avanço da tecnologia sem fio
 - Rádio e televisão
- Mais recentemente aparece em
 - Telefones celulares
 - Satélites
 - Redes sem-fio

- Problemas
 - Principais problemas
 - Grande atenuação
 - Alcance limitado
 - Espectro de frequências disponível
 - Interferência
 - Dificuldade de se atingir altas taxas de transmissão
 - Segurança
 - Reflexões do sinal no interior de uma casa

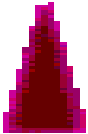
- Problema: usuários móveis que mudam o seu ponto de conexão com a rede
 - Como garantir a conectividade durante e depois da mudança?
- Não é restrita às redes sem-fio
- Exemplo
 - Um usuário com um *laptop* trabalhando em casa conectado à sua rede domiciliar
 - Desliga o *laptop* e vai para o trabalho
 - Chega ao escritório e conecta o *laptop* à rede da empresa

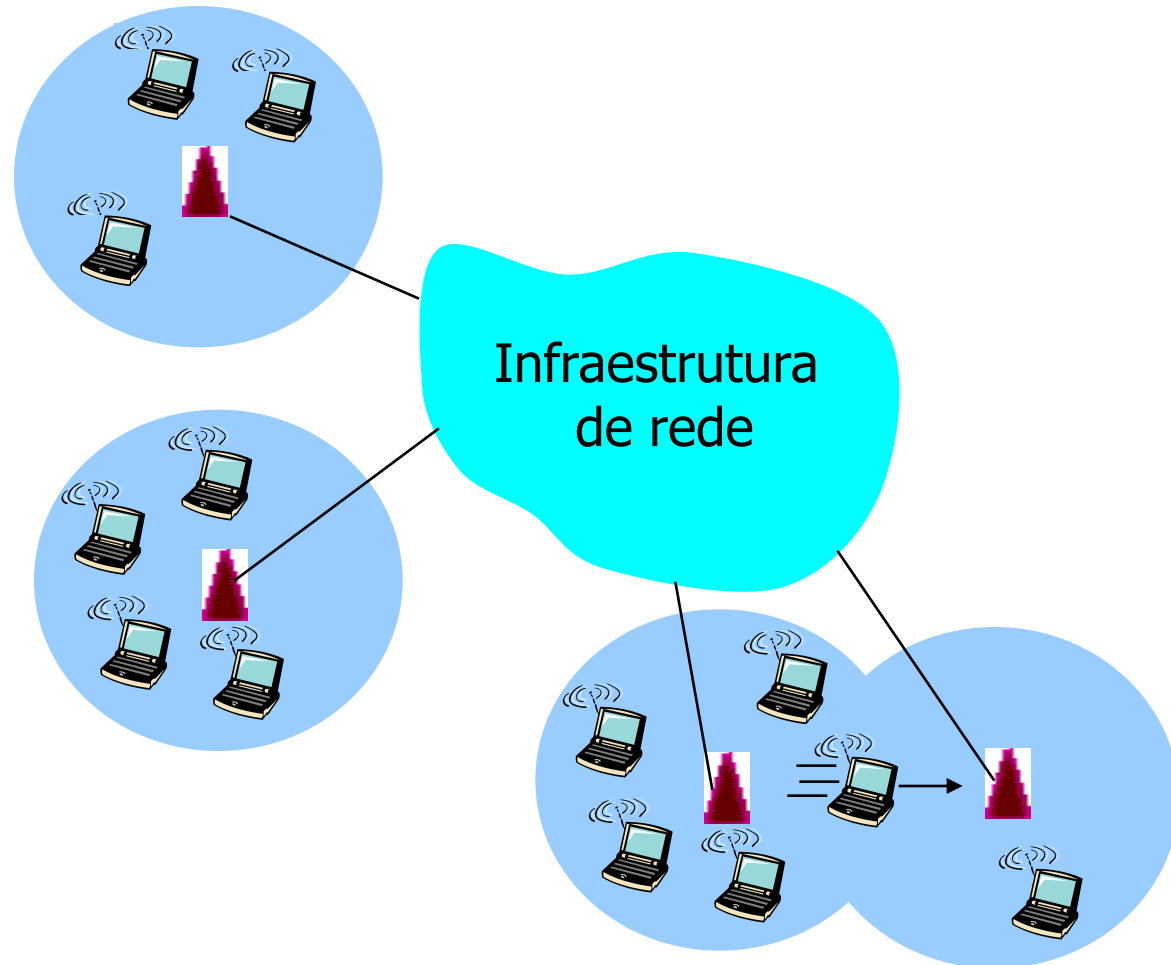
Elementos de uma Rede Sem-Fio

- Estações sem-fio 
 - *Laptops, PDAs, smartphones*
 - Executam as aplicações
 - Podem ser estacionárias ou móveis
 - Nem sempre sem fio significa mobilidade



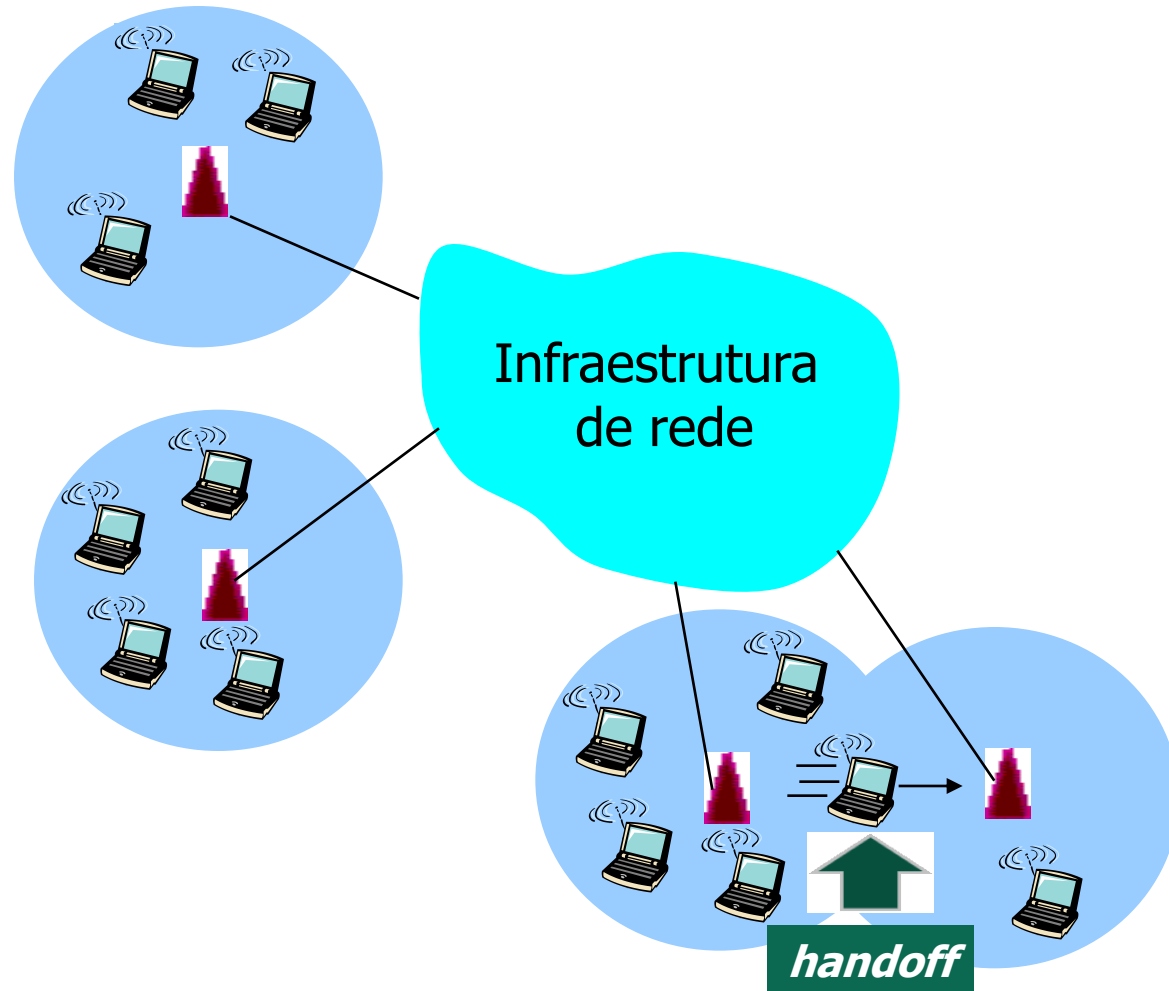
Elementos de uma Rede Sem-Fio

- Estação base 
 - Tipicamente conectada à rede cabeada
 - É um elemento retransmissor (*relay*)
 - Responsável por enviar os pacotes entre a rede cabeada e as estações sem-fio da sua área de cobertura
- Exemplos
 - Torres de celular
 - Pontos de acesso IEEE 802.11




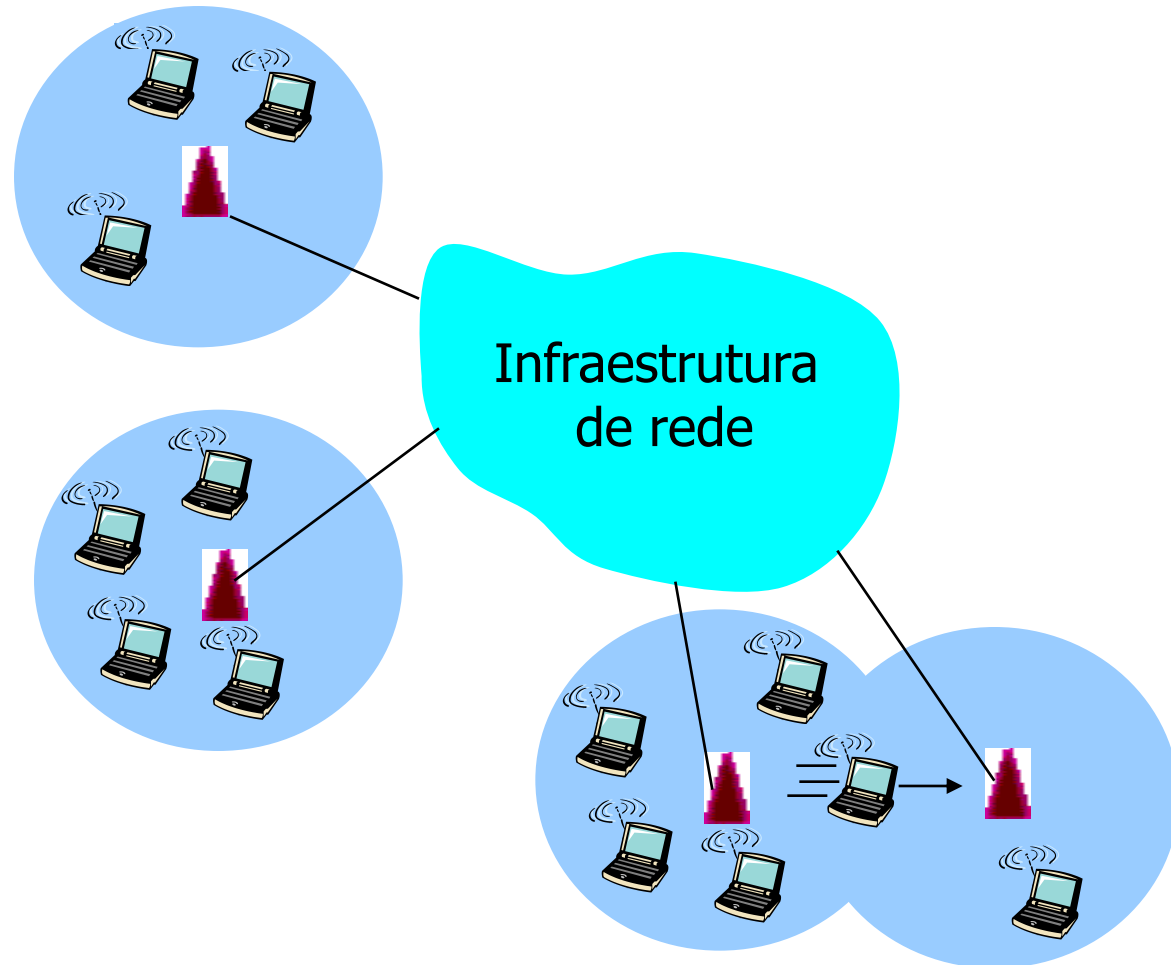
Elementos de uma Rede Sem-Fio

- Estação base
 - Uma estação sai do alcance de uma estação base e entra no de outra
 - **Handoff**
 - Mudança do ponto de conexão à infraestrutura de rede

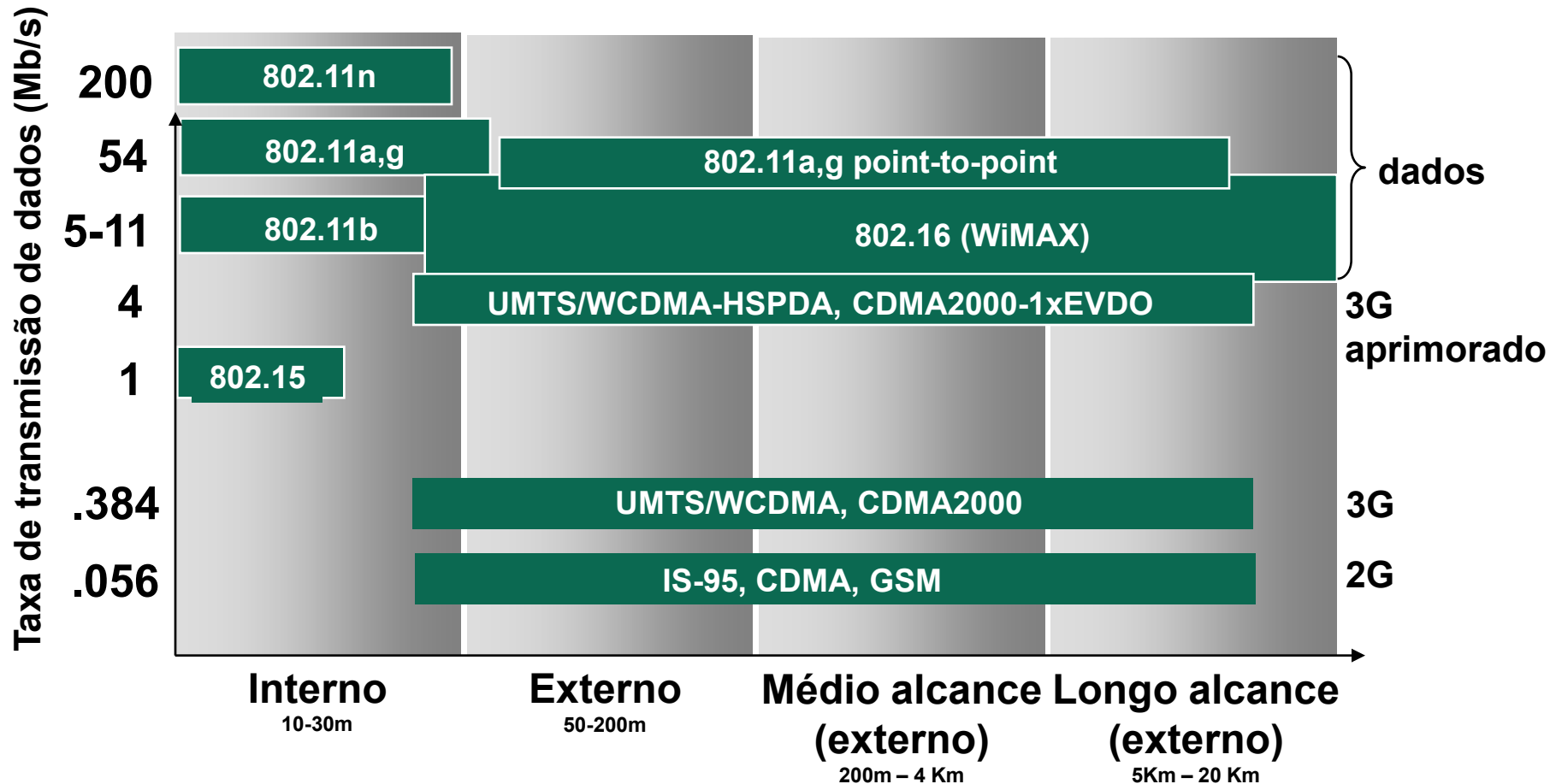


Elementos de uma Rede Sem-Fio

- Enlace sem-fio 
 - Usado tipicamente para conectar estações móveis à estação base
 - Também usado como enlace de *backbone*
 - Protocolos de acesso múltiplo coordenam o acesso ao enlace
 - Diferentes taxas e alcances de transmissão



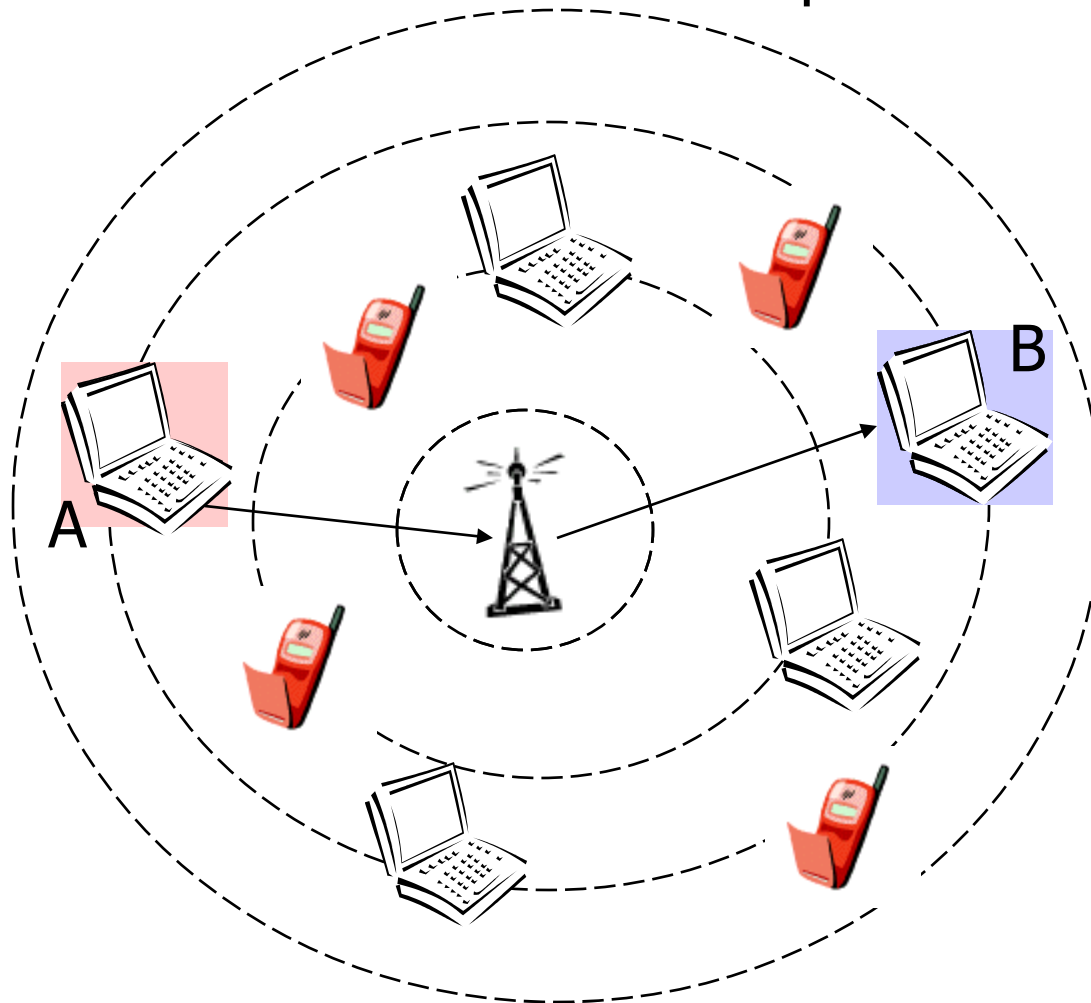
Padrões para Redes Sem-Fio



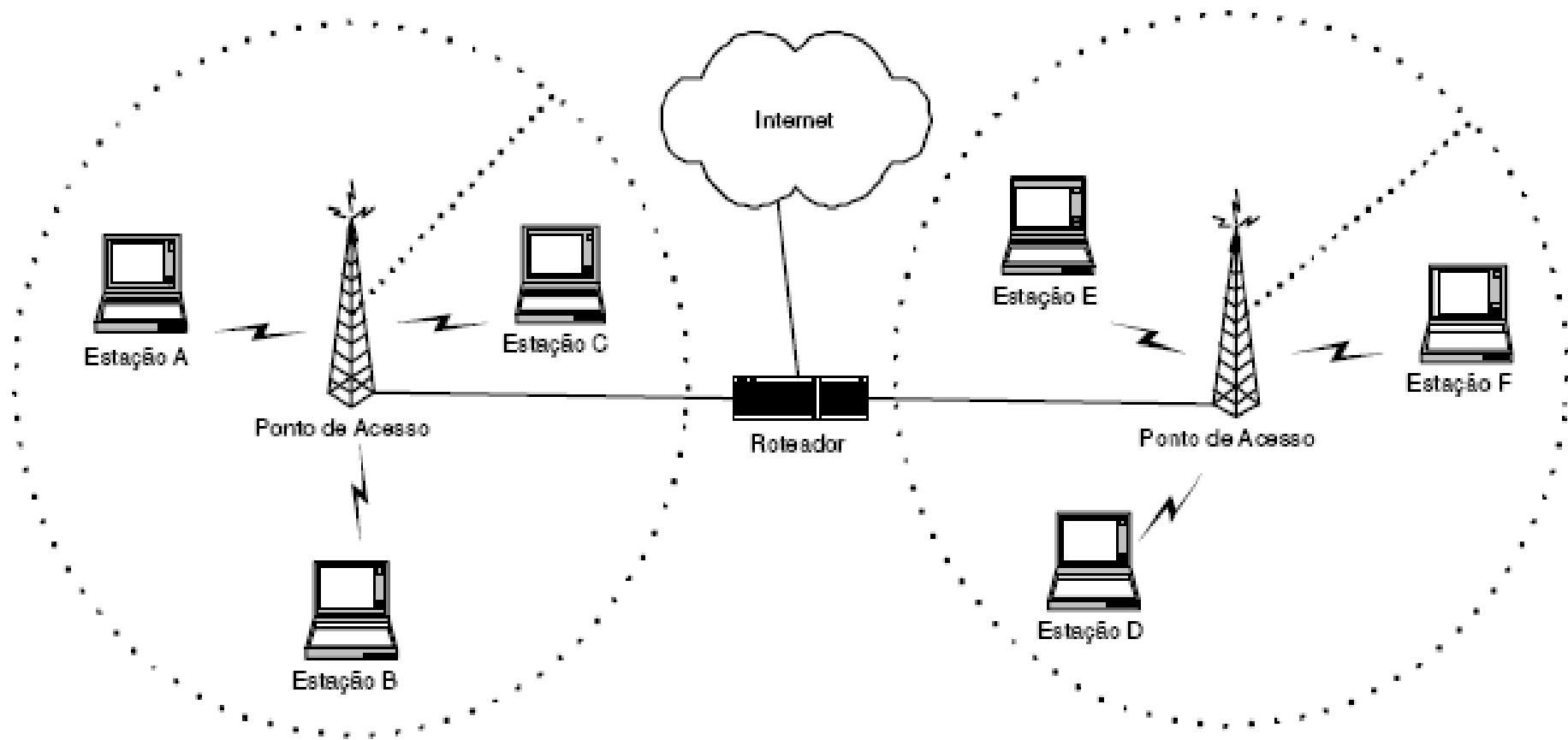
- Divididas em duas categorias
 - Redes com infraestrutura
 - Toda a comunicação é realizada através de um ponto de acesso
 - Exemplos
 - Redes celulares
 - Redes IEEE 802.11 com ponto de acesso

Redes Infraestruturadas

- A se comunica com B através de um ponto de acesso



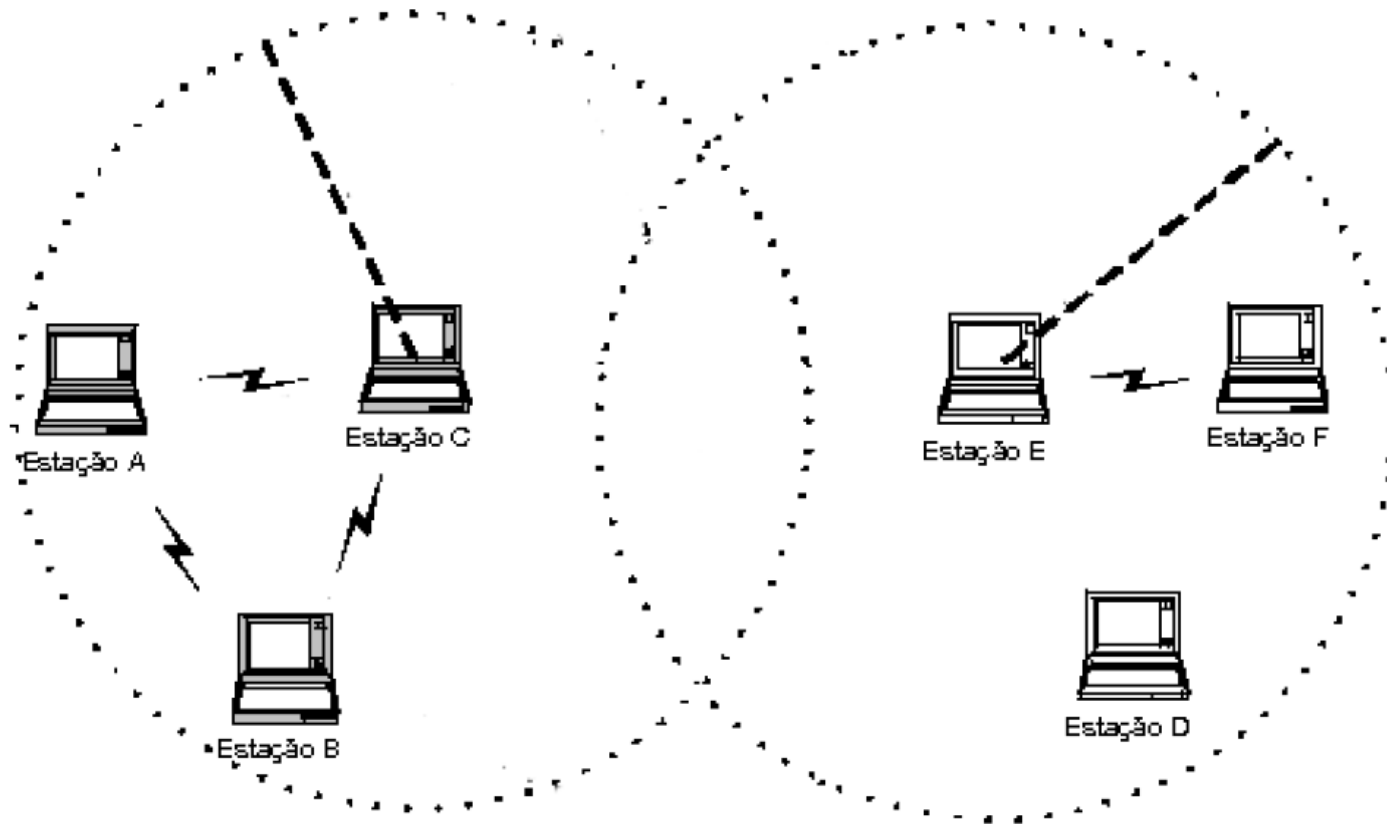
Redes Infraestruturadas



Ponto de acesso → camada de enlace

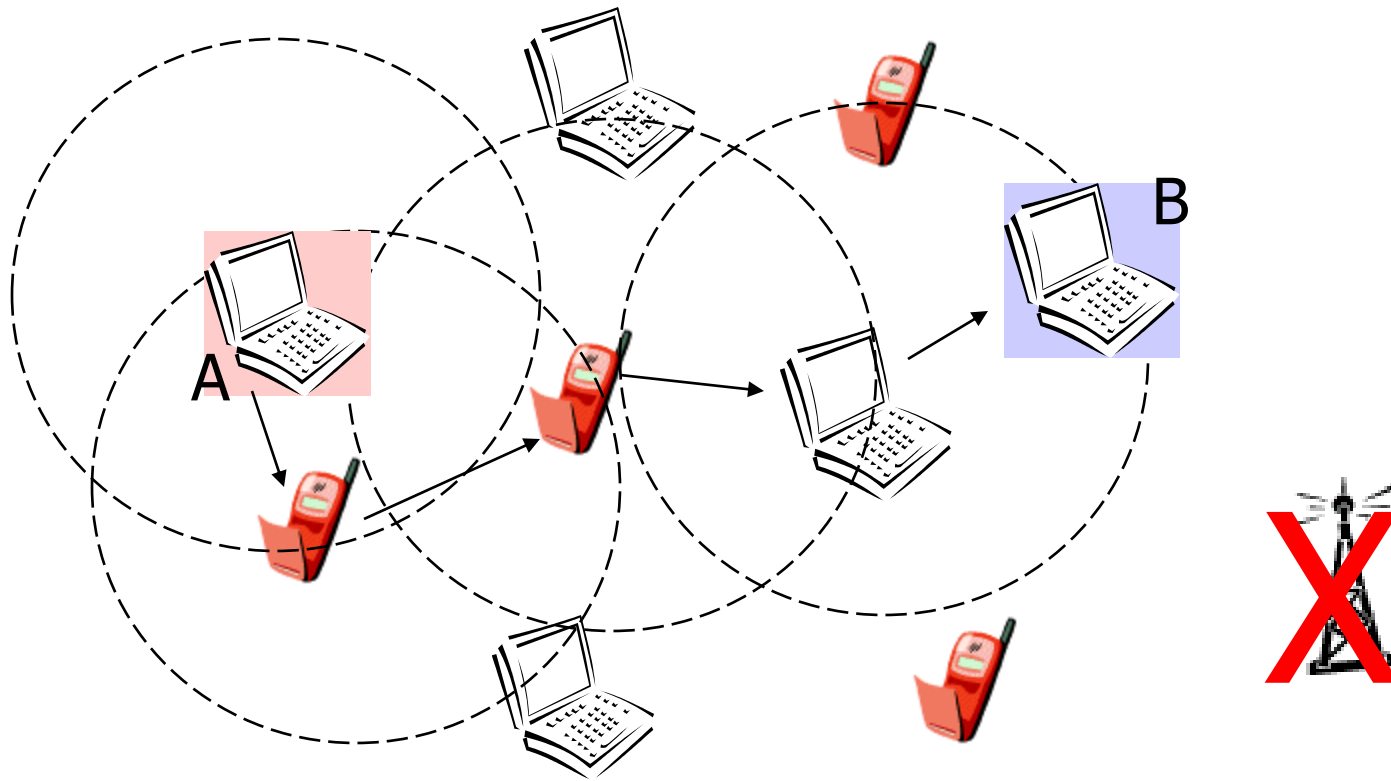
- Divididas em duas categorias (cont.)
 - Redes sem infraestrutura ou redes *ad hoc*
 - Não existem estações base
 - Estações se comunicam diretamente
 - Nós só se comunicam com outros nós dentro do seu raio de alcance
 - Dois tipos
 - Redes *ad hoc* de comunicação direta
 - Redes *ad hoc* de múltiplos saltos
 - » Estações também se comportam como roteadores

Redes *Ad Hoc* de Com. Direta

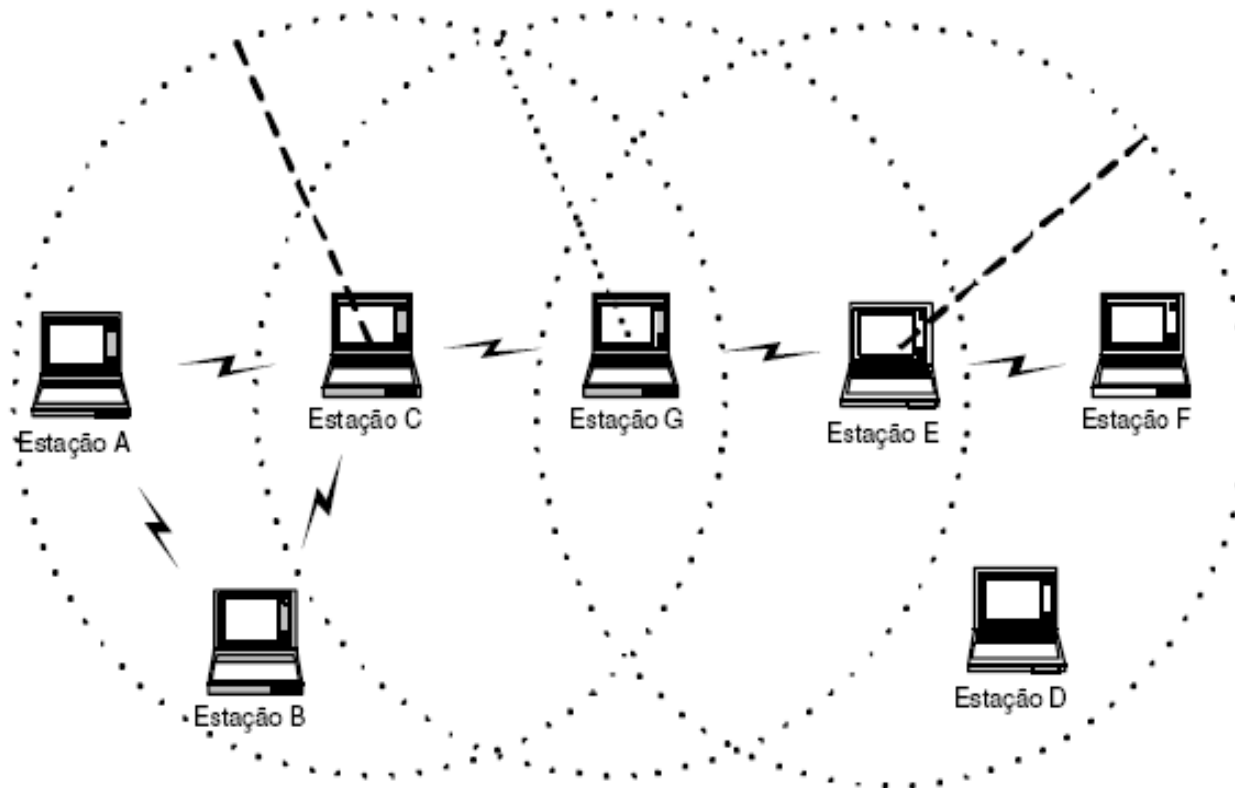


Rede *Ad Hoc* de Múltiplos Saltos

- A se comunica com B através de múltiplos saltos
 - Nós atuam como roteadores



Rede *Ad Hoc* de Múltiplos Saltos



- Principais características
 - Auto-organização dinâmica
 - Topologia arbitrária e temporária
- Vantagens
 - Grande flexibilidade
 - Podem ser formadas em lugares ermos
 - Baixo custo de instalação
 - Robustez
 - Podem resistir a catástrofes da natureza e a situações de destruição por motivo de guerra

- Principais aplicações
 - Ambientes onde
 - Não há infraestrutura
 - A infraestrutura existente não é confiável
 - Exemplos
 - Catástrofes
 - Guerra
 - Áreas rurais
 - Etc.

Redes em Malha

- Aumentam a conectividade
- Backbone de roteadores sem fio
 - Tipicamente estacionários
 - Sem restrições de consumo de energia

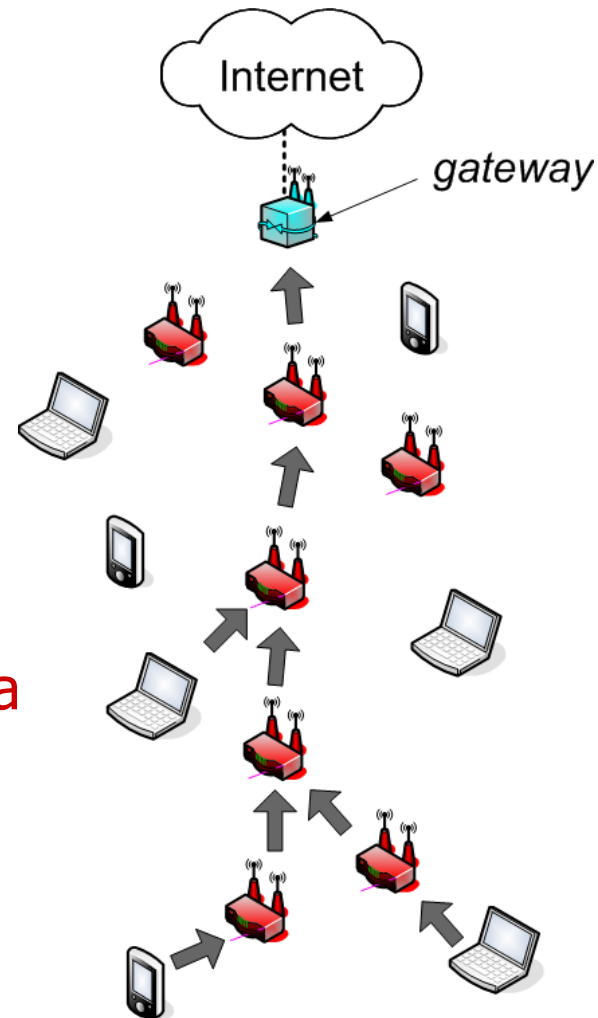
Mobilidade e consumo de energia deixam de ser os principais problemas



A qualidade dos enlaces ainda é um problema



Métricas de roteamento baseada na qualidade dos enlaces



Redes em Malha Experimentais

- Roofnet, MIT
- Remesh/Remote, UFF/MídiaCom
 - Rede em malha no campus da praia vermelha
 - Em manutenção atualmente
 - Roteadores instalados em torres de transmissão de energia na divisa de SC e RS

Projeto REMOTE

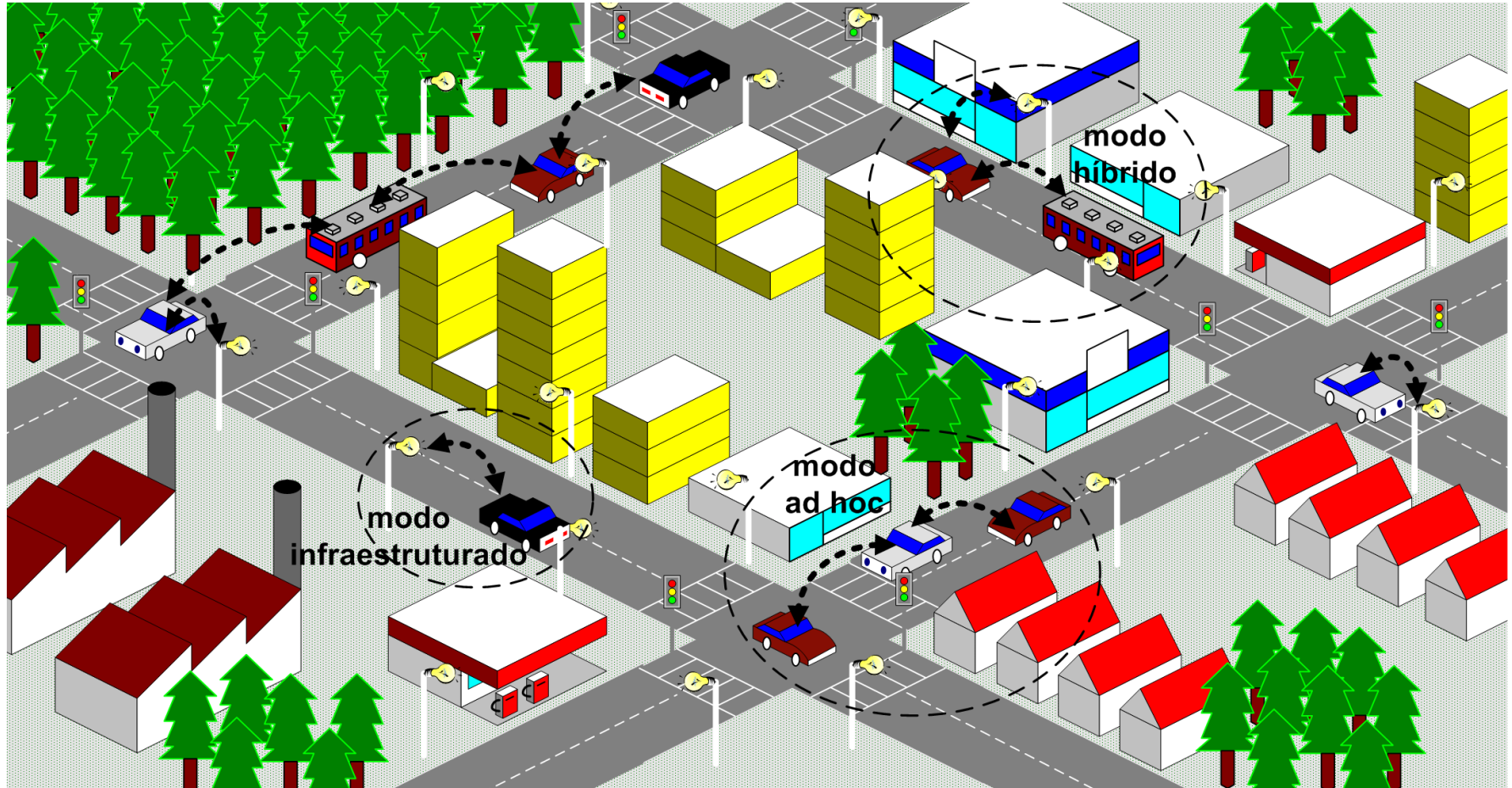
- Objetivo
 - Implantar uma rede de monitoramento em linhas de transmissão de energia



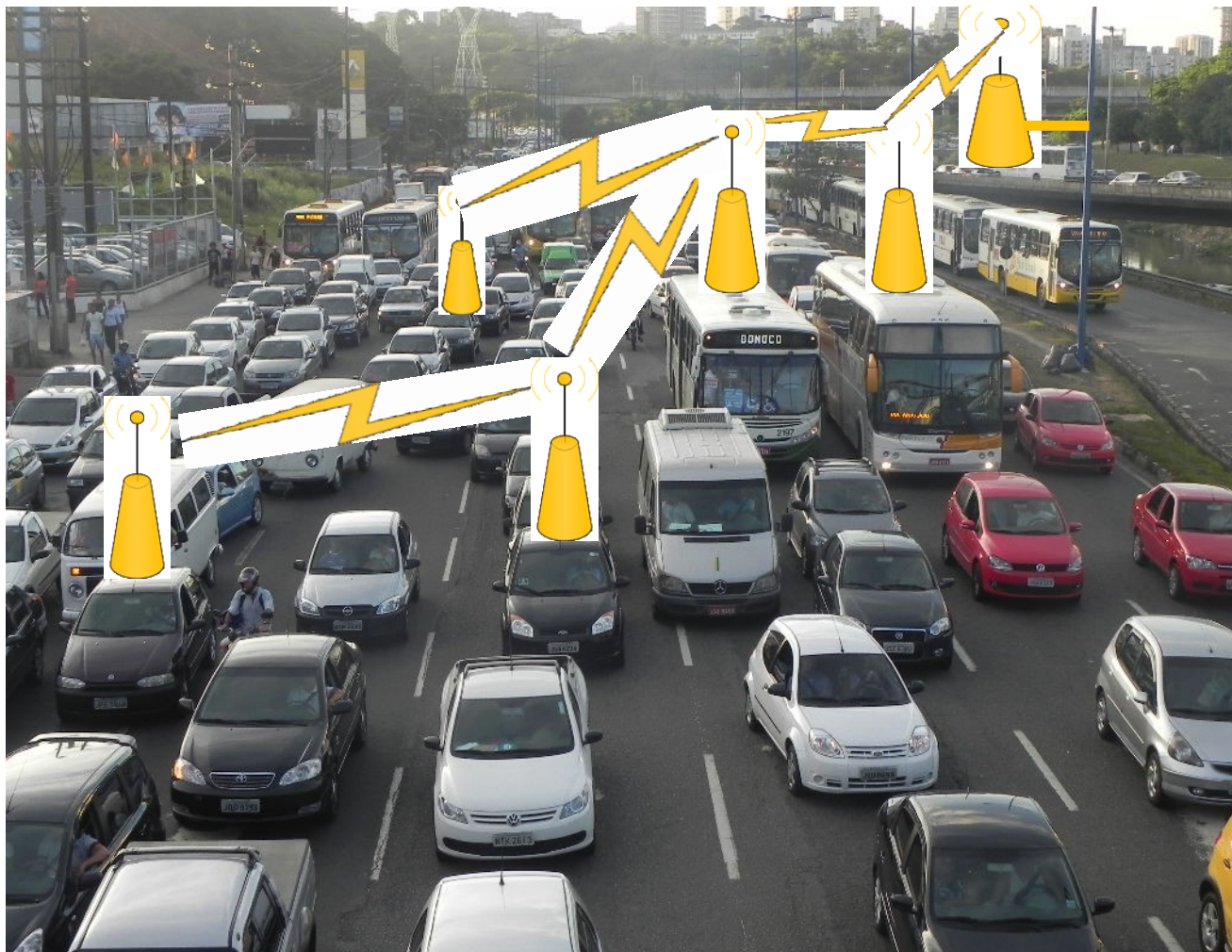
Projeto Remote



Redes Veiculares



Redes Veiculares



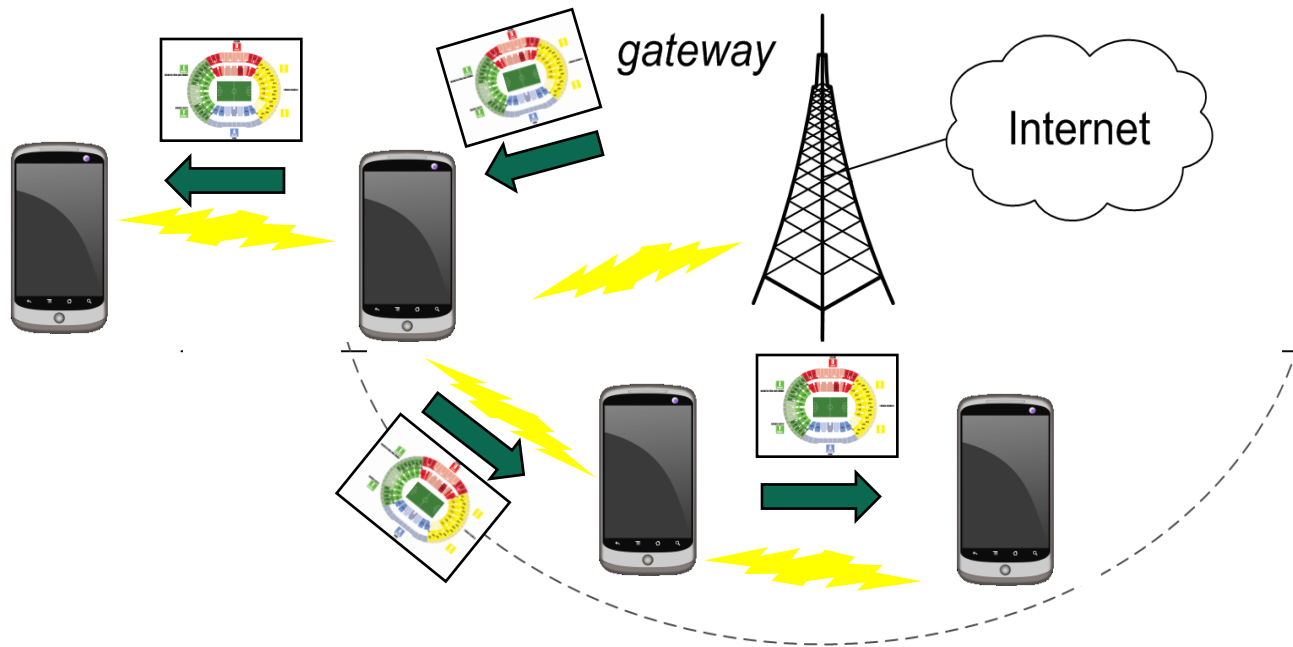
Redes Oportunistas

- Do inglês, *opportunistic networks*
- Definição
Rede na qual **nós** conseguem se **comunicar** mesmo que **NUNCA** exista um **caminho** entre eles



Redes Oportunistas

- Comunicação **direta entre dispositivos**



Taxonomia

	Único salto	Múltiplos saltos
Infraestruturada	Estações se conectam à estação base que se conecta a uma rede cabeada/Internet	Estações atuam como roteadores e os pacotes tem que ser encaminhados por diferentes estações até uma rede cabeada/Internet
Não- infraestruturada	Sem estação base e sem conexão com uma rede cabeada/Internet	Estações atuam como roteadores e os pacotes tem que ser encaminhados por diferentes estações até o destino

Comunicação Sem-Fio: Problemas

- Atenuação
- Perda no espaço livre
- Ruídos
- Desvanecimento
- Absorção atmosférica

- Potência de um sinal cai com a distância
 - Redução chamada de atenuação
 - Característica para cada meio de transmissão
- Sinal recebido deve ter uma potência suficiente para que o circuito do receptor possa detectá-lo e interpretá-lo
 - Sinal muito forte pode sobrecarregar o circuito
 - Distorção
- Sinal deve manter um nível suficientemente mais alto do que o ruído para ser recebido sem erros

- Além de uma determinada distância, a atenuação torna-se muito forte
 - Usam-se repetidores
- Varia com a frequência
 - É maior nas frequências mais altas
- É maior no **espaço livre**
 - É um meio físico não-guiado
 - Não há confinamento das ondas eletromagnéticas

Perda no Espaço Livre

- Tipo particular de atenuação em transmissões sem fio
- Sinal se espalha conforme a distância aumenta
 - Atenuação cada vez maior a medida que o sinal se afasta da antena transmissora
 - Sinal se dispersa por uma área cada vez maior

$$L = P_t / P_r$$
$$L_{\text{dB}} = 10 \log (P_t / P_r)$$

- Alterações sofridas pelo sinal transmitido entre a transmissão e a recepção
- Quatro tipos principais
 - Térmico
 - Intermodulação
 - Diafonia (*crosstalk*)
 - Impulsivo

Ruído Térmico

- Devido à agitação térmica dos elétrons
- Uniformemente distribuído através do espectro de frequências
 - Muito difícil de filtrar
- Ruído branco

Ruído Intermodulação

- Devido ao compartilhamento de um mesmo meio de transmissão entre sinais de diferentes frequências
- Produz sinais em uma frequência que é a soma ou a diferença entre as frequências originais ou entre múltiplos dessas frequências
- Ocorre quando há não-linearidade no transmissor, no receptor ou no sistema de transmissão interveniente
 - Não-linearidade pode ser causada por
 - Mau funcionamento de componentes
 - Potência de sinal excessiva
 - Natureza dos amplificadores utilizados

- Linha cruzada como na telefonia
- Pode ocorrer quando sinais indesejados são recebidos por antenas de micro-ondas
- Efeito dominante nas bandas ISM
 - Usada pelo IEEE 802.11, telefones sem-fio domésticos, etc.

Ruído Impulsivo

- Consiste de pulsos ou picos irregulares de ruídos de curta duração e relativamente grande amplitude
- Gerado por trovões, centelhamento de relés e em lâmpadas fluorescentes e falhas no sistema de comunicação

- *Fading*
- Variação temporal da potência do sinal recebido
 - Causada por mudanças no meio de transmissão ou no(s) caminho(s)
- Em um ambiente fixo
 - Afetado por mudanças nas condições atmosféricas
 - Ex.: chuva
- Em um ambiente móvel
 - Afetado pelas mudanças na localização relativa de vários obstáculos

Múltiplos Caminhos

- Sinal recebido pelo receptor é composto de sinais vindo de diferentes direções e caminhos
 - Diferente das comunicações cabeadas
- Mecanismos de propagação
 - Reflexão
 - Difração
 - Dispersão

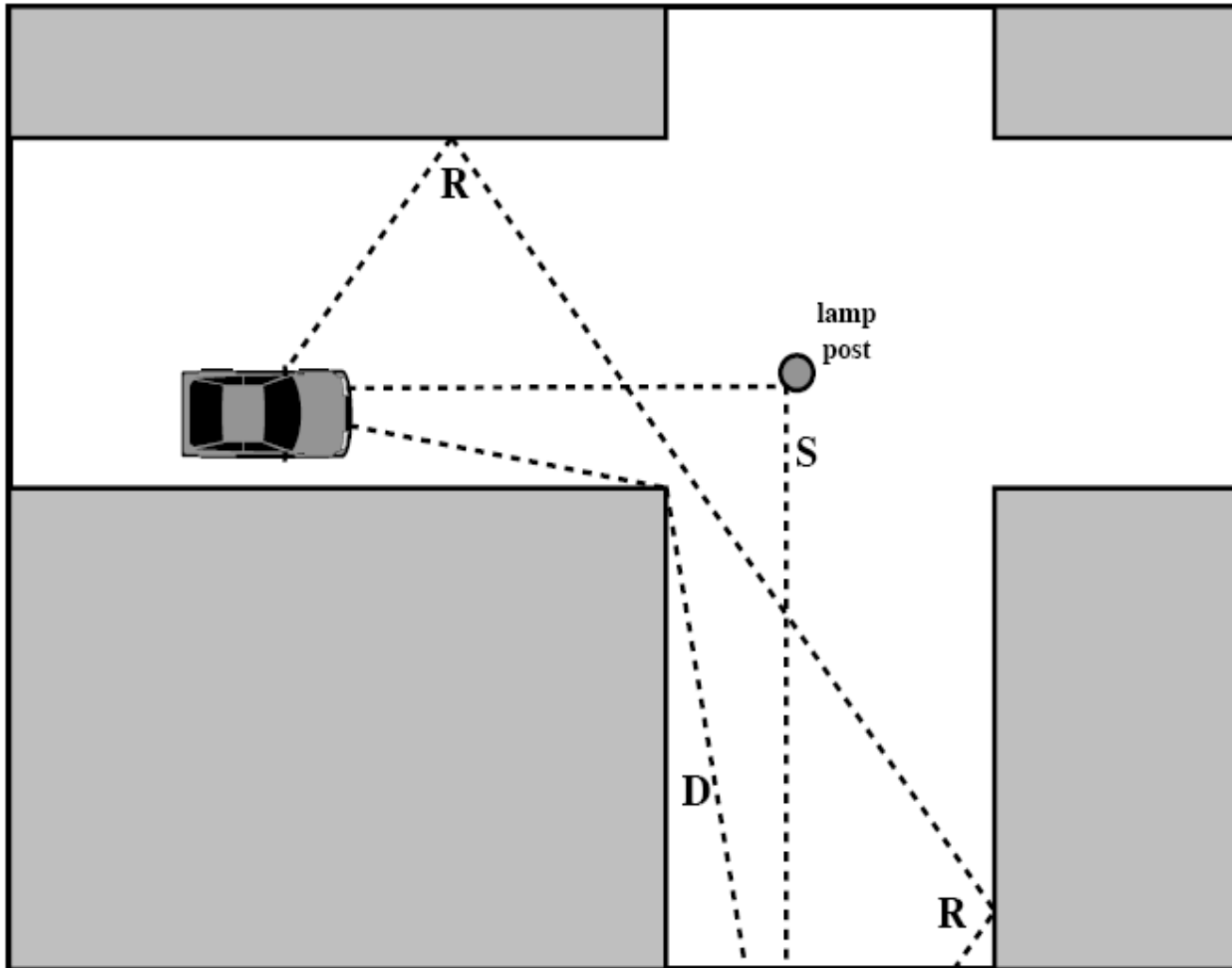
- Ocorre quando um sinal encontra uma superfície grande comparada ao comprimento de onda do sinal
- Sinais podem ser recebidos mesmo que não haja visada direta

- Ocorre no canto de um corpo impenetrável que obstrui a passagem e é grande quando comparado ao comprimento de onda do sinal
- Quando a onda encontra a quina, se propaga em diferentes direções
 - Tendo a quina como fonte
- Sinais podem ser recebidos mesmo que não haja visada direta

Dispersão

- Também chamada espalhamento
- Ocorre no canto de um corpo impenetrável que obstrui a passagem e é pequeno ou de mesma ordem de grandeza quando comparado ao comprimento de onda do sinal
- Sinais podem ser recebidos mesmo que não haja visada direta

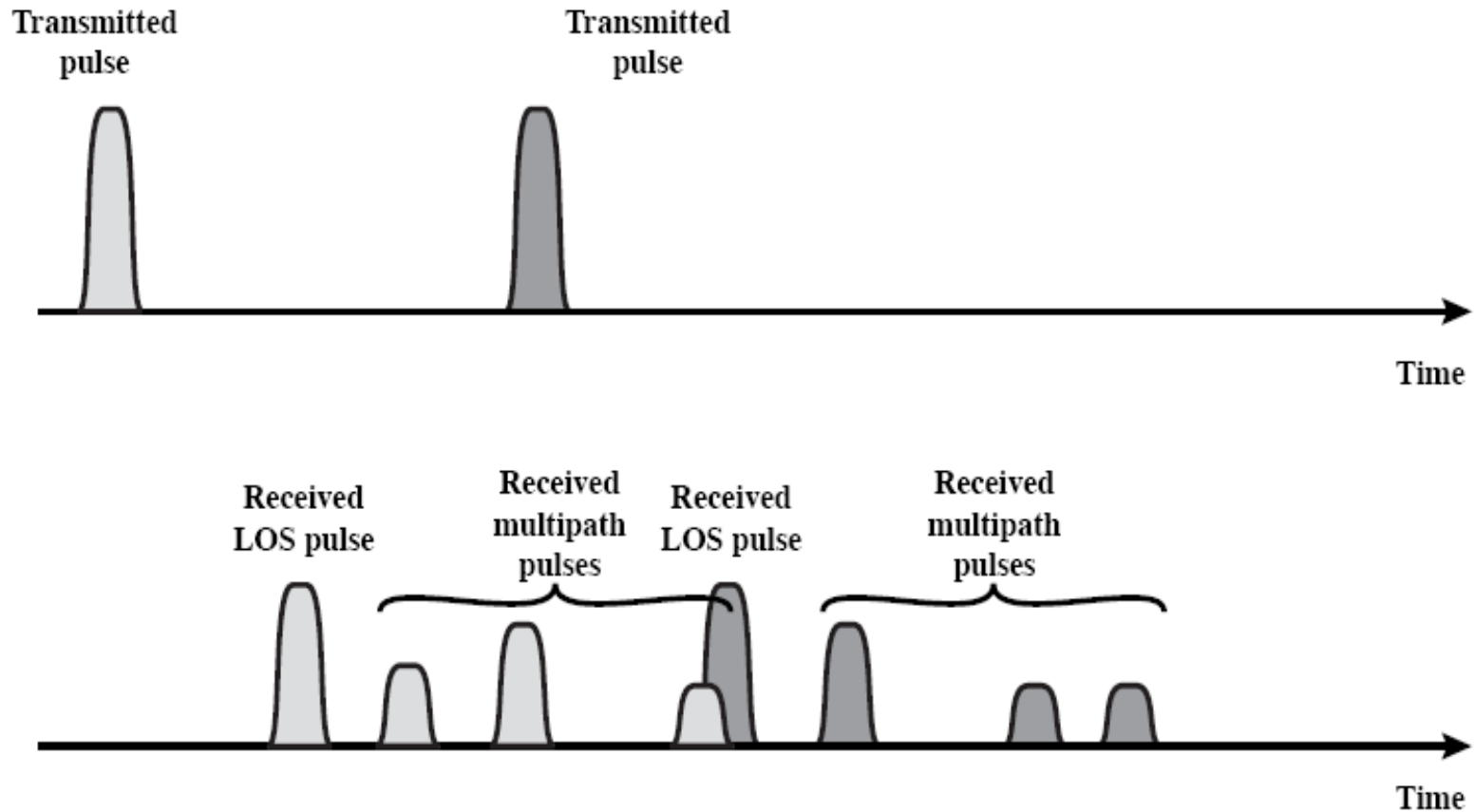
Exemplo de reflexão (R), dispersão (S) e difração (D) (fonte: Stallings)



Múltiplos Caminhos

- Propagação por múltiplos caminhos gera **múltiplas cópias** do sinal
 - Fases podem atuar de modo construtivo ou destrutivo
 - Interferência intersimbólica pode ocorrer

Interferência Intersimbólica



fonte: Stallings

Absorção Atmosférica

- Vapor d'água e oxigênio contribuem para a atenuação
- Vapor d'água
 - Pico de atenuação em 22 GHz
 - Atenuação menor em frequências menores que 15 GHz
- Oxigênio
 - Pico de atenuação em 60 GHz
 - Atenuação menor em frequências menores que 30 GHz

Absorção Atmosférica

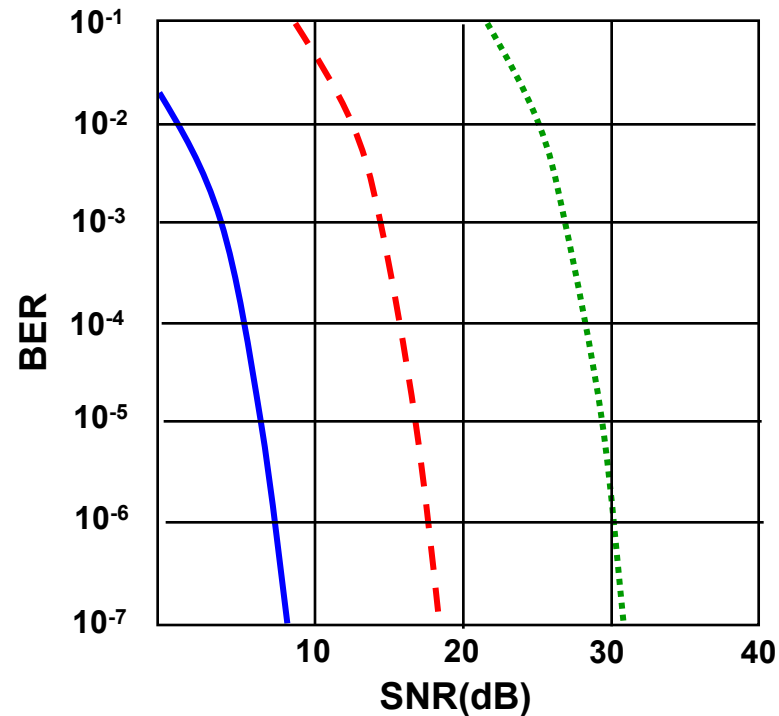
- Chuva e neblina (*fog*) causam a dispersão de ondas que gera atenuação
 - Isso pode ser uma causa principal de perdas
 - Em áreas com muita chuva
 - Distâncias envolvidas devem ser pequenas ou
 - Bandas de frequências mais baixas devem ser usadas

- Relação Sinal-Ruído (SNR - *Signal-to-Noise Ratio*)
 - Maior SNR → mais fácil de extrair o sinal do ruído
- Taxa de erro de bits (BER – *Bit-Error Rate*)
 - Medida da quantidade de bits com erro dentro de um lote
 - Especificação de um padrão
 - Está diretamente relacionado à SNR
 - Menor o nível de ruído → menos distorção → menor BER

Compromissos: SNR x BER

- Para uma dada camada física
 - Maior potência de transmissão \rightarrow maior SNR \rightarrow menor BER
- Para uma dada SNR
 - Escolher a camada física que atenda à BER desejada, dada a vazão máxima
 - A SNR pode variar com a mobilidade
 - É necessário adaptar dinamicamente a camada física
 - Modulação, taxa de transmissão, etc.

Compromissos: SNR x BER



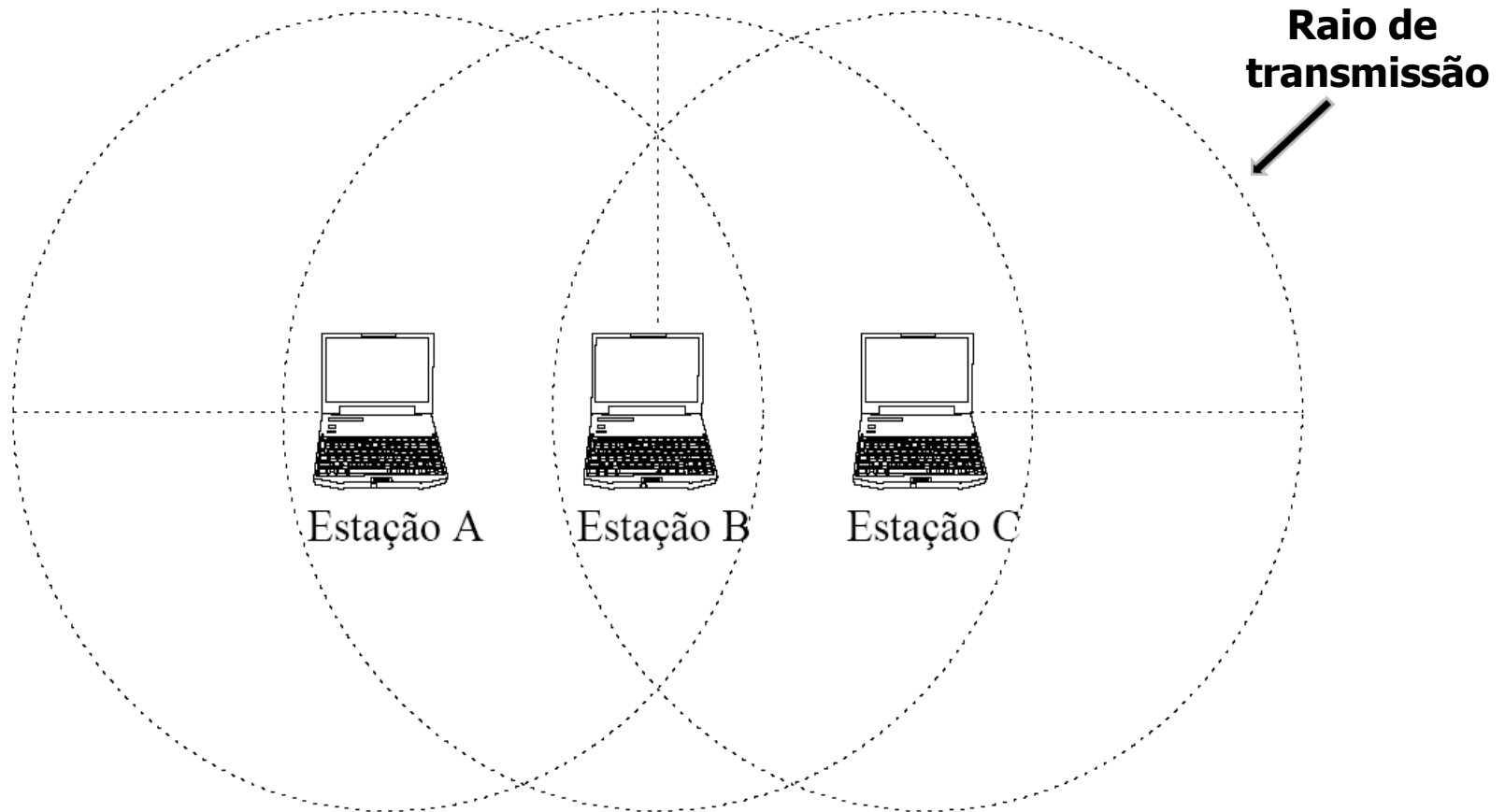
..... QAM256 (8 Mbps)

- - - QAM16 (4 Mbps)

— BPSK (1 Mbps)

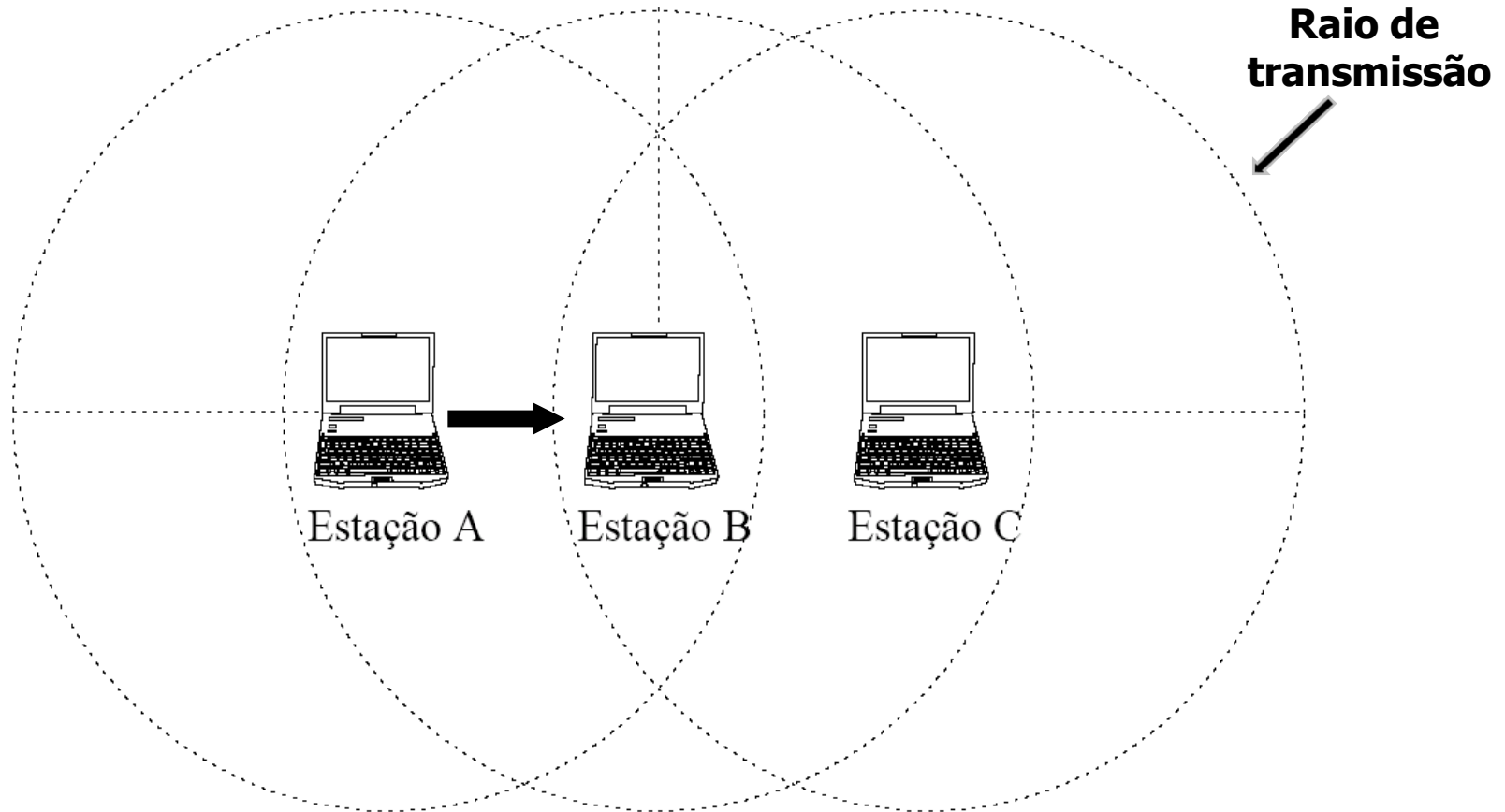
- Problemas além dos da comunicação sem-fio
- Múltiplos transmissores sem-fio e receptores criam problemas adicionais, além do acesso múltiplo
 - Terminal escondido
 - Atenuação do sinal (*fading*)

Terminal Escondido



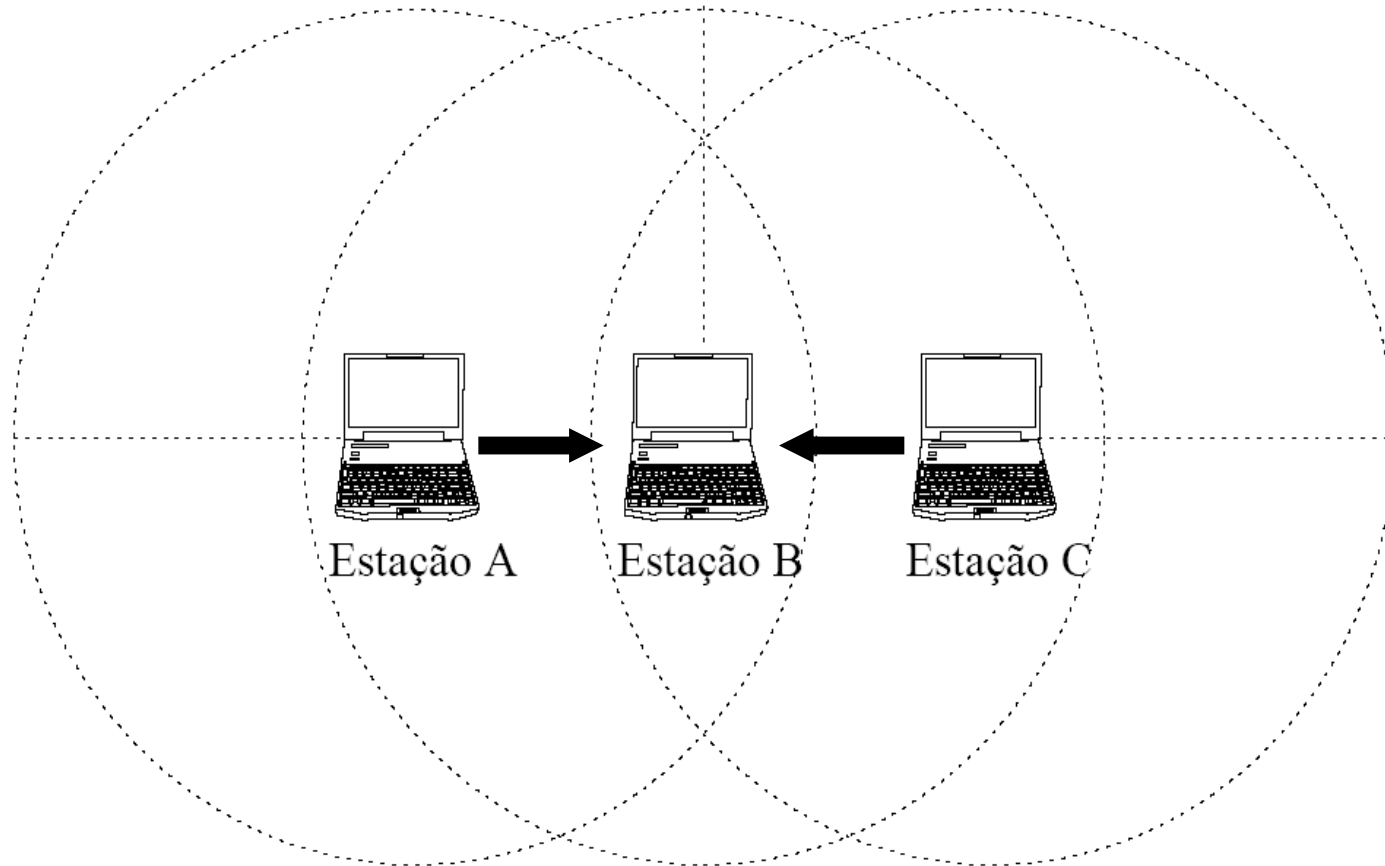
A e C querem transmitir para B num dado instante

Terminal Escondido



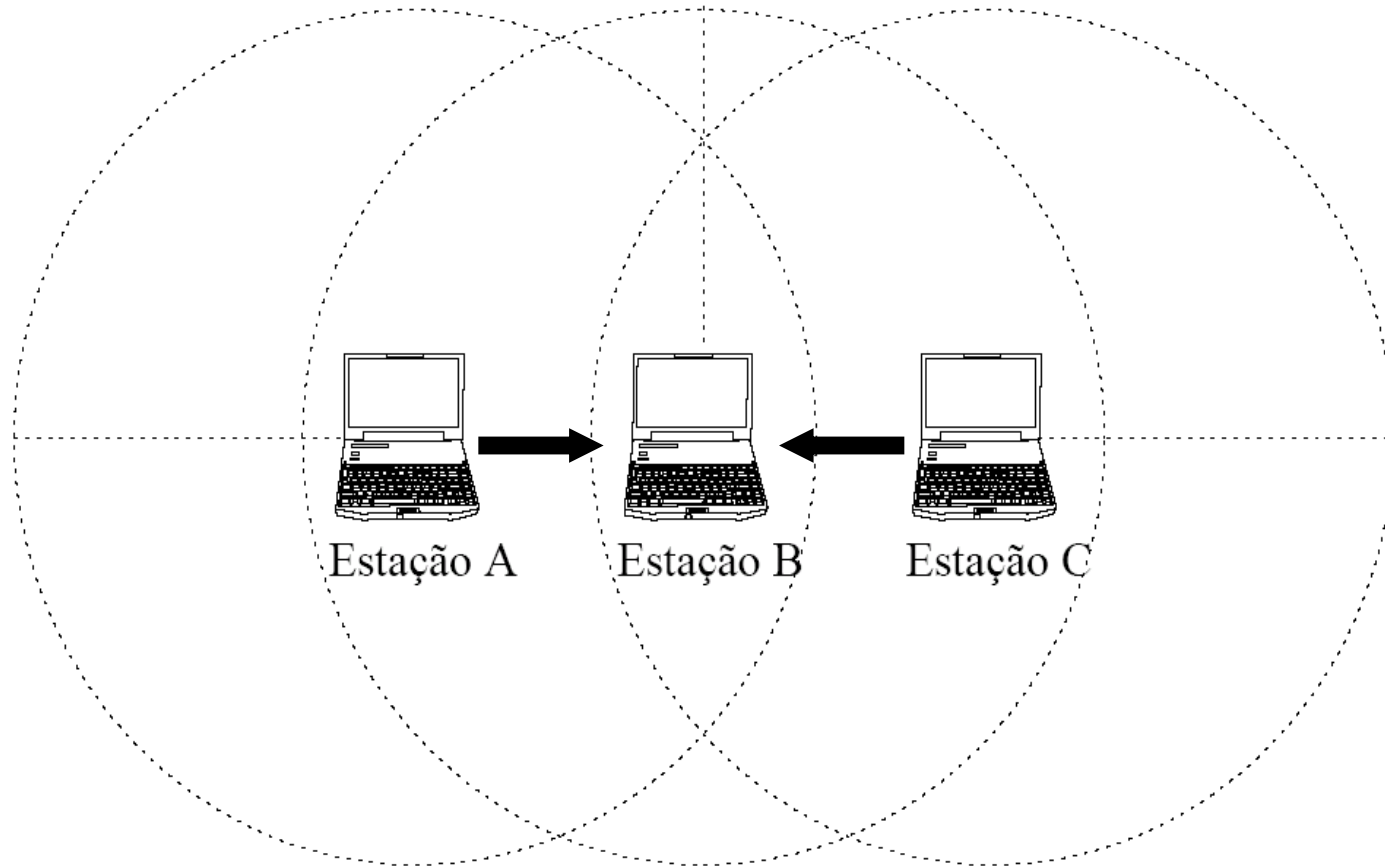
A ouve B e B ouve A → A transmite para B

Terminal Escondido



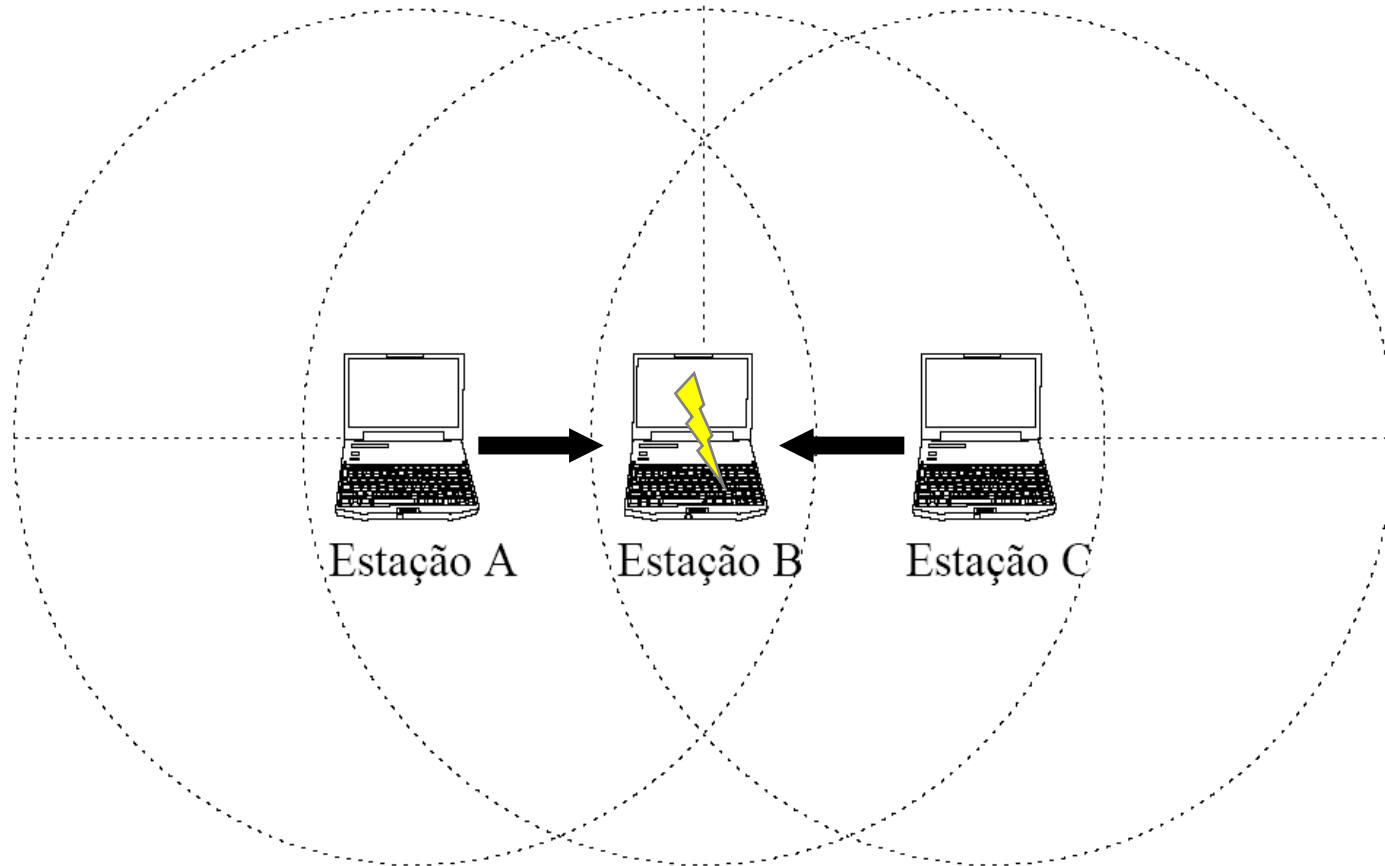
C ouve B e B ouve C → C transmite para B

Terminal Escondido



C e A não se ouvem

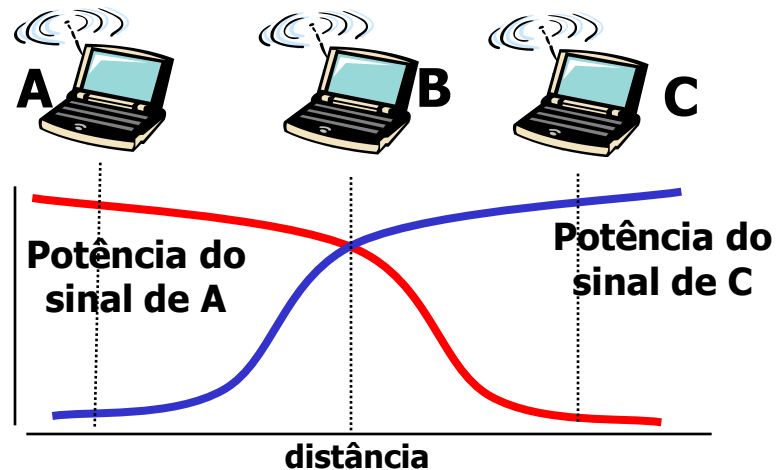
Terminal Escondido



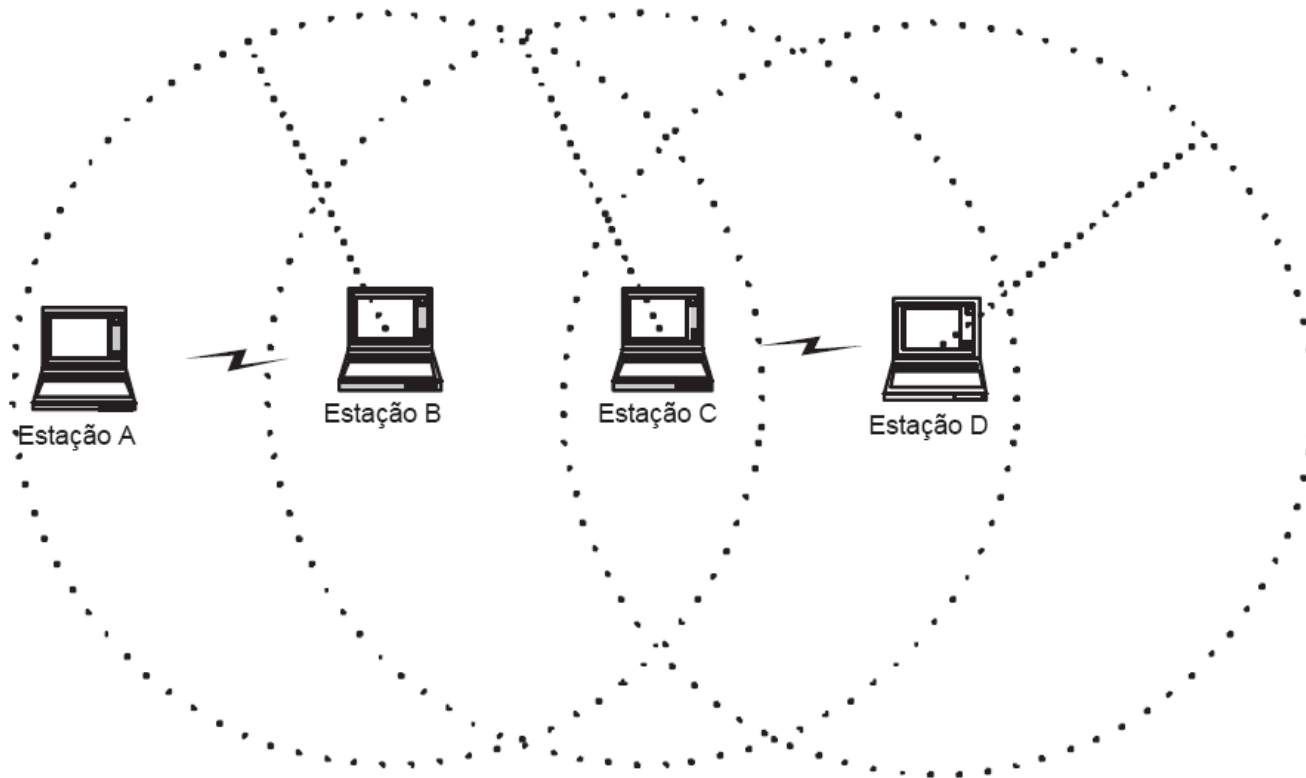
Colisão em B, sem que A e C saibam

Terminal Escondido

- É causado pela atenuação
 - B ouve A e A ouve B
 - B ouve C e C ouve B
 - A e C não se ouvem → interferência em B

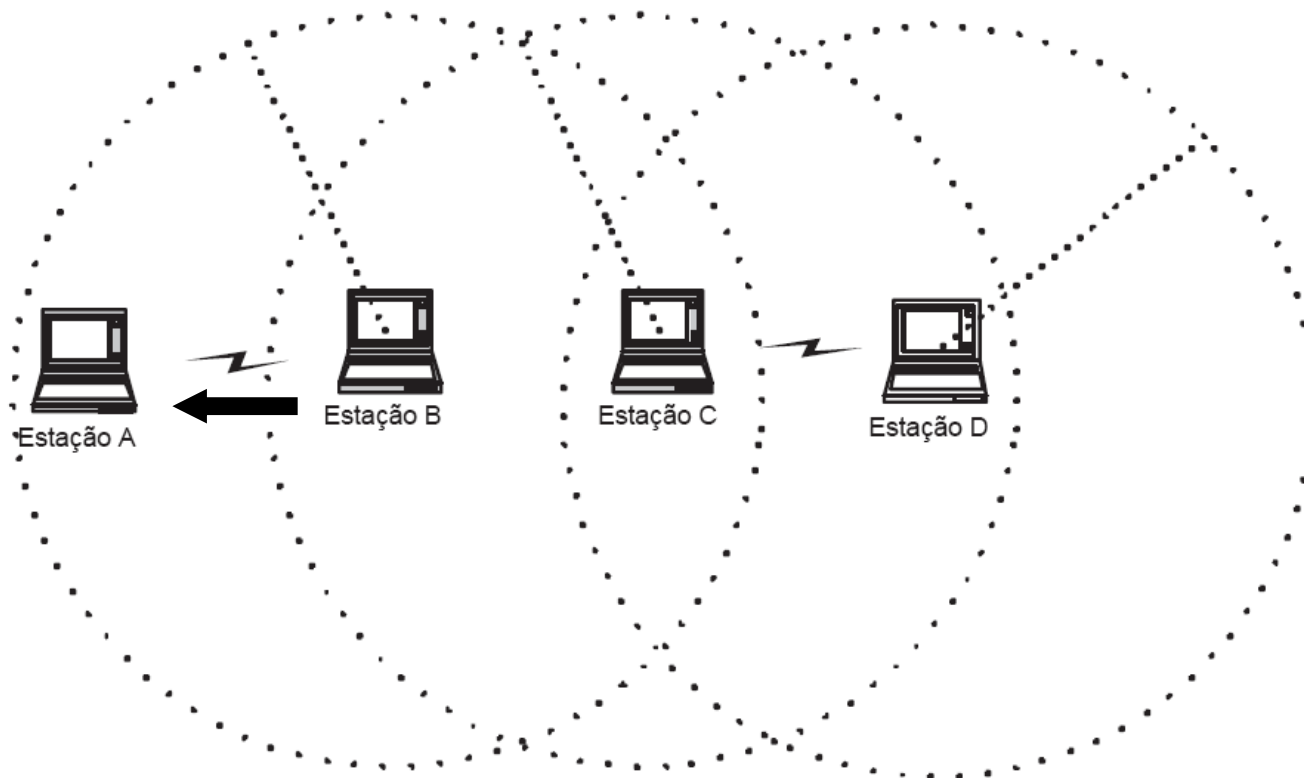


Terminal Exposto



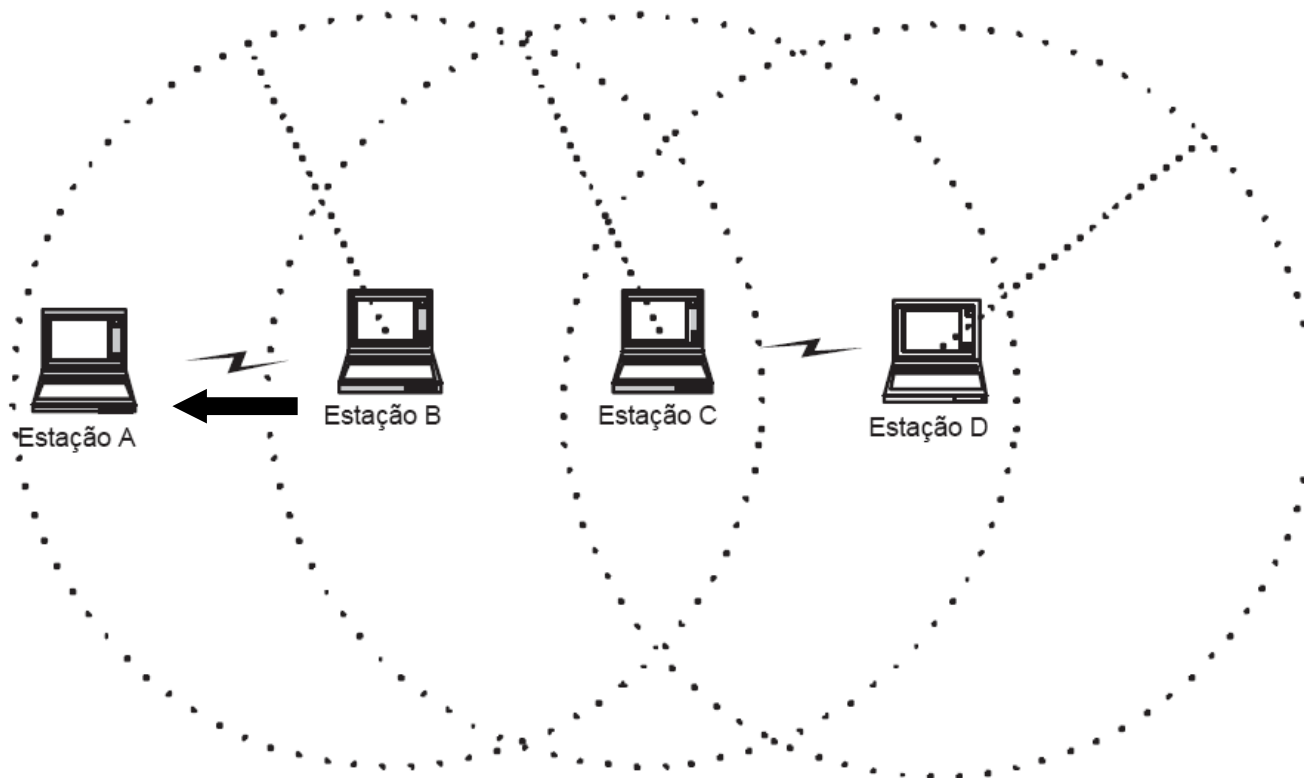
B quer transmitir para A e C quer transmitir para D

Terminal Exposto



B transmite para A e C quer transmitir para D

Terminal Exposto



C escuta a transmissão de B → meio ocupado

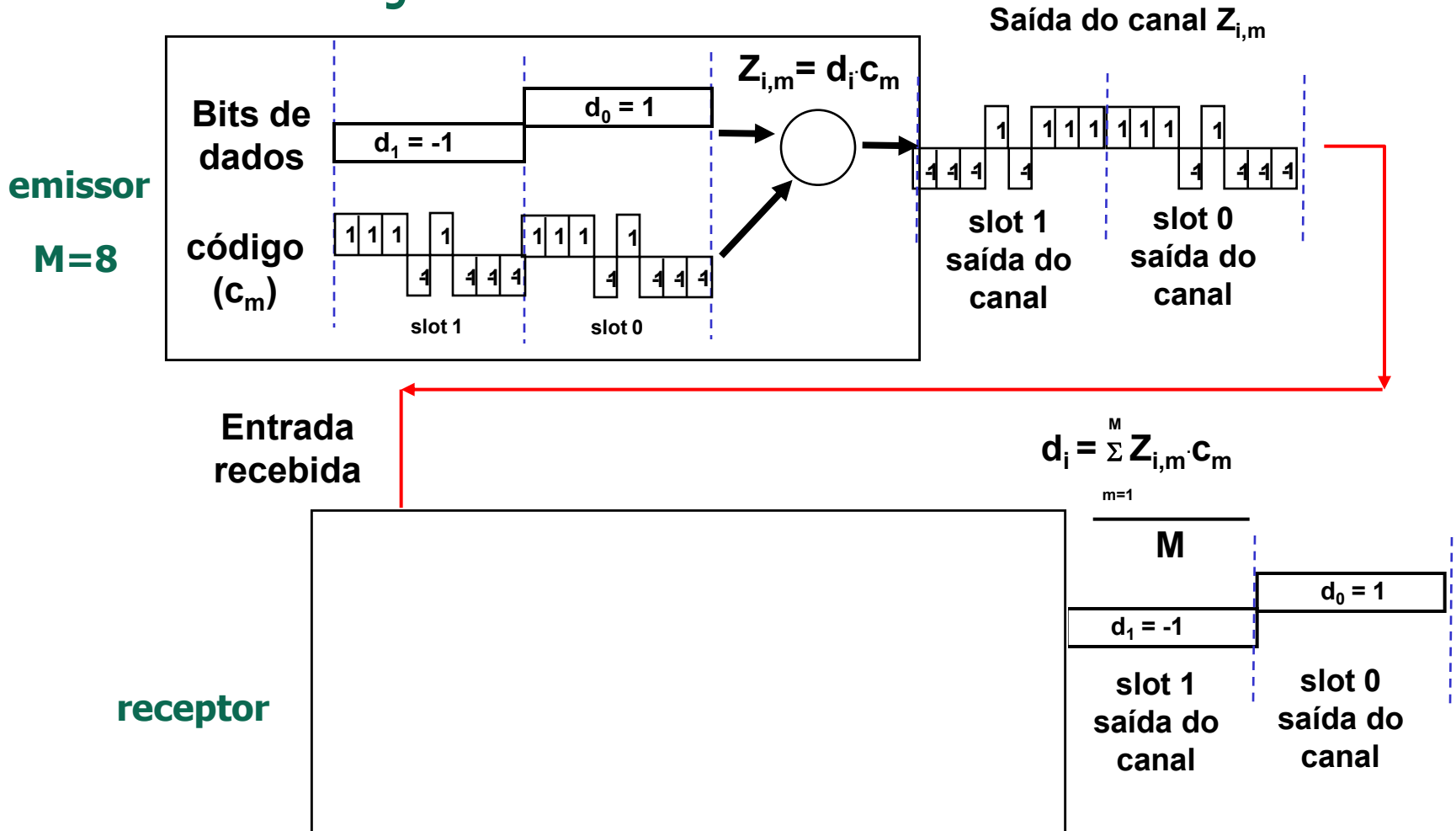
CDMA

(Code Division Multiple Access)

- *Code Division Multiple Access*
- É um protocolo MAC de divisão de canal
 - Um código único para cada usuário
 - Usado por diferentes tecnologias de redes sem-fio
 - Telefonia celular
 - Satélites
 - Etc.

- Idéia:
 - Todos os usuários compartilham a mesma frequência
 - Um bit a ser enviado é multiplicado por um código
 - Sinal com mais transições 0-1 do que o sinal original
 - Sequência de *chipping*

CDMA: Codificação e Decodificação

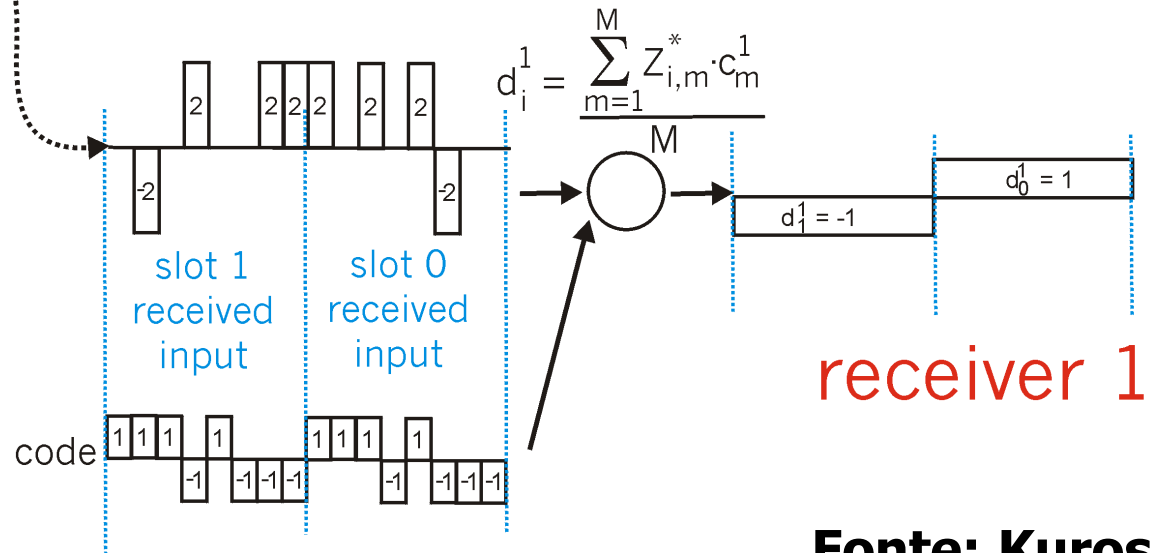
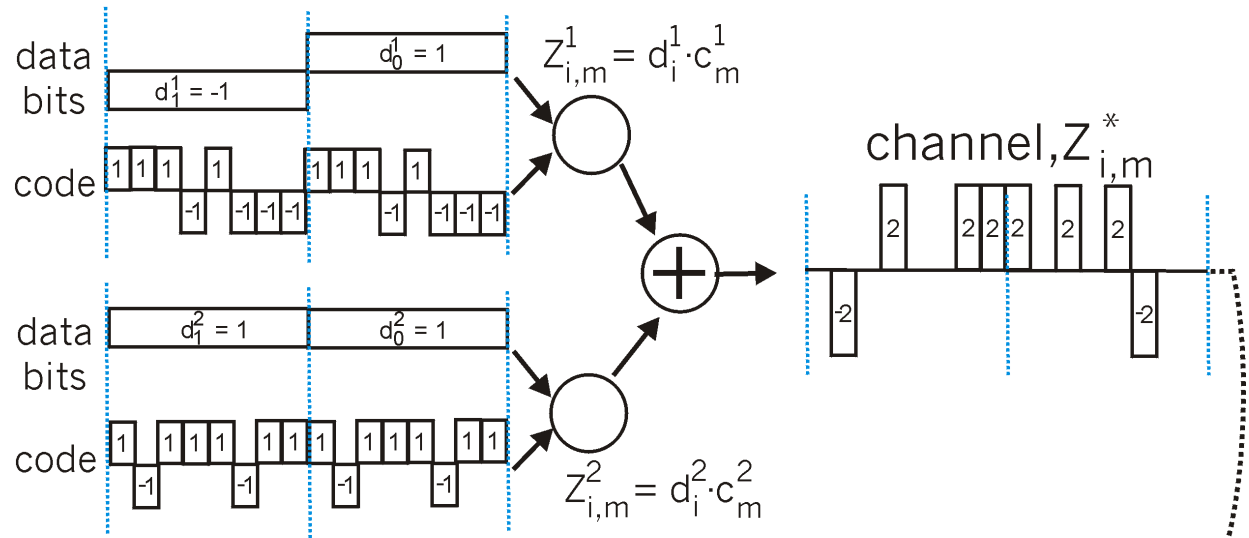


- Cada usuário possui a sua sequência de *chipping* para codificar os dados
 - Um usuário por código
 - Sinais são aditivos
- Codificação
 - Sinal codificado = dados originais x sequência de *chipping*
- Decodificação
 - Produto interno do sinal codificado e da sequência de *chipping*
- Múltiplos usuários podem coexistir e transmitir simultaneamente
 - Se os códigos são **ortogonais**

CDMA com 2 transmissores

M=8

senders

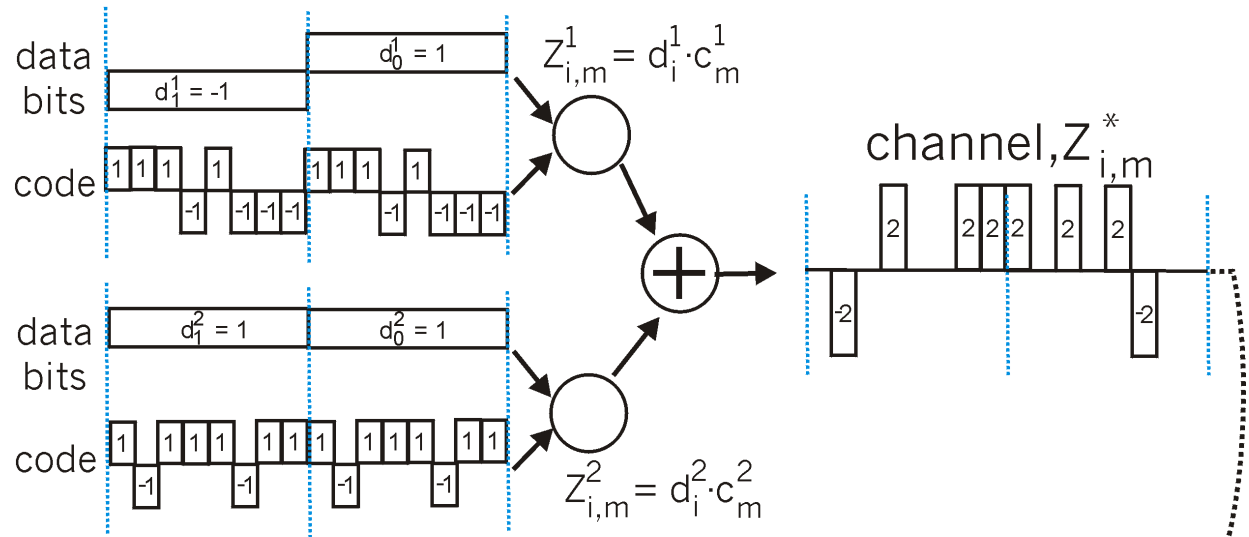


Fonte: Kurose

CDMA com 2 transmissores

M=8

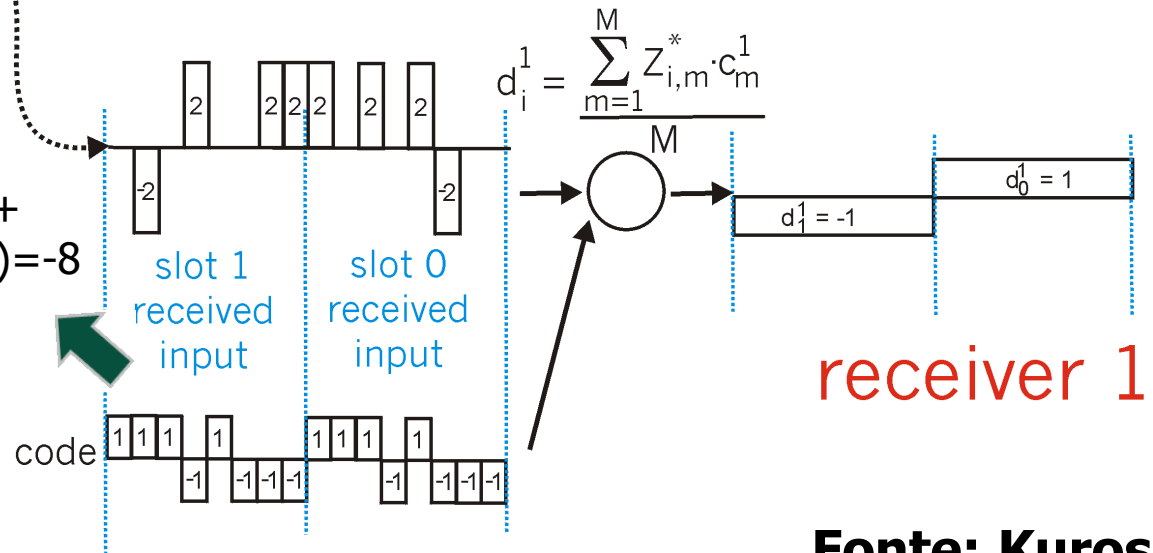
senders



$$(0 \times 1) + (-2 \times 1) + (0 \times 1) + (2 \times (-1)) + (0 \times 1) + (0 \times (-1)) + (2 \times (-1)) + (2 \times (-1)) = -8$$



$$d_1^2 = -8/M = -1$$



Fonte: Kurose

Aula 7

Redes Sem-Fio e Mobilidade

Princípios e características do meio de transmissão; CDMA

Igor Monteiro Moraes
Redes de Computadores II