





# Redes sem fio

- Vantagens
  - baixo custo de instalação
  - mobilidade
  - acesso ubíquo
- Desvantagens
  - Baixa taxa de transmissão
  - menor eficiência
  - questões de segurança



# Redes 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



# Crescimento das redes sem fio

- Usuários de telefonia móvel no mundo
  - 1993 - 34 milhões
  - 2008 - 4 bilhões
  - 2016 - 4,61 bilhões



# Acesso a Internet

- Dispositivos móveis ultrapassou os fixos em 2014
  - 2 bilhões
- Dispositivos de IoT
  - Todas as coisas



# Comunicação sem fio

- Princípios básicos de propagação
- problemas da rede sem fio
  - grande atenuação
  - alcance limitado
  - Espectro de frequências limitado
  - interferência/Reflexão
  - Baixas taxas de transmissão
  - Segurança



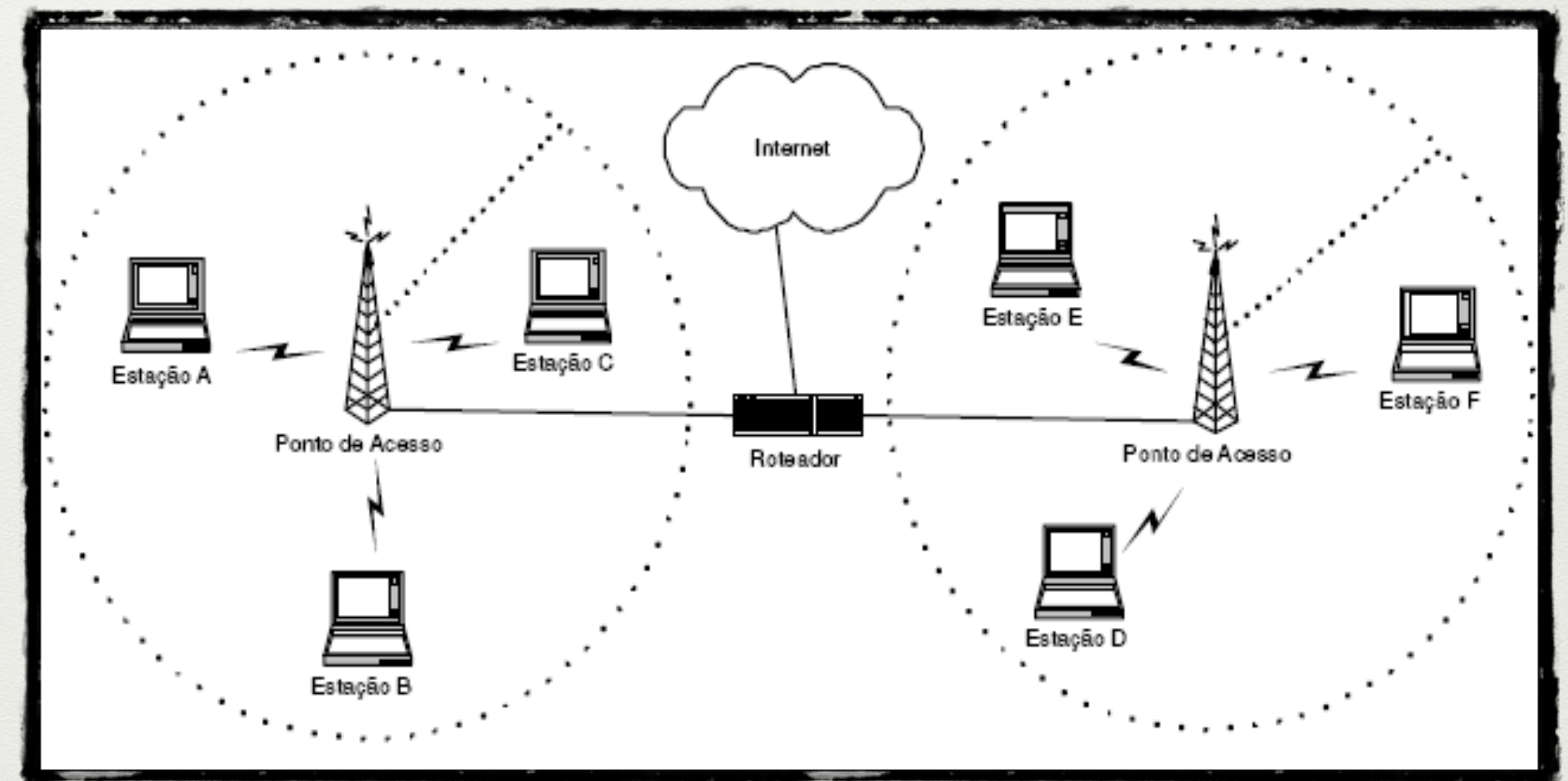
# Categorias de comunicação sem fio

- Divididas em duas básicas 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



# Comunicação com Infraestrutura

- Estação base
  - Controla a comunicação
  - Podem se conectar a outras redes
- Estações cliente
  - Comunicação apenas com a estação base





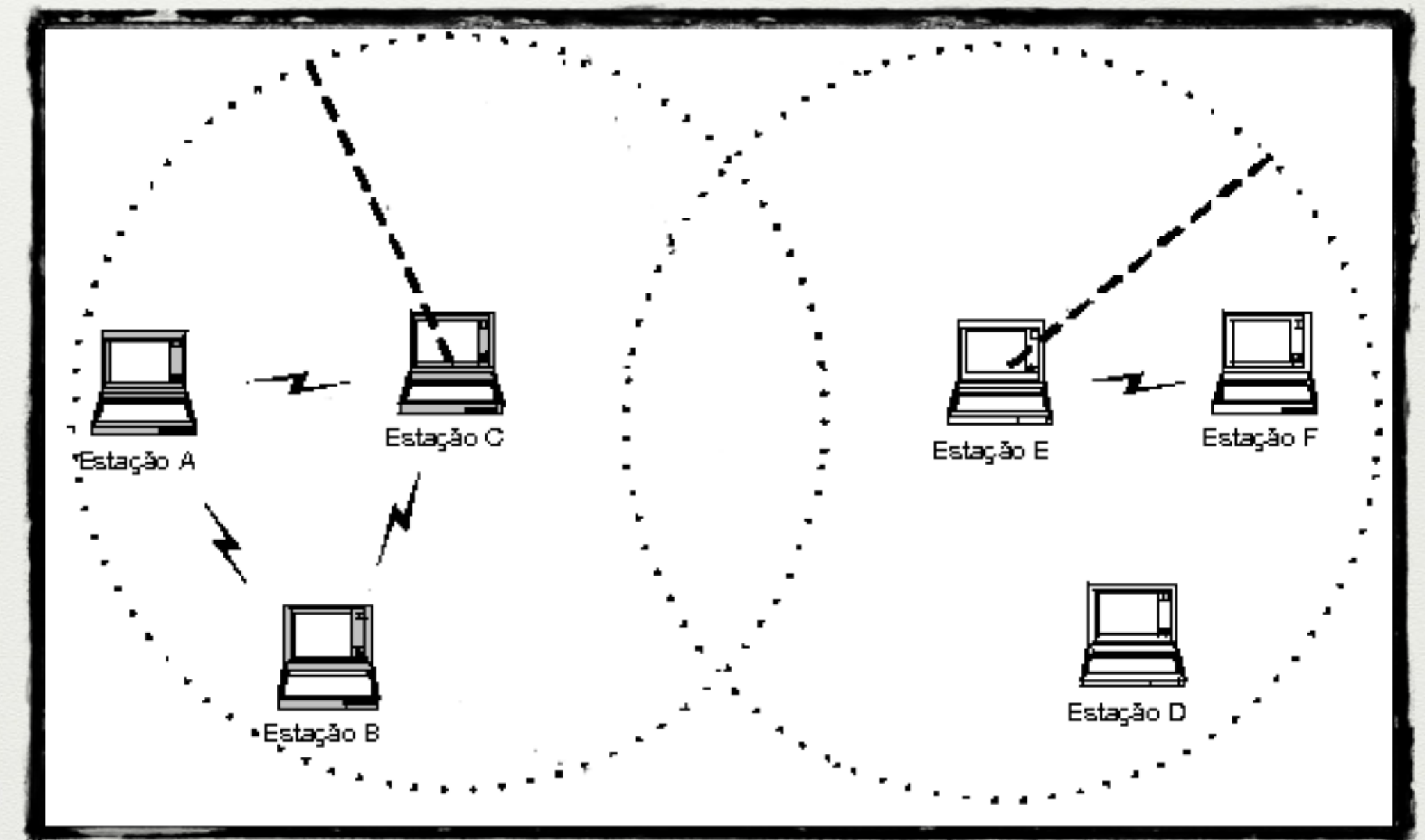
# Categorias de comunicação sem fio II

- 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 comunicação direta

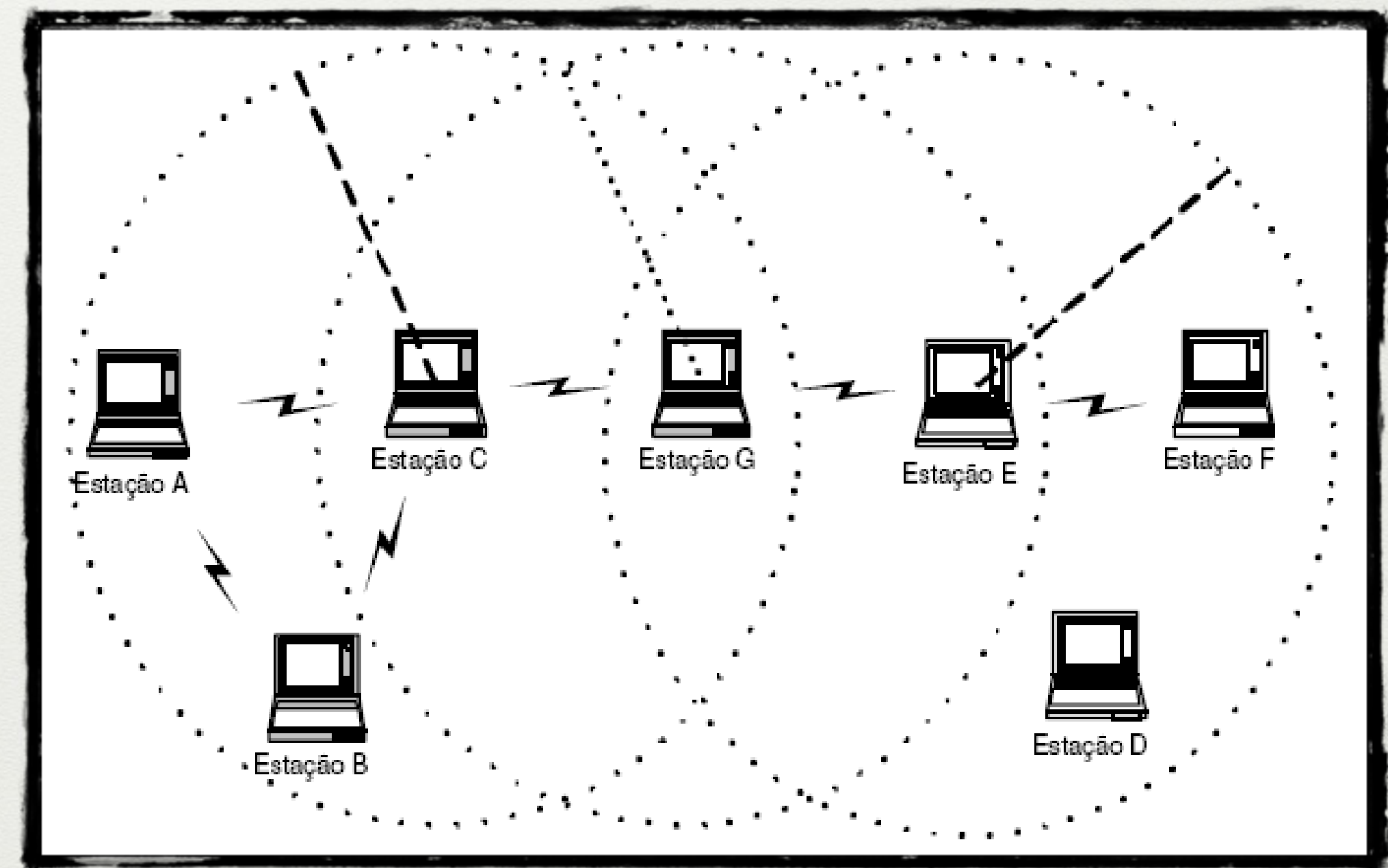
- Comunicação dentro do raio de alcance
- Não há conexão com outras redes
  - nem com outros nós distantes





# Rede Ad hoc de múltiplos saltos

- Comunicação dentro do raio de alcance
- Pacotes para outros nós distantes
  - Podem ser encaminhados por nós intermediários
- Roteadores
  - Todos os nós da rede





# Redes Ad hoc

- 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



# Aplicações para redes Ad hoc

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



# Redes Híbridas

- Redes que mesclam a comunicação direta sem infraestrutura
  - Comunicação infraestruturada
    - Acesso a outras redes
      - Internet
- Exemplos
  - Redes em malha
  - Redes veiculares
  - IoT



# Camada Física

Redes sem fio





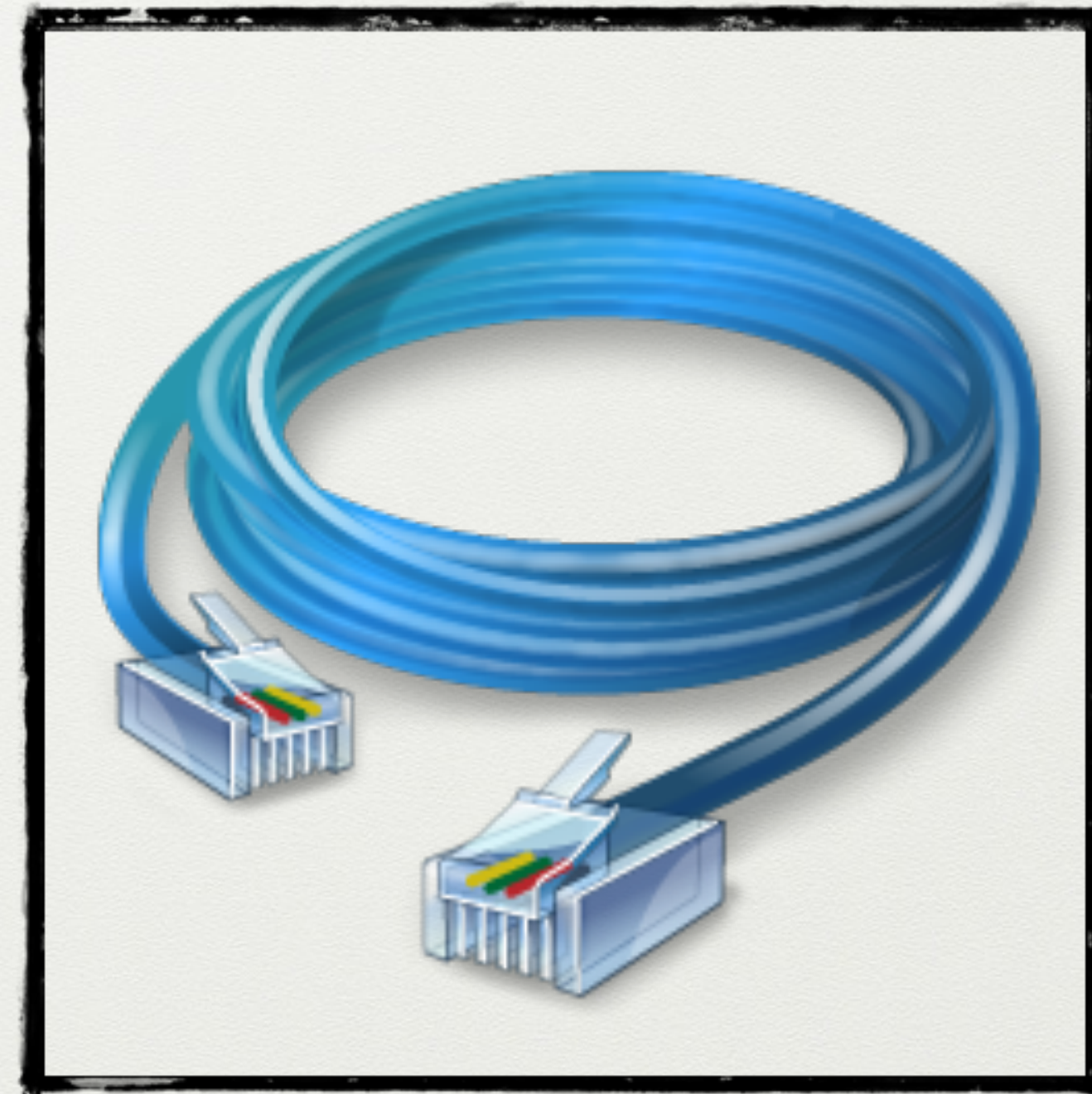
# Características do meio de transmissão

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



# Comparação com o fio

- Fio Ethernet
- Onda eletromagnética confinada
- Menos interferência
- Menor atenuação
- $BER = 10^{-7}$

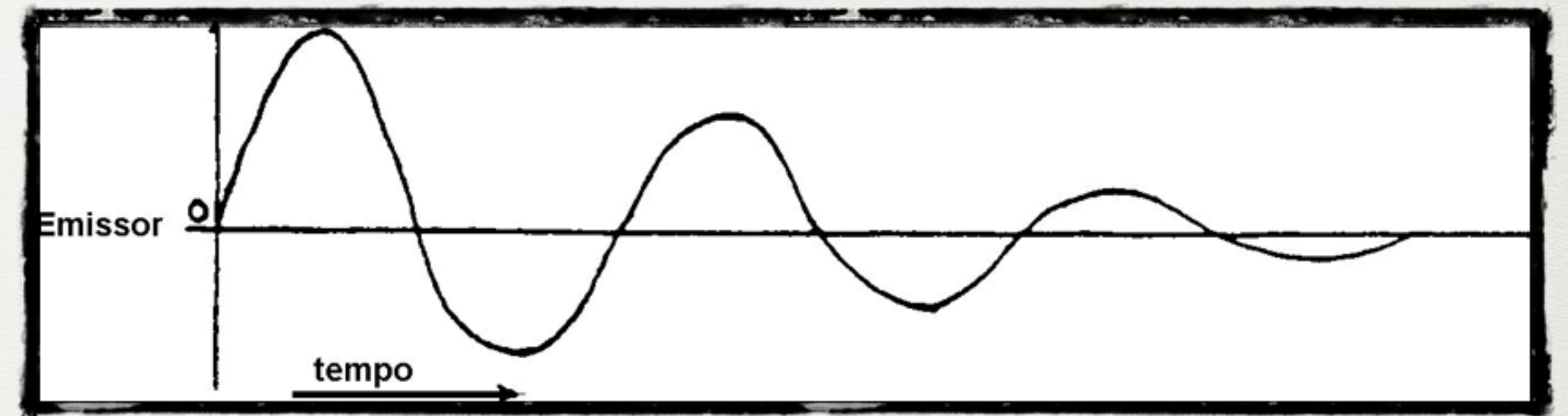


fonte:iconarchive.com



# Atenuação

- 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
  - 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





# Atenuação

- Além de uma determinada distância, a atenuação torna-se muito forte
  - Usam-se repetidores
- Atenuação varia com a frequência
  - É maior nas frequências mais altas
    - Técnicas para equalizar a atenuação através de uma banda de frequências são usadas
- Maior no espaço livre
  - É um meio físico não-guiado
    - Não há confinamento das ondas eletromagnéticas



# Perdas 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

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



# Ruídos

- 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 de 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



# Diafonia

- Linha cruzada como na telefonia
- Pode ocorrer quando dois ou mais sinais distintos interferem (sinais indesejados são “induzidos”) no sinal recebido
- Efeito dominante nas bandas ISM
  - Usada pelo IEEE 802.11, telefones sem-fio domésticos, etc.



# Ruído de pulso

- 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



# Desvanecimento (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

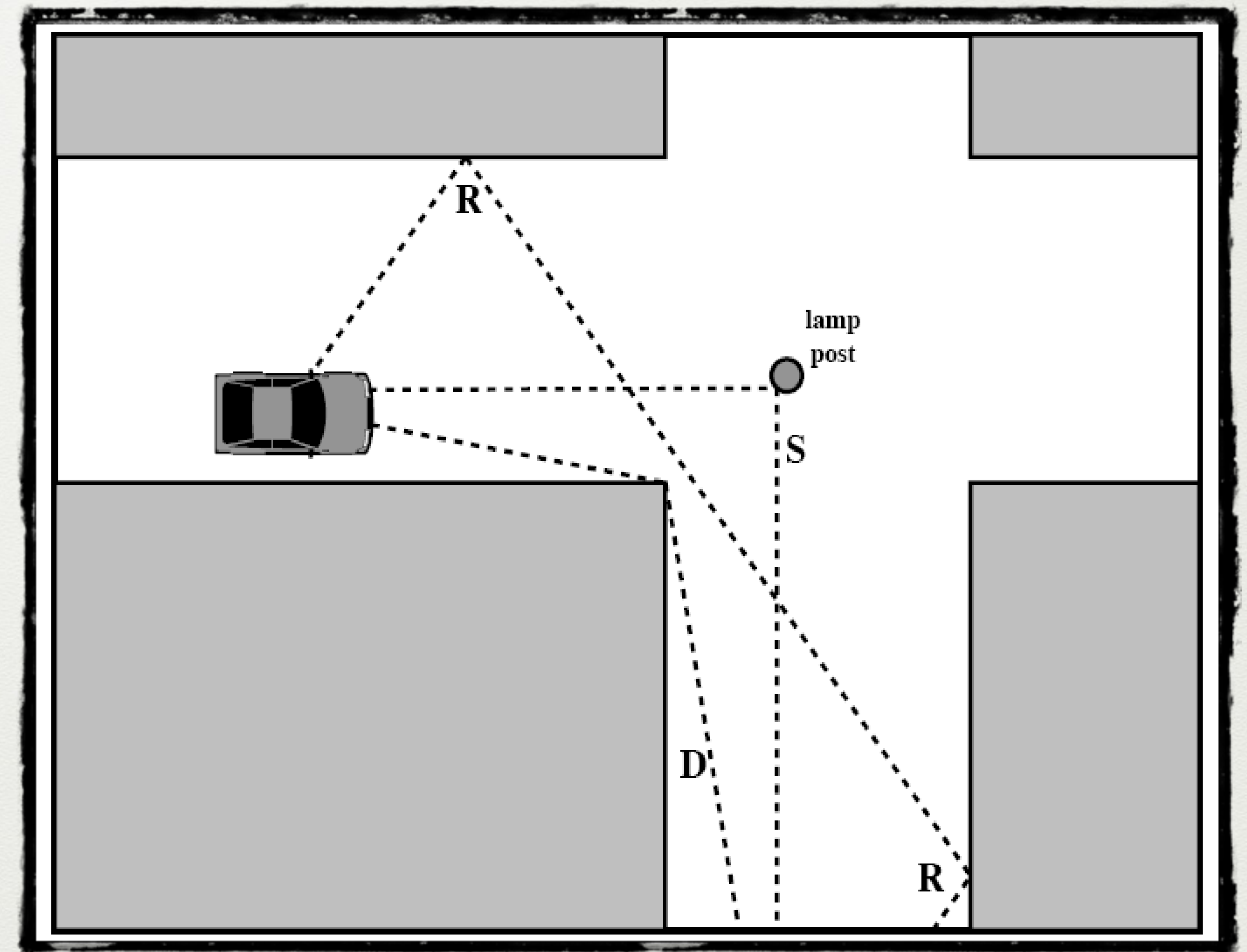
- Sinal recebido pelo receptor é composto de sinais vindo de diferentes direções e caminhos
  - Diferente das comunicações cabeadas
- Mecanismos de propagação
  - Reflexão
  - Difração
  - Dispersão



# Propagação por múltiplos caminhos

fonte: Stalins

- Gera múltiplas cópias do sinal
- Diferença de fases
- Podem atuar de modo construtivo ou destrutivo
- Interferência intersimbólica pode ocorrer



Reflexão (R)

Difração (D)

Dispersão (S)



# 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



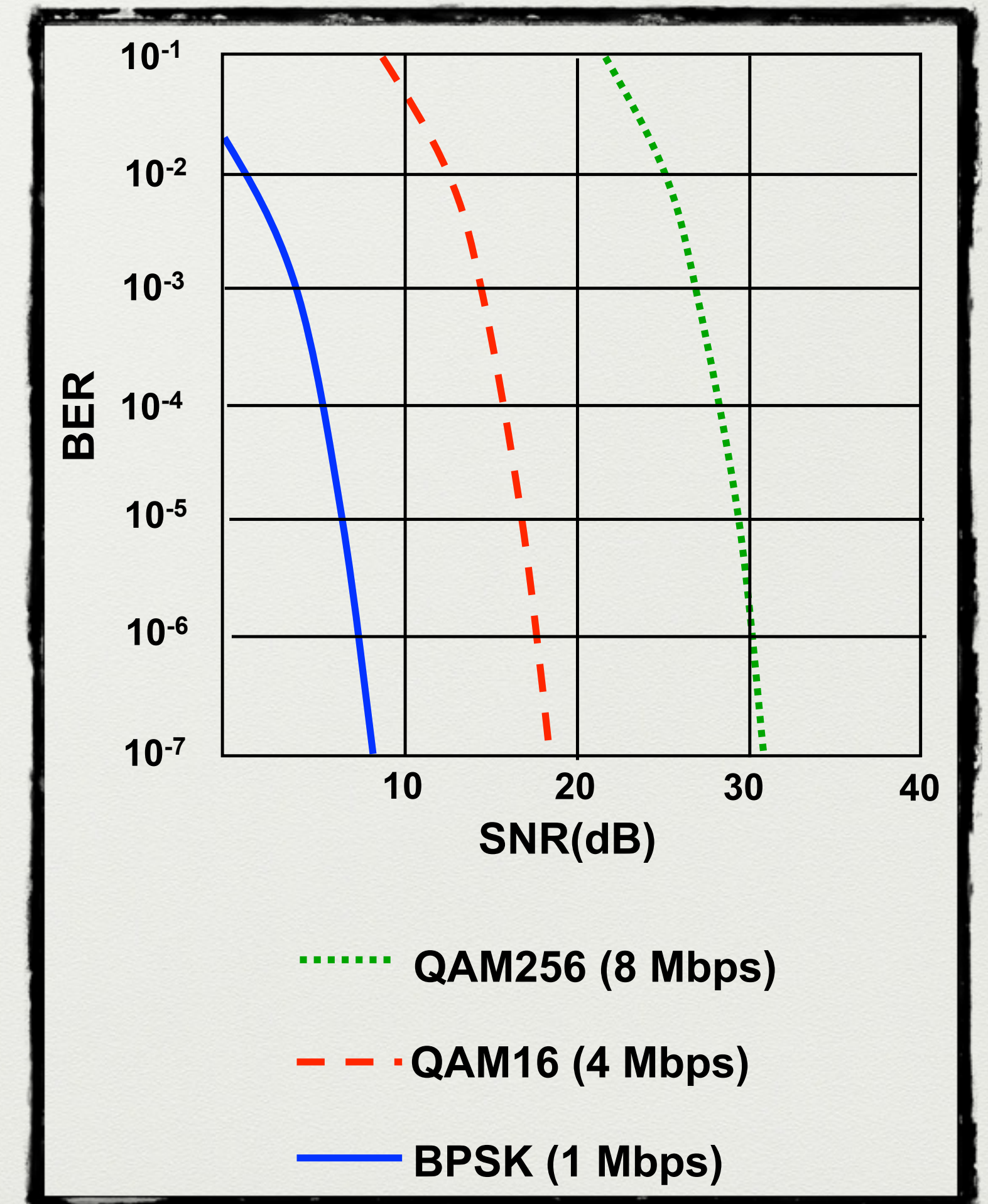
# Algumas métricas

- 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  $\longrightarrow$  menor BER



# Relações entre SNR e BER

- Para uma dada camada física
  - Maior potência  $\rightarrow$  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.





# Outros problemas

- Problemas além dos da comunicação sem-fio
- Múltiplos remetentes sem fio e receptores criam problemas adicionais
  - Terminal escondido
    - Atenuação do sinal
  - Terminal exposto



# Camada de Enlace

Redes sem fio



fonte: <http://monet.postech.ac.kr>



# Funções da Camada de Enlace

- Enquadramento (framing)
- Entrega confiável
- Controle de fluxo
- Detecção de erros
- Correção de erros
- Transmissão half-duplex ou full-duplex
- Controle de acesso ao meio



# Conceitos importantes

- Interferência
  - Quando dois ou mais nós transmitem simultaneamente
- Colisão se um nó receber dois ou mais sinais ao mesmo tempo



# Múltiplo acesso ideal

- Para um canal de broadcast com taxa de  $R$  b/s
- Quando apenas um nó tem dados para enviar
  - Esse nó obtém uma vazão de  $R$  b/s
- Quando  $M$  nós têm dados para enviar
  - Cada nó poderá transmitir em média a uma taxa de  $R/M$  b/s
- Completamente descentralizado
  - Nenhum nó especial (mestre) para coordenar as transmissões
  - Nenhuma sincronização de relógios ou slots
- Simples para que sua implementação seja barata



# Categorias de Protocolos MAC

- Divisão de Canal
  - Divide o canal em pequenos “pedaços” (slots/compartimentos de tempo, frequência, código)
  - Aloca pedaço a um dado nó para uso exclusivo deste
- Acesso Aleatório
  - Canal não é dividido, podem ocorrer colisões
  - “Recuperação” das colisões
  - Revezamento
    - Nós se alternam em revezamento, mas nós que possuem mais dados a transmitir podem demorar mais quando chegar a sua vez



# Protocolos de Divisão de canal

- Acesso ao meio é dividido entre as estações
  - Não podem ocorrer colisões
- Estação compartilha a taxa do canal com outras estações
- Exemplos
  - TDMA
  - FDMA
  - CDMA



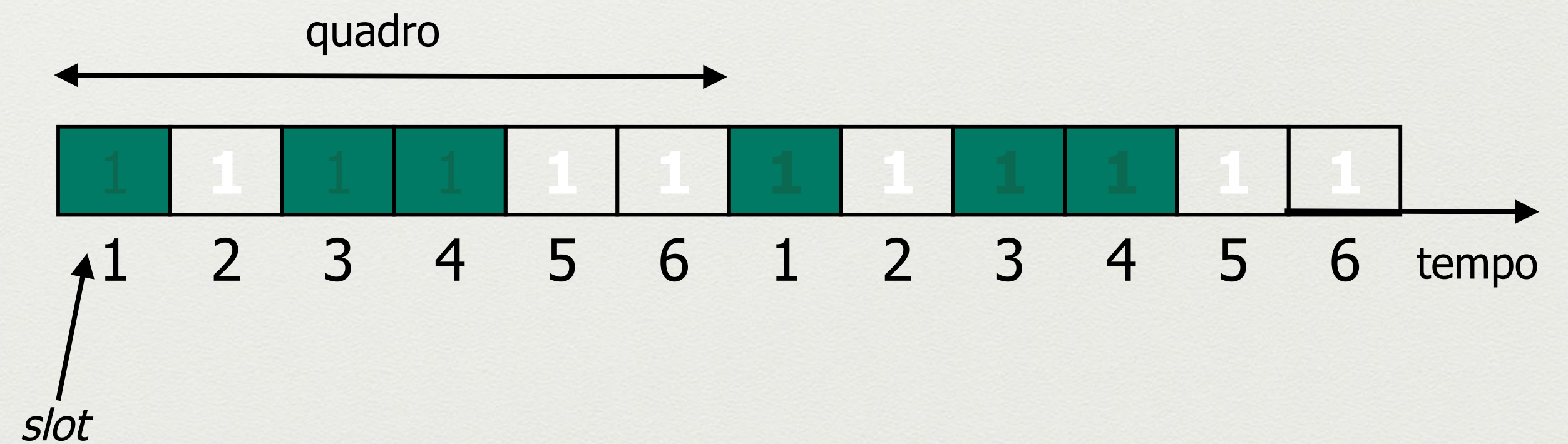
# TDMA

- Acesso múltiplo por divisão de tempo (Time Division Multiple Access)
  - Acesso múltiplo feito em função do tempo
- Tempo é dividido em slots
- Em cada slot somente uma estação pode transmitir
  - Acesso ao canal em “turnos”



# TDMA

- Exemplo
  - Rede local com 6 estações
  - Slots 1, 3 e 4 com pacotes
  - Slots 2, 5 e 6 ociosos





# FDMA

- Acesso múltiplo por divisão de frequência (Frequency Division Multiple Access)
- Acesso múltiplo feito em função da frequência
- Espectro do canal dividido em bandas de frequência
- Cada estação está associada a uma banda de frequência diferente
  
- Problema semelhante ao TDMA
  - Tempo de transmissão não usado nas bandas **permanecem ociosos**



# CDMA

- Acesso múltiplo por divisão de código (Code Division Multiple Access)
- Acesso múltiplo feito em função do código
- Cada estação está associada a um código diferente
  - Destino deve conhecer o código da fonte
- Muito usado em redes sem fio
- Vantagem
  - Estações podem transmitir simultaneamente usando códigos diferentes
    - Depende do código usado



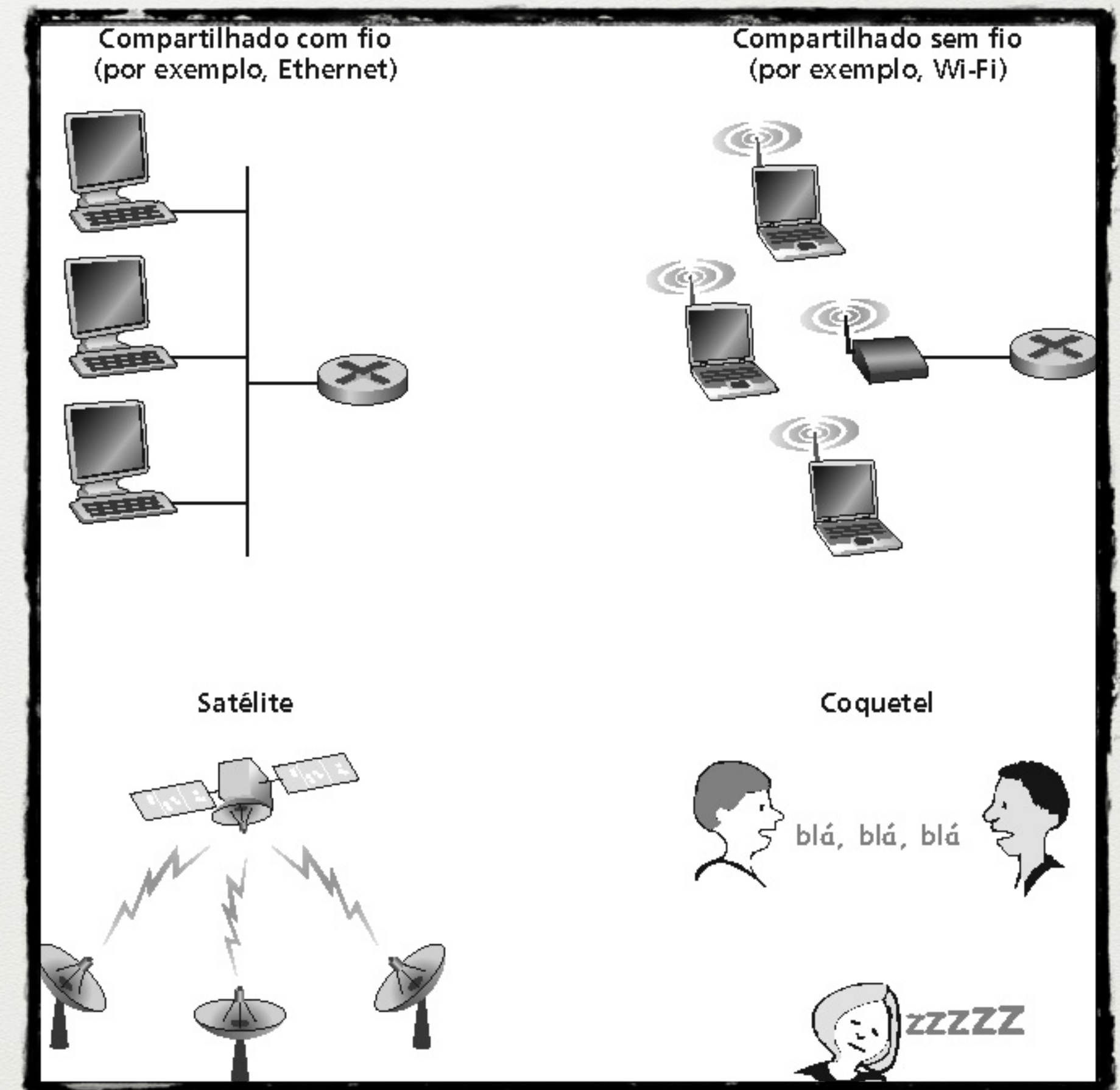
# Multiplexação

- Tem por objetivo compartilhar o meio físico
  - Divisão do meio ocorre na camada física
- Geralmente centralizada em um dispositivo denominado multiplexador
- Pode ser classificada em função da variável usada para separar as fontes
  - Por divisão de tempo (Time Division Multiplexing - TDM)
  - Por divisão de frequência (Frequency Division Multiplexing - FDM)
  - Por divisão de comprimentos de onda (Wavelength Division Multiplexing – WDM)



# Controle de Acesso ao Meio (MAC)

- Protocolos de múltiplo acesso usados em canais de difusão
  - Coordenação de transmissores e de receptores em um canal de difusão compartilhado
    - Algoritmos distribuídos que determinam
      - Como os nós compartilham o canal
      - Quando um nó pode transmitir
- Comunicação sobre o compartilhamento do canal deve usar o próprio canal!
  - Não há canal fora da faixa para coordenar a transmissão





# Protocolos de acesso aleatório

- Quando nó tem um pacote para transmitir
  - Tenta transmitir à taxa máxima do canal
- Nenhuma coordenação a priori entre os nós
  - Se dois ou mais nós transmitem ao mesmo tempo: colisão
- Acesso ao meio é realizado de forma não determinística
- Nesse cenário o protocolo MAC de acesso aleatório especifica
  - Como detectar colisões
  - Como se recuperar delas



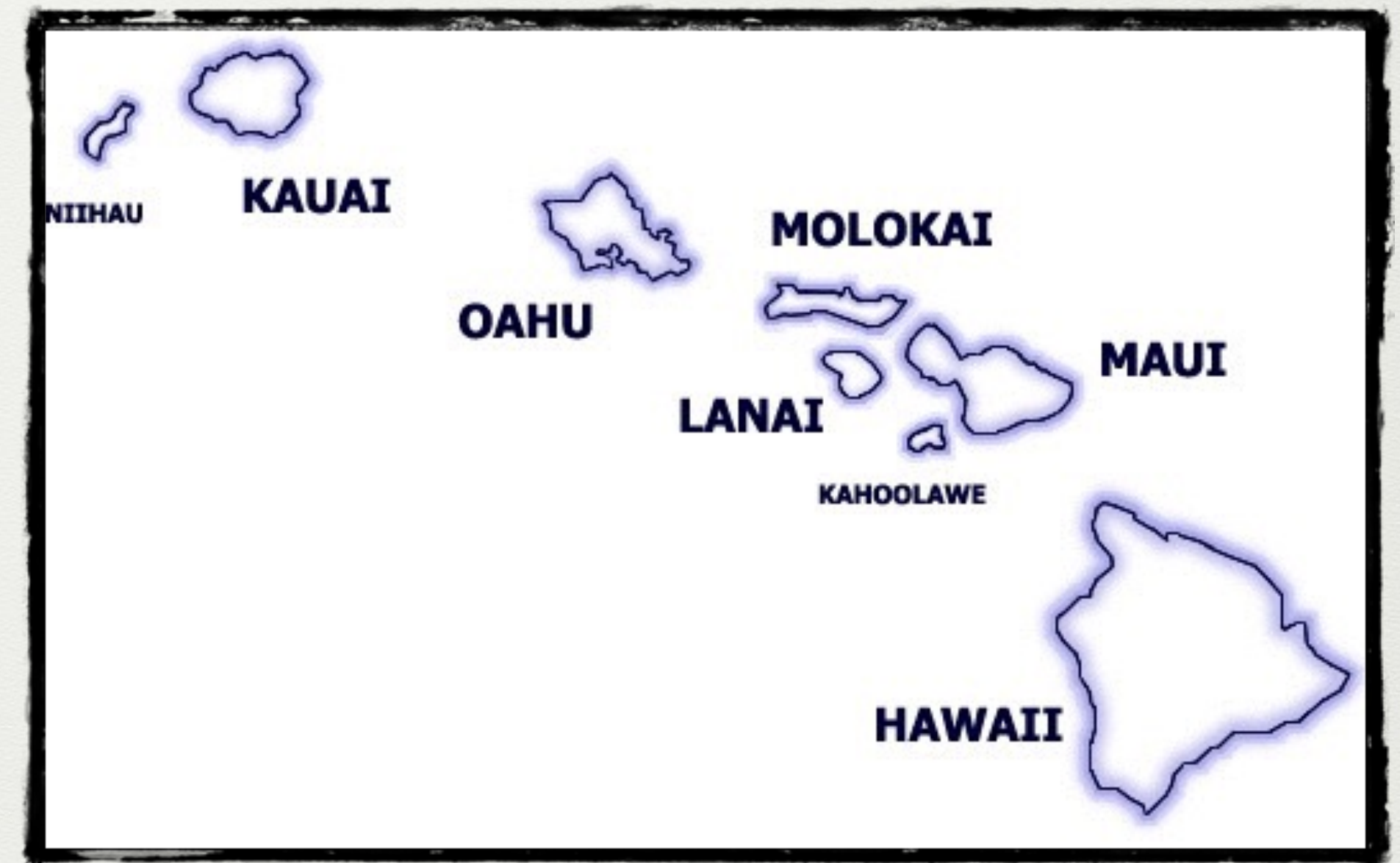
# Protocolos de acesso aleatório

- Aloha
- Slotted Aloha
- CSMA persistente
- CSMA não persistente
- CSMA p-persistente
- CSMA/CD



# Rede Aloha

- Criada por Norman Abramson em 1960
- Primeira rede baseada em pacotes
- Interligação de computadores em várias ilhas do Havaí compartilhando um meio (RF)
  - Comunicação com um computador central
    - Disputa do meio



fonte: <http://www.drodd.com/>



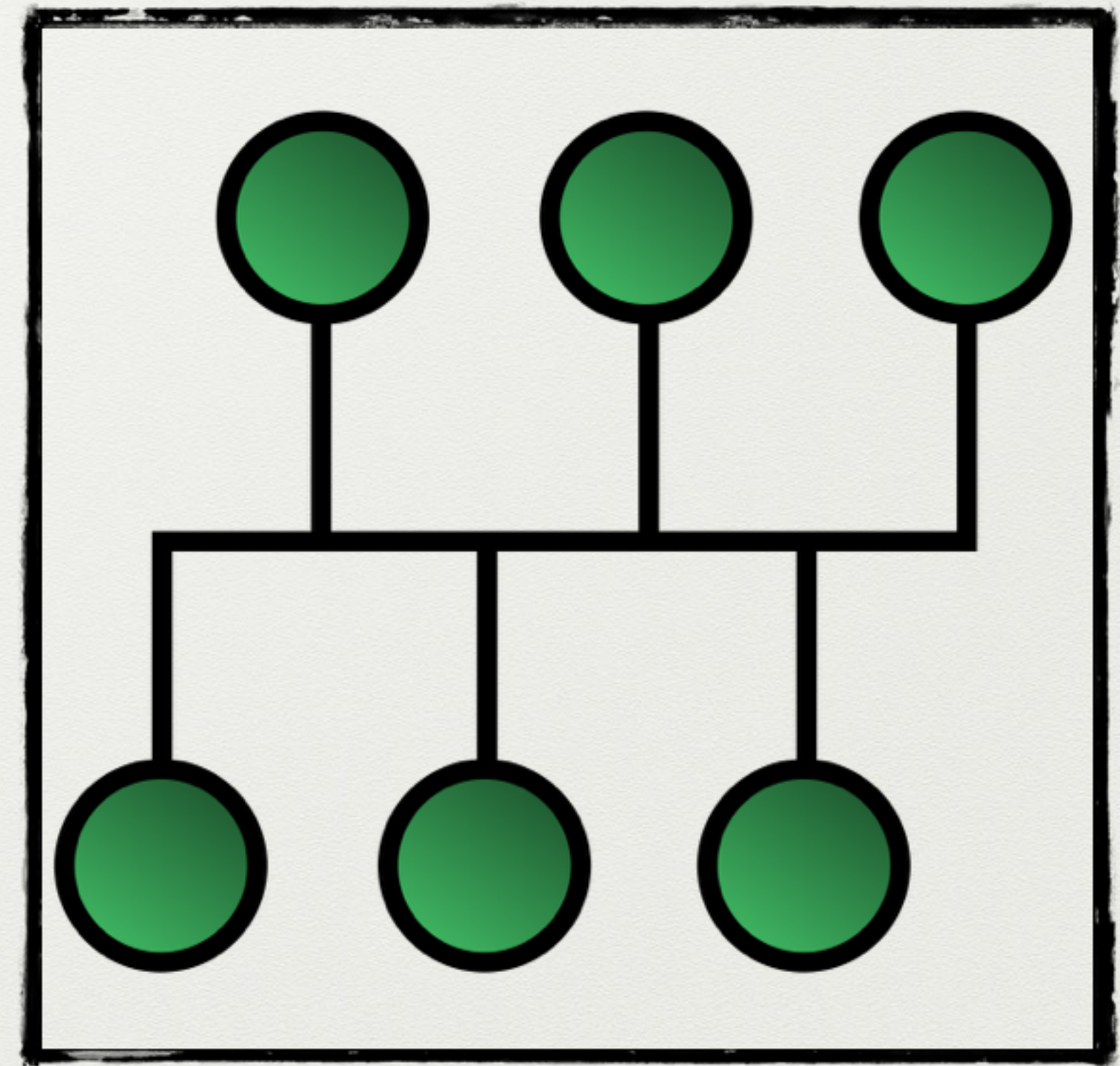
# Aloha

- Estação transmite quando desejar
- Duas ou mais estações transmitem ao mesmo tempo  $\longrightarrow$  colisão
  - Quadros chegam com erros  $\longrightarrow$  receptor não envia reconhecimento positivo (ACK)
    - Colisão inferida através do não recebimento do ACK em um tempo aleatório T
  - Retransmissão dos quadros após a temporização
- Baixa eficiência



# Ethernet

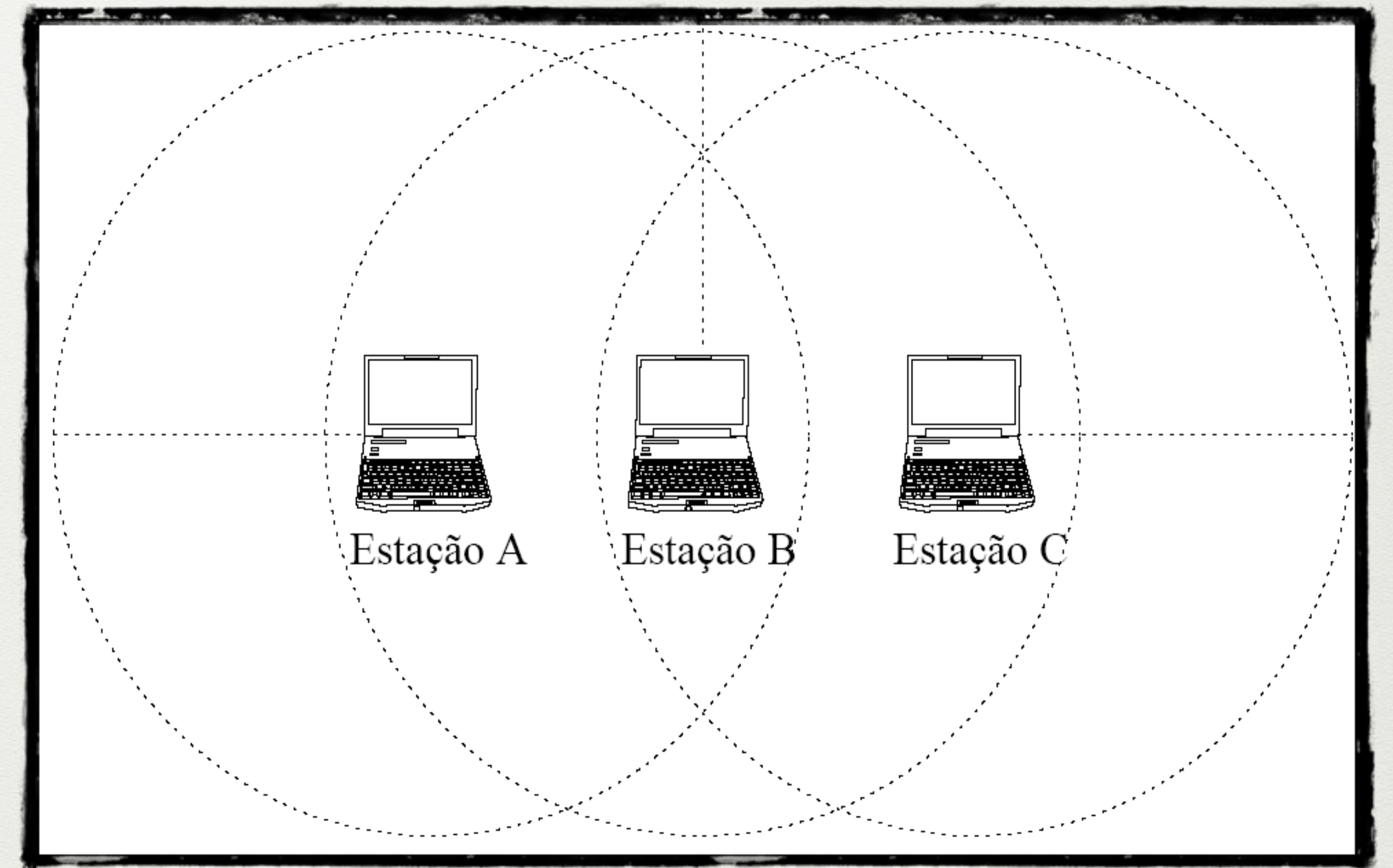
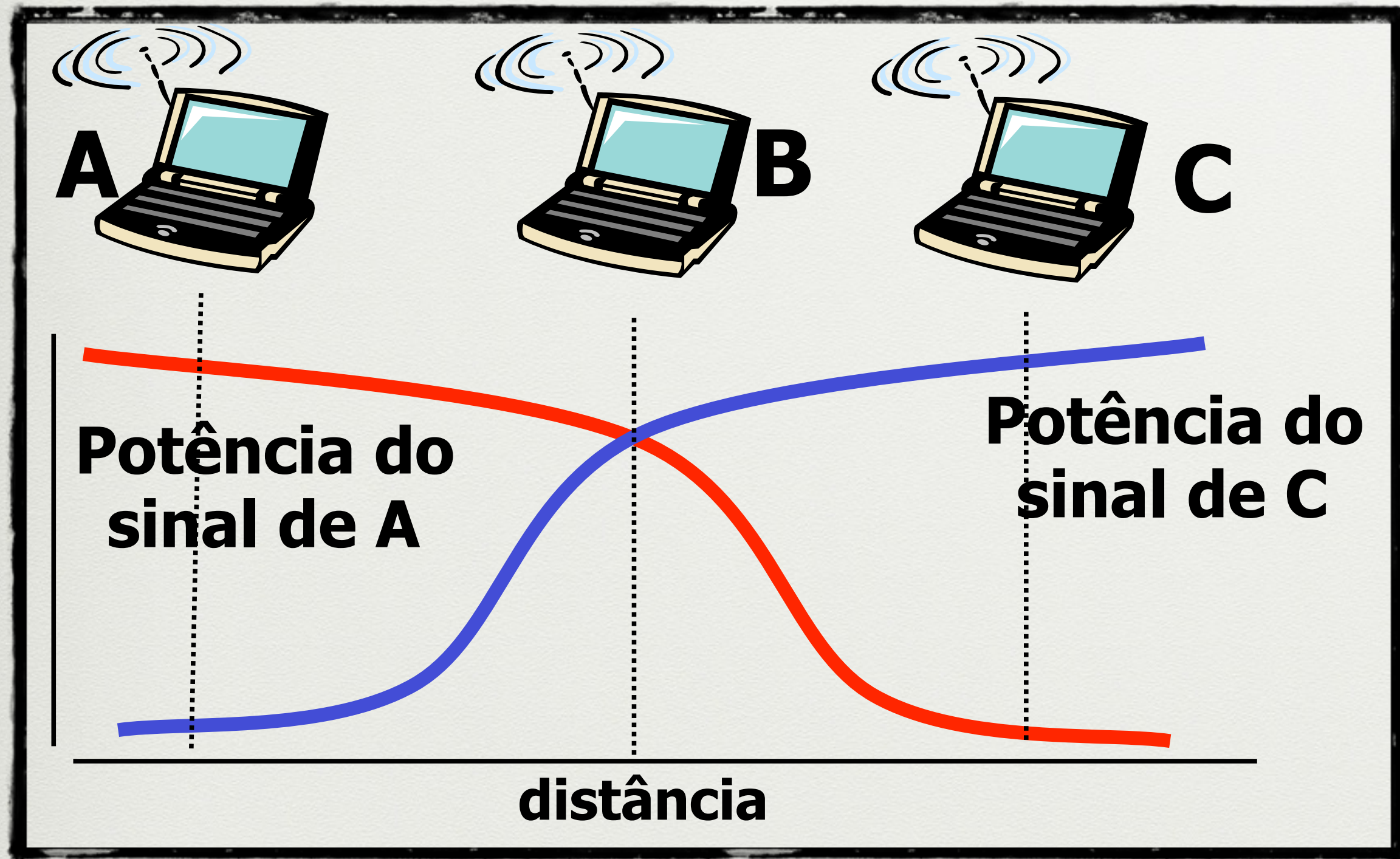
- Topologia em barramento
- Meio compartilhado
- Controle de acesso ao meio



fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/Bus\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Bus_network)

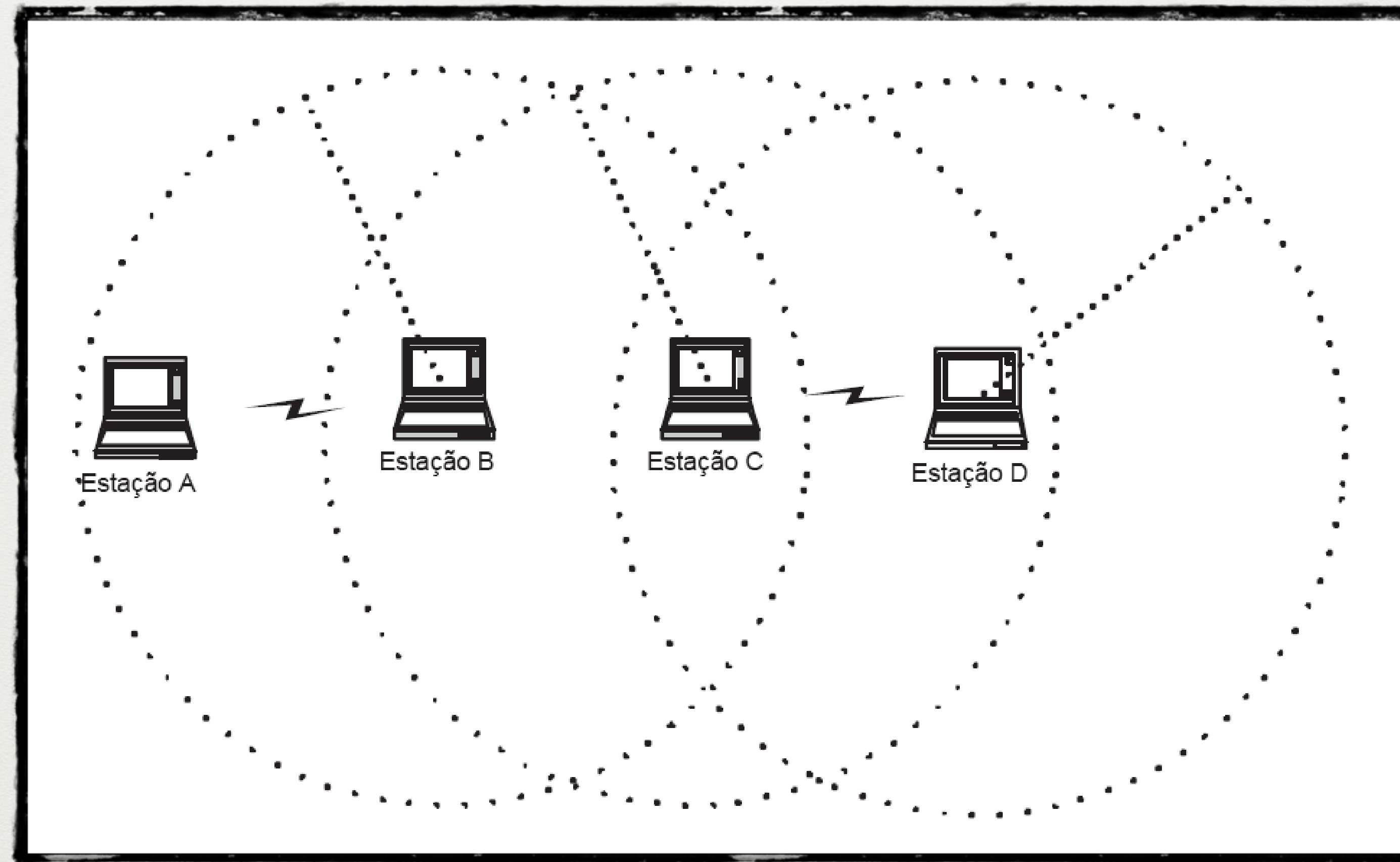


# Terminal escondido



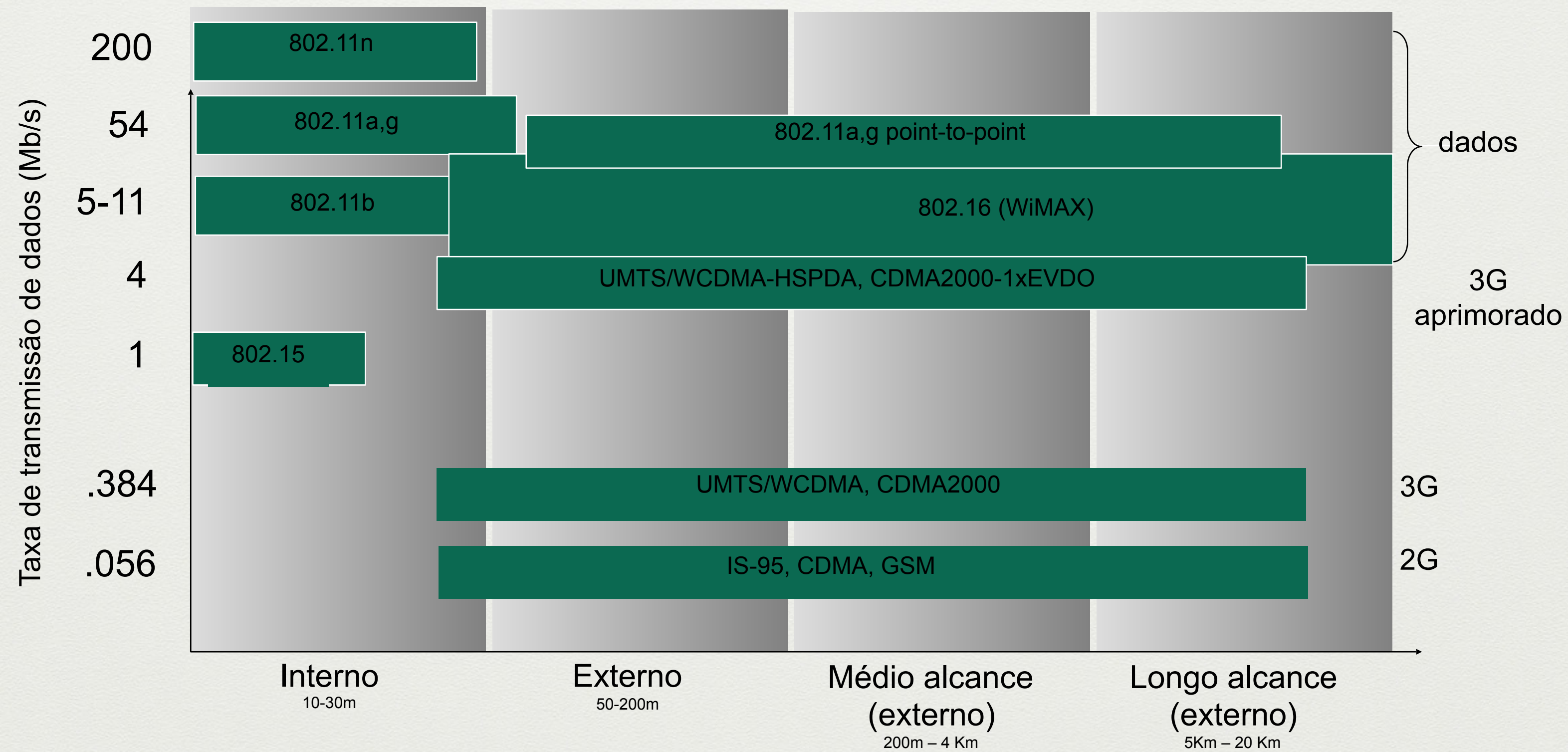


# Terminal exposto





# Padrões para redes sem fio





# Créditos

- Algumas das transparências foram inspiradas nas aulas
- Prof. Igor de Monteiro Moraes (IC/UFF)
  - Inclusive as figuras que estão sem o crédito
- Figura do primeiro slide
- Fonte: <http://www.ikanda.be/sensors/what-is-iot>