

Resumo da aula anterior

- Redes sem fio
 - Categorias
 - Infraestrutura
 - Ad hoc
 - Vantagens/desvantagens
 - Camada Física
 - Principais características

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

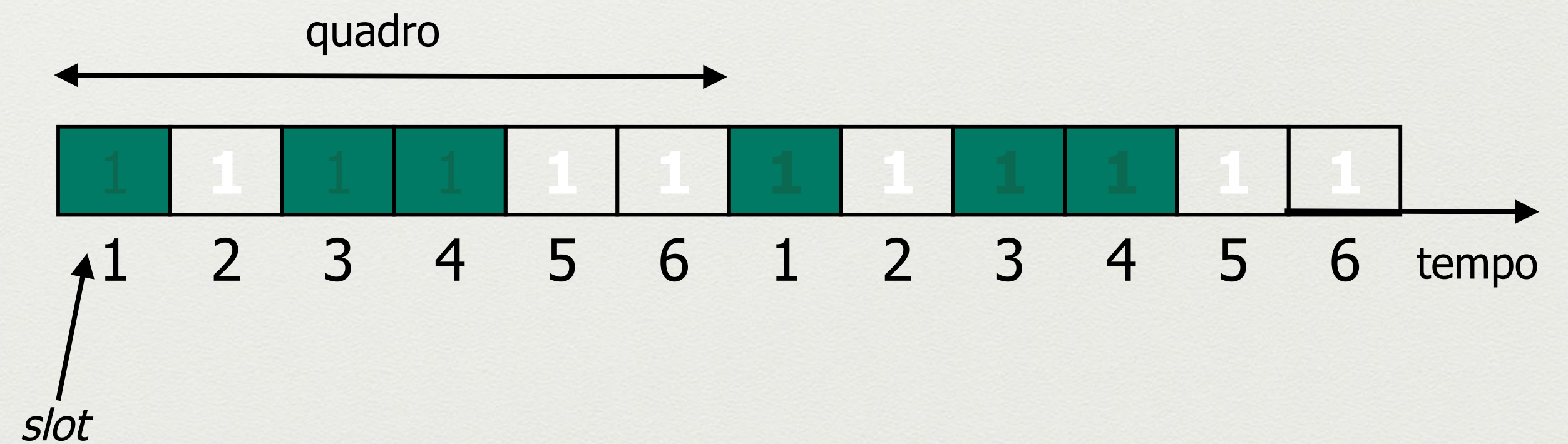
- Acesso ao meio é dividido entre as estações
 - Não podem ocorrer colisões
- Estação compartilha a taxa do canal com outras estações
- Exemplos
 - TDMA
 - FDMA
 - CDMA

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

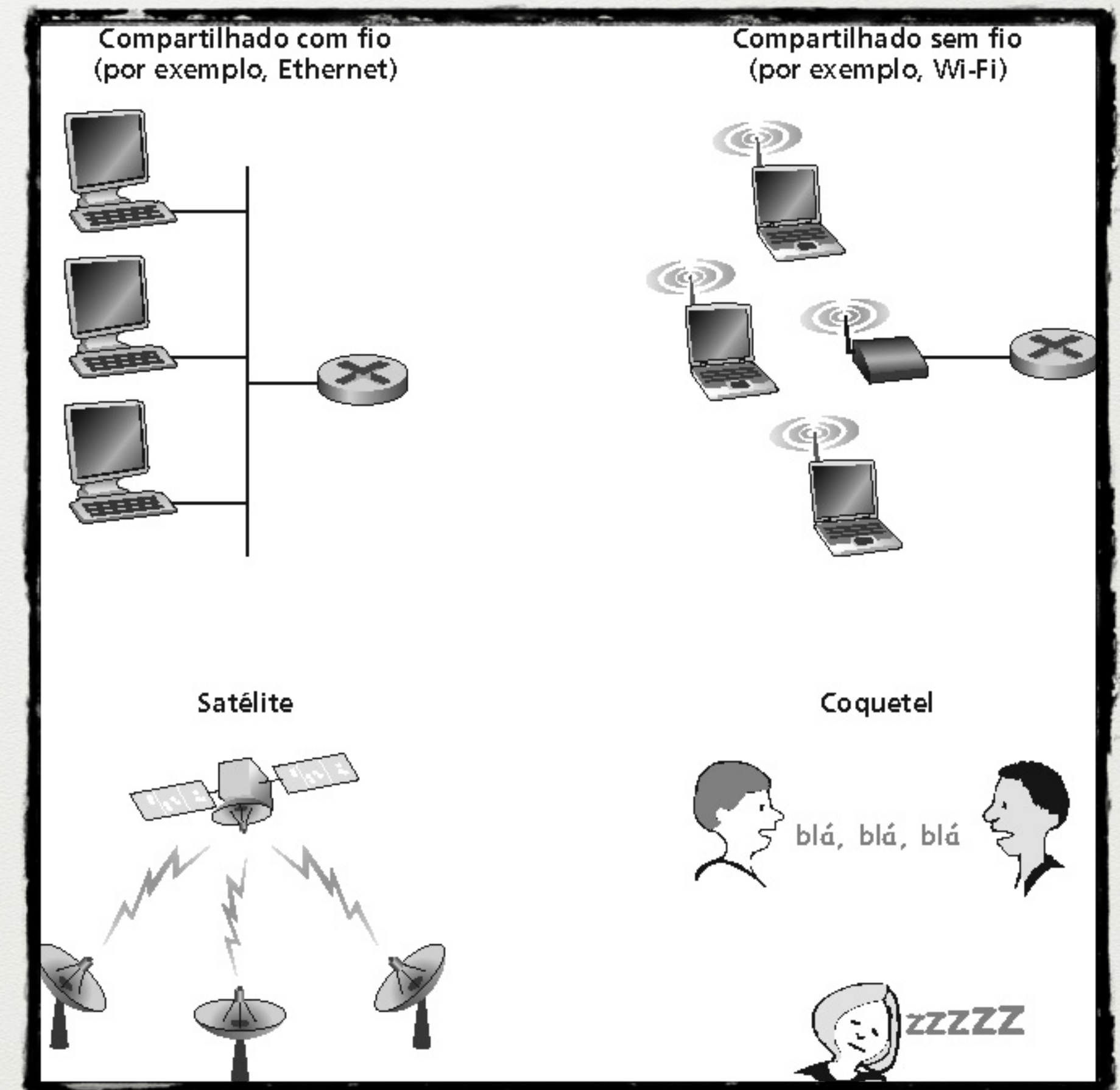
- Acesso múltiplo por divisão de código (Code Division Multiple Access)
- Acesso múltiplo feito em função do código
- Cada estação está associada a um código diferente
 - Destino deve conhecer o código da fonte
- Muito usado em redes sem fio
- Vantagem
 - Estações podem transmitir simultaneamente usando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

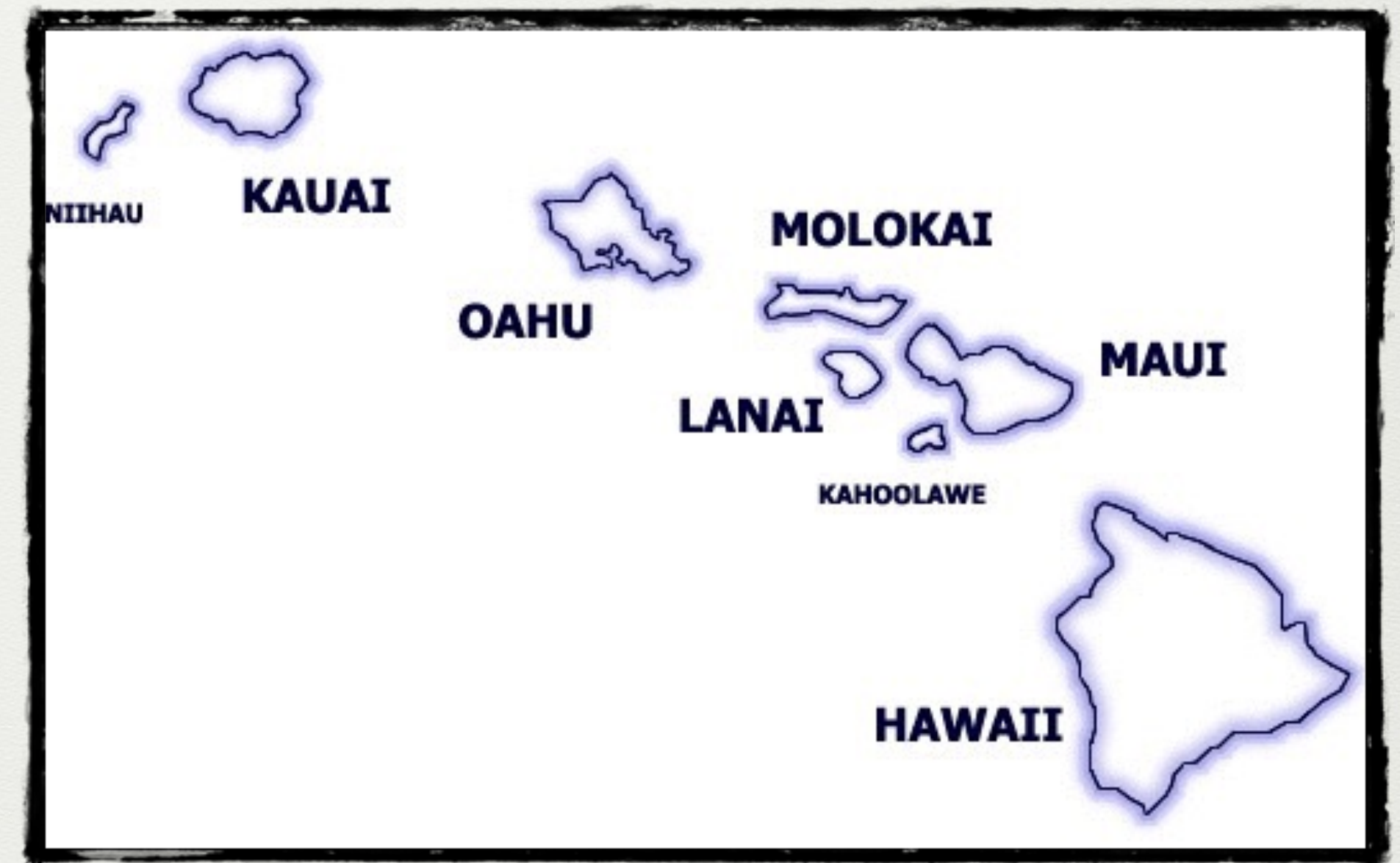
- Quando nó tem um pacote para transmitir
 - Tenta transmitir à taxa máxima do canal
- Nenhuma coordenação a priori entre os nós
 - Se dois ou mais nós transmitem ao mesmo tempo: colisão
- Acesso ao meio é realizado de forma não determinística
- Nesse cenário o protocolo MAC de acesso aleatório especifica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



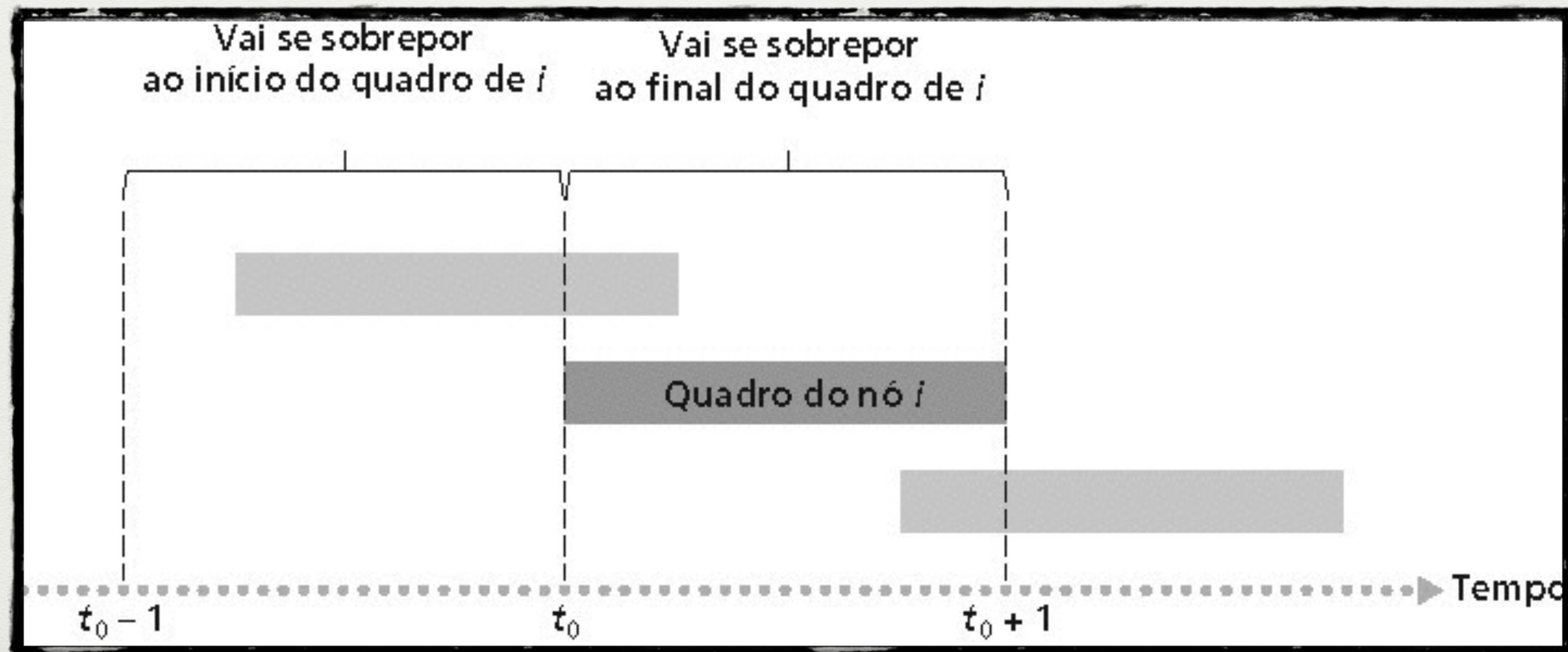
fonte: <http://www.drodd.com/>

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

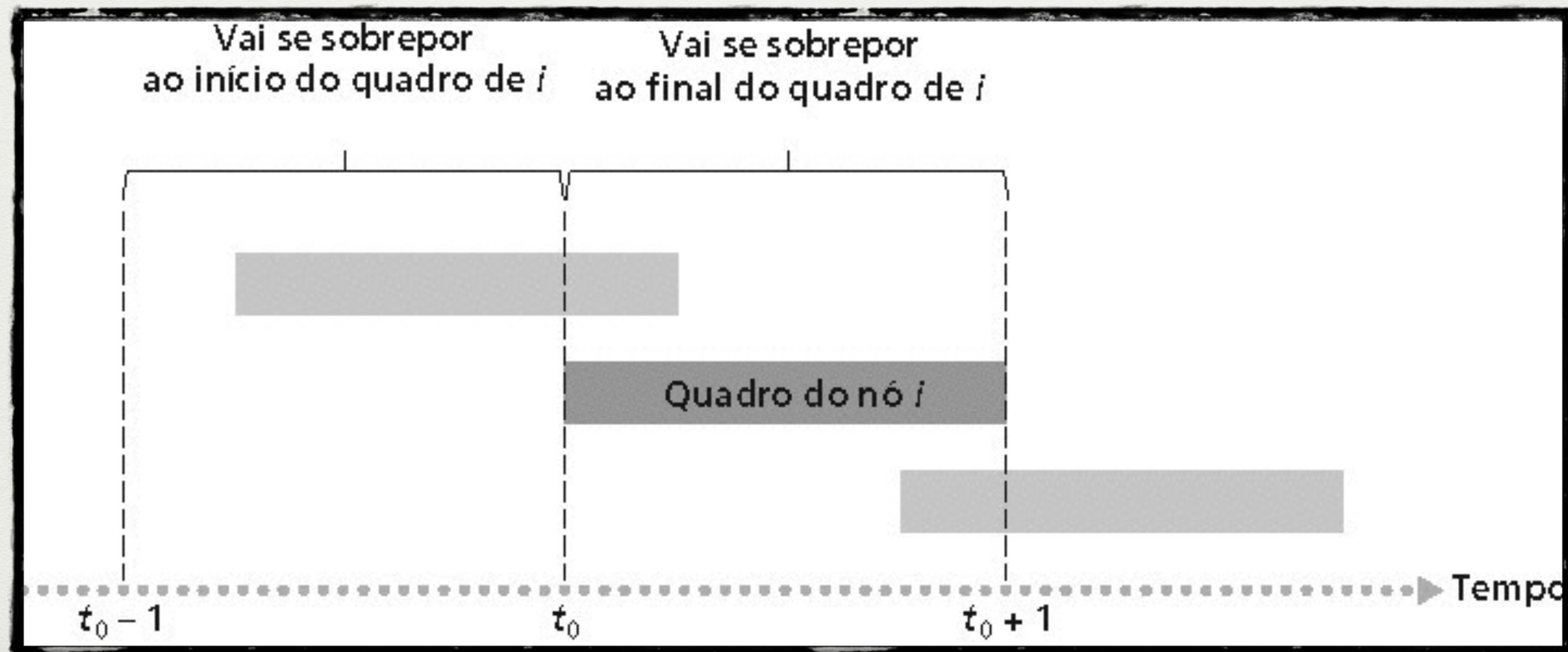
Eficiência do Aloha

- Probabilidade de colisão
- Quadro enviado em t_0 colide com outros quadros enviados em $[t_0-1, t_0+1]$



Eficiência do Aloha

- $P(\text{sucesso por um dado nó}) =$
 $P(\text{nó transm.}) \times P(\text{nenhum nó transm. em } [t_0-1, t_0]) \times P(\text{nenhum nó transm. em } [t_0, t_0+1])$



Eficiência do Aloha

- $P(\text{sucesso por um dado nó}) =$

$$P(\text{nó transm.}) \times P(\text{nenhum nó transm. em } [t_0-1, t_0]) \times P(\text{nenhum nó transm. em } [t_0, t_0+1])$$

p



$$P(\text{sucesso por um dado nó}) = p \times (1 - p)^{(n-1)} \times (1 - p)^{(n-1)} = p \times (1 - p)^{2(n-1)}$$

Escolhendo p ótimo e fazendo $n \rightarrow \infty$

$$P(\text{sucesso por um dado nó}) = 1/2e = 18\%$$

Slotted Aloha

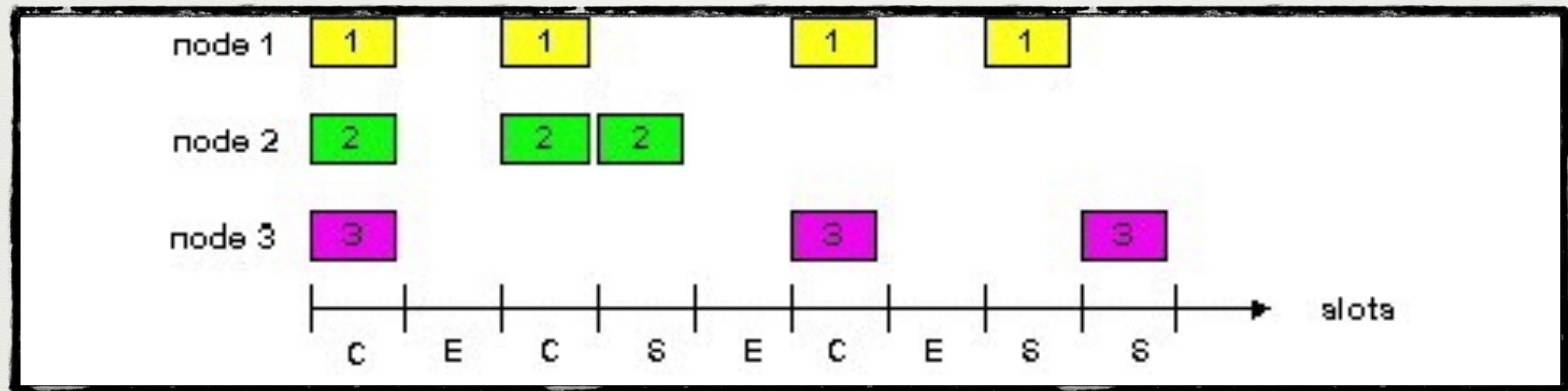
- Hipóteses
 - Todos os quadros têm o mesmo tamanho (L bits)
 - Tempo é dividido em slots de tamanho igual
 - Tempo para transmitir 1 quadro (L/R seg)
 - Nós começam a transmitir quadros apenas no início dos intervalos (slots)
 - Nós são sincronizados
 - Se dois ou mais nós transmitirem em um slot, todos os nós detectam a colisão

Slotted Aloha

- Operação
 - Quando o nó obtém um novo quadro
 - Espera até o início do próximo slot e transmite o quadro inteiro
 - Se não houver colisão
 - Nó poderá enviar um novo quadro no próximo slot
 - Caso haja uma colisão (detectada antes do final do intervalo)
 - Nó retransmite o quadro em cada intervalo subsequente
 - Com probabilidade p até obter sucesso

Slotted Aloha

- Funcionamento



Slotted Aloha

- Vantagens
 - Único nó ativo pode transmitir continuamente na taxa máxima do canal
 - Altamente descentralizado
 - Apenas os slots nos nós precisam estar sincronizados
 - Simples
- Desvantagens
 - Quando há colisões \rightarrow slots desperdiçados
 - Slots ociosos \rightarrow desperdício
 - Nós podem ser capazes de detectar colisões num tempo inferior ao da transmissão do pacote
 - Requer a sincronização dos relógios

Eficiência do Slotted Aloha

- Fração de longo prazo de slots bem sucedidos
 - Quando há muitos nós cada um com muitos quadros para transmitir
- Assuma n nós com muitos quadros para enviar
 - Cada um transmite num slot com probabilidade p
- Probabilidade que nó 1 tenha sucesso em um slot
 - $p (1-p)^{(n-1)}$
- Probabilidade que qualquer nó tenha sucesso
 - $np (1-p)^{(n-1)}$

Eficiência do Slotted Aloha

- Para eficiência máxima com n nós
 - Encontrar p^* que maximiza $np(1 - p)^{(n - 1)}$
- Para muitos nós, faça limite para $np(1 - p)^{(n - 1)}$
 - Quando $n \rightarrow \infty$

$$\text{eficiência} = 1/e = 37\%$$

CSMA

- Carrier Sense Multiple Access
 - Uso de detecção de portadora (sinal no meio)
 - Escuta o meio antes de transmitir
 - Se o canal estiver livre, transmite todo o quadro
 - Se o canal estiver ocupado, adia a transmissão
 - Objetivo —> evitar colisões
- Analogia humana: não interrompa outros!
 - Escute antes de falar —> detecção de portadora
 - Se alguém começa a falar junto de você, pare de falar —> detecção de colisão

Várias versões de CSMA

- CSMA persistente
- CSMA não-persistente
- CSMA p-persistente
- CSMA/CD
- CSMA/CA

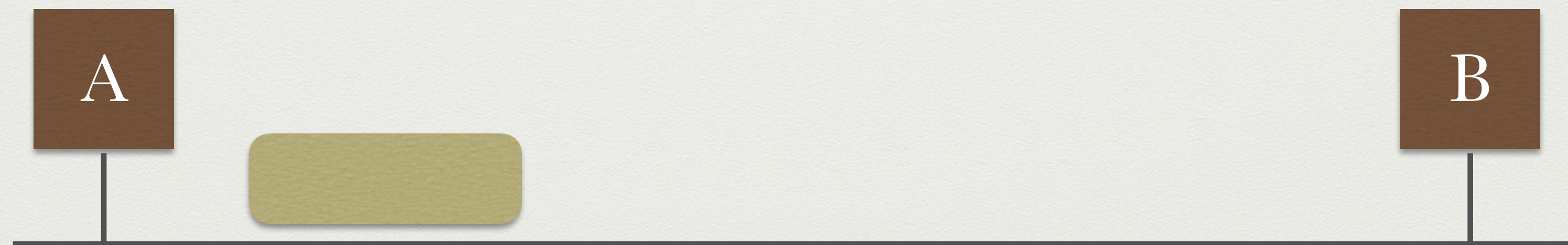
CSMA

- Se todos os nós escutam o meio antes de transmitir, ainda existem colisões?

Colisão no CSMA

- Estação que quer transmitir um quadro ouve o meio
- Mesmo com a escuta da portadora, ainda podem ocorrer colisões
 - Duas ou mais estações escutam o meio
 - Não escutam a transmissão da outra devido ao atraso de propagação do sinal

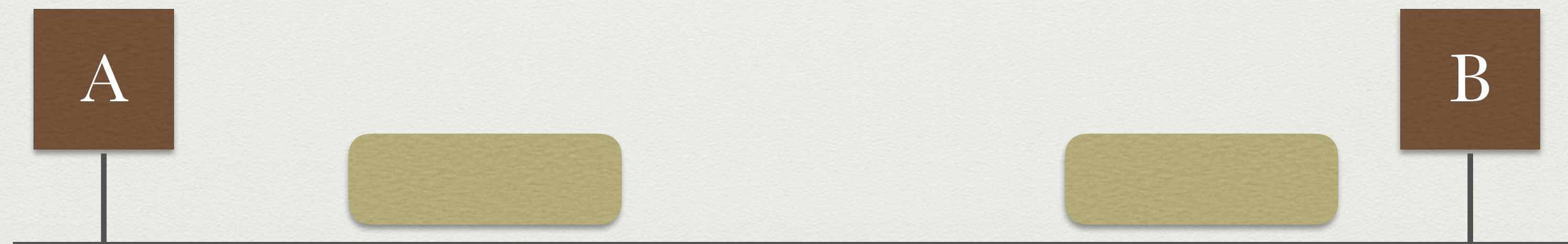
Tempo 0



Colisão no CSMA

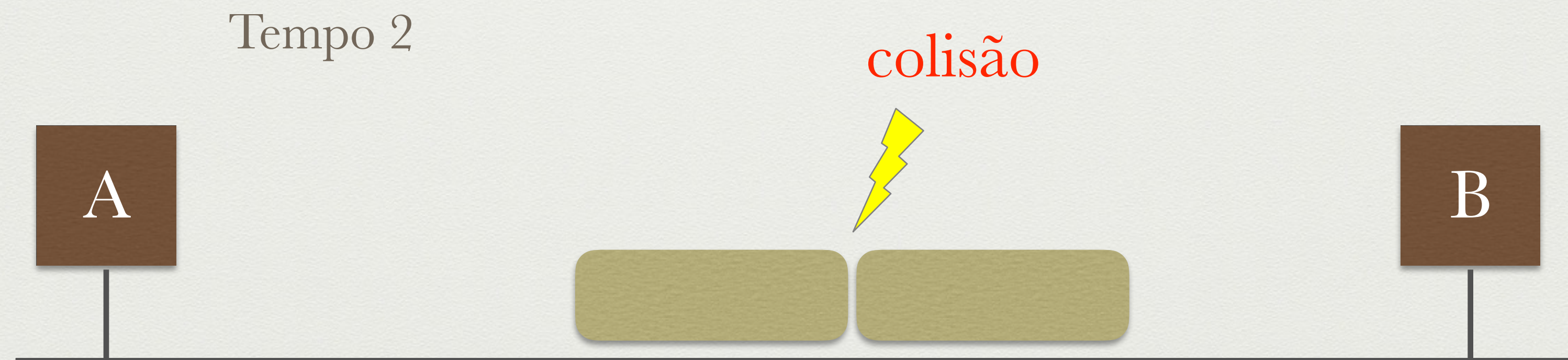
- Estação que quer transmitir um quadro ouve o meio
- Mesmo com a escuta da portadora, ainda podem ocorrer colisões
 - Duas ou mais estações escutam o meio
 - Não escutam a transmissão da outra devido ao atraso de propagação do sinal

Tempo 1



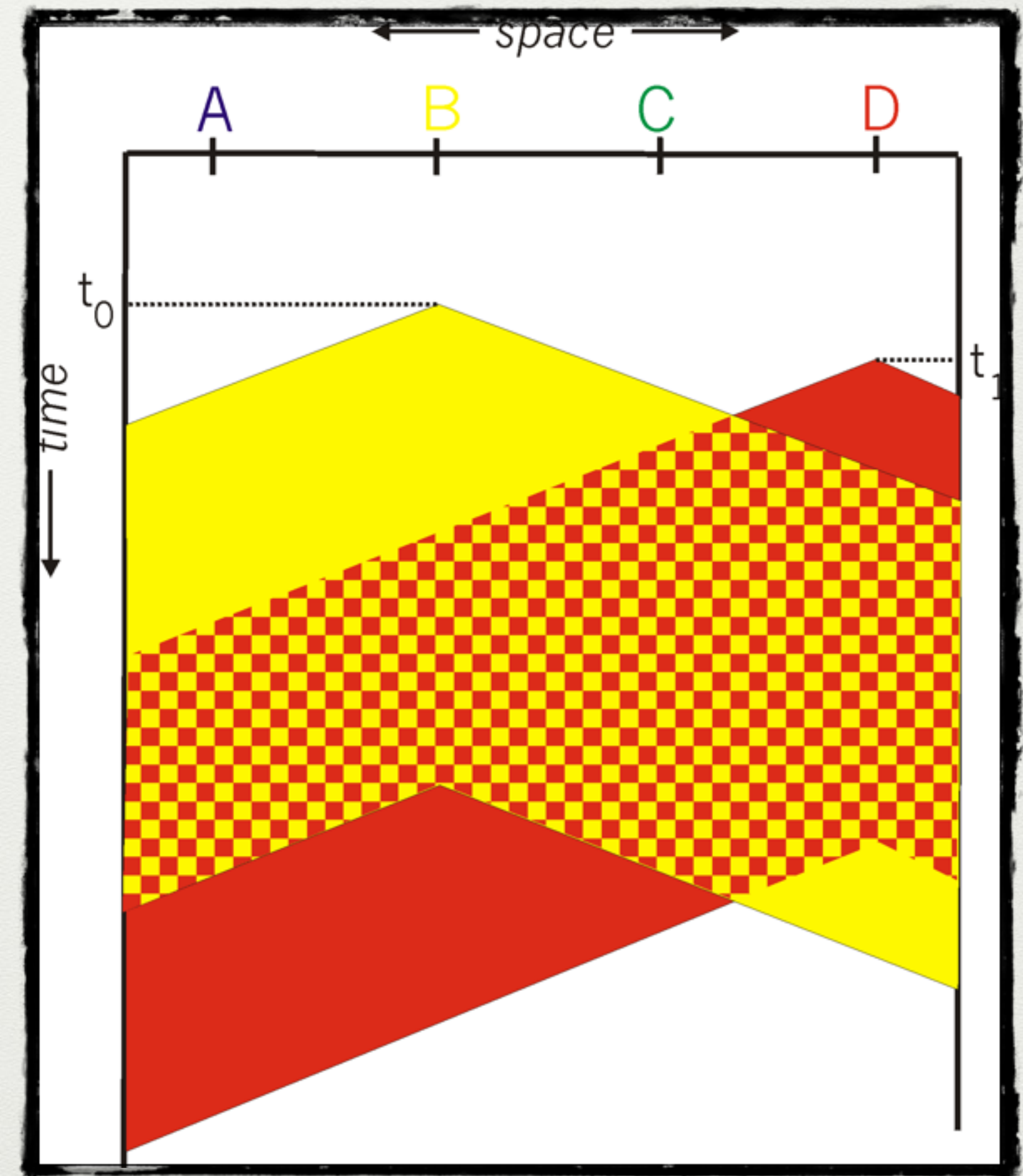
Colisão no CSMA

- Estação que quer transmitir um quadro ouve o meio
- Mesmo com a escuta da portadora, ainda podem ocorrer colisões
 - Duas ou mais estações escutam o meio
 - Não escutam a transmissão da outra devido ao atraso de propagação do sinal



Colisão no CSMA

- 4 estações na rede
- B escuta o meio livre em T_0
- D escuta o meio livre em T_1



Colisão no CSMA

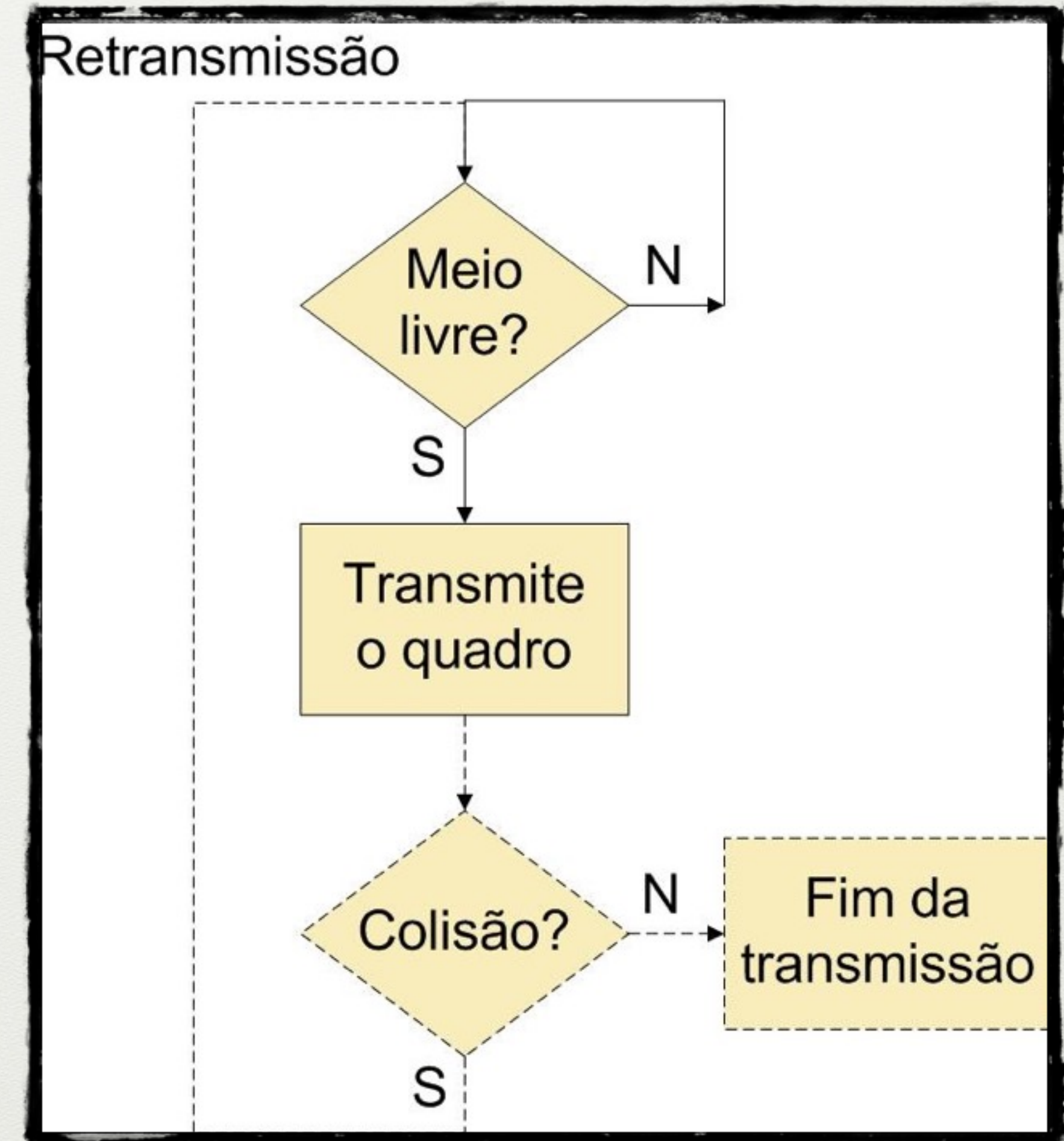
- Mesmo com a escuta da portadora, ainda podem ocorrer colisões
- Quanto maior o tamanho da rede
 - Maior o atraso de propagação de uma extremidade à outra
 - Maior a probabilidade de ocorrerem colisões
- Quanto menor o tamanho da rede
 - Mais efetiva é a escuta de portadora
- Explica o sucesso do CSMA para redes locais

Versões do CSMA

- Colisão
 - Inferida através do não recebimento de um reconhecimento positivo em um tempo T
 - CSMA persistente
 - CSMA não-persistente
 - CSMA p-persistente
 - CSMA/CA (Collision Avoidance)
- Detectada
 - CSMA/CD (Collision Detection)

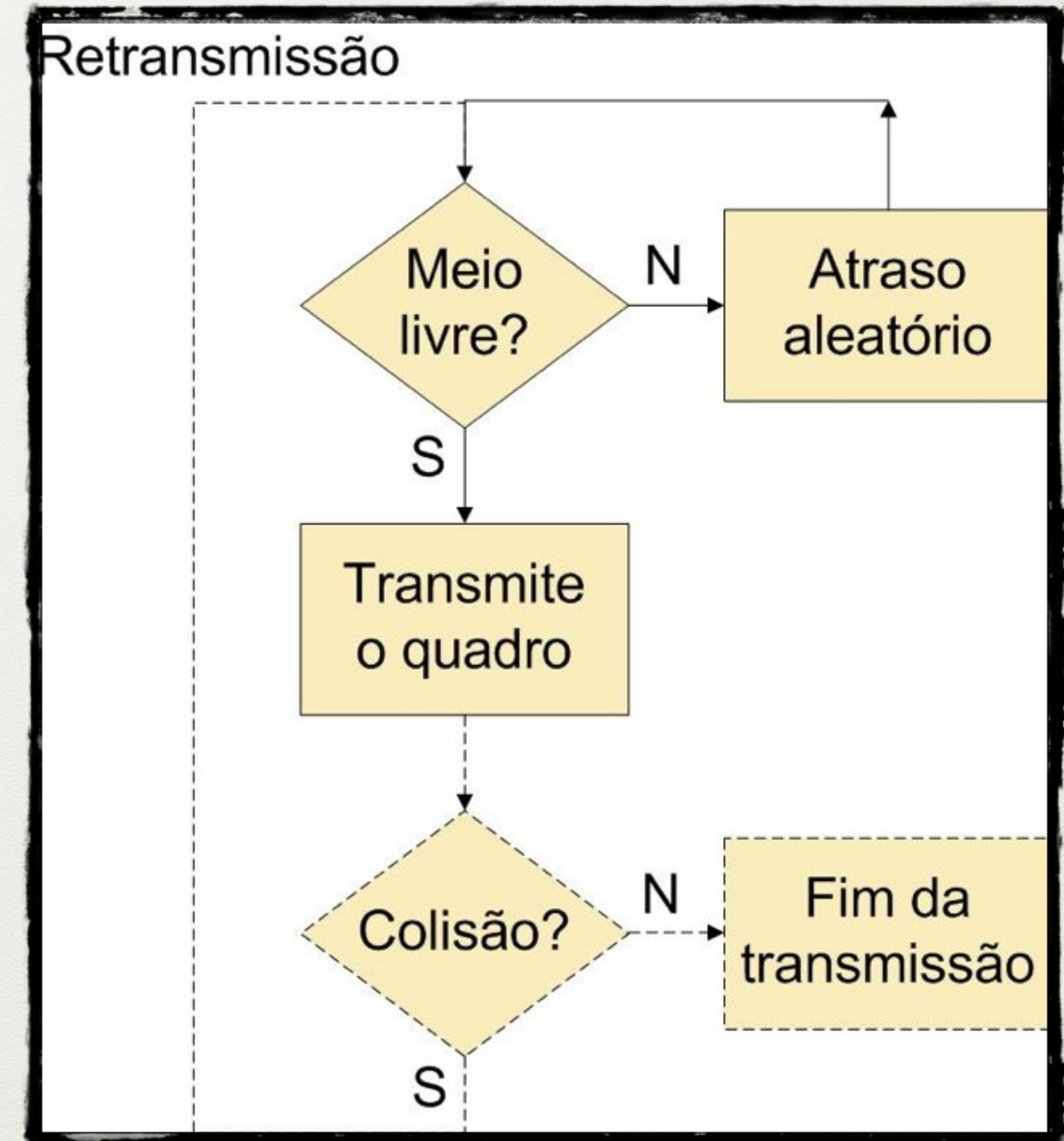
CSMA Persistente

- Pode ter colisão
 - após o meio ficar livre
- Sincronização das estações



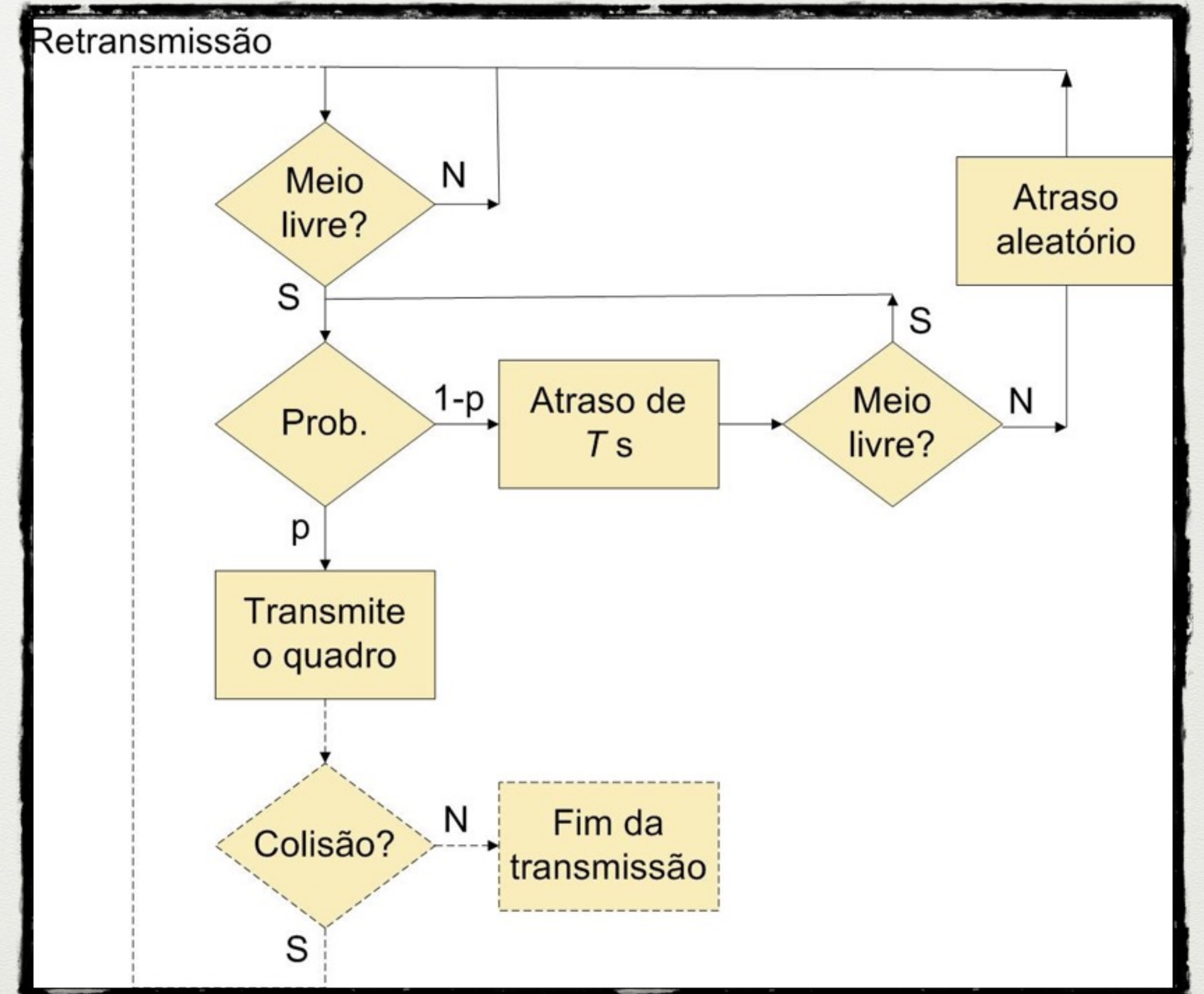
CSMA não-persistente

- Evita a sincronização das estações
- Acrescenta um atraso

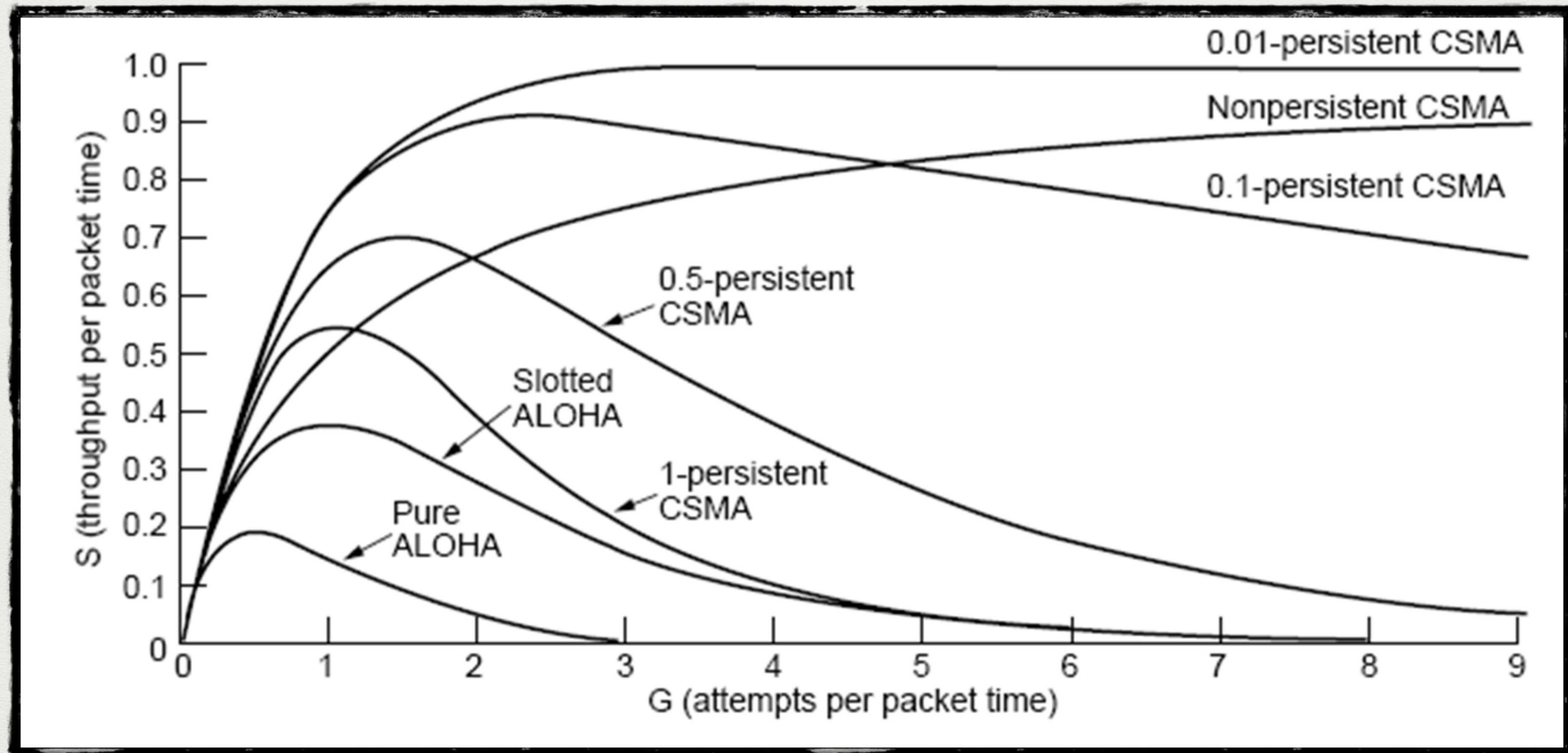


CSMA p-persistente

- Probabilidade p de transmitir um quadro
- No início de cada *slot*



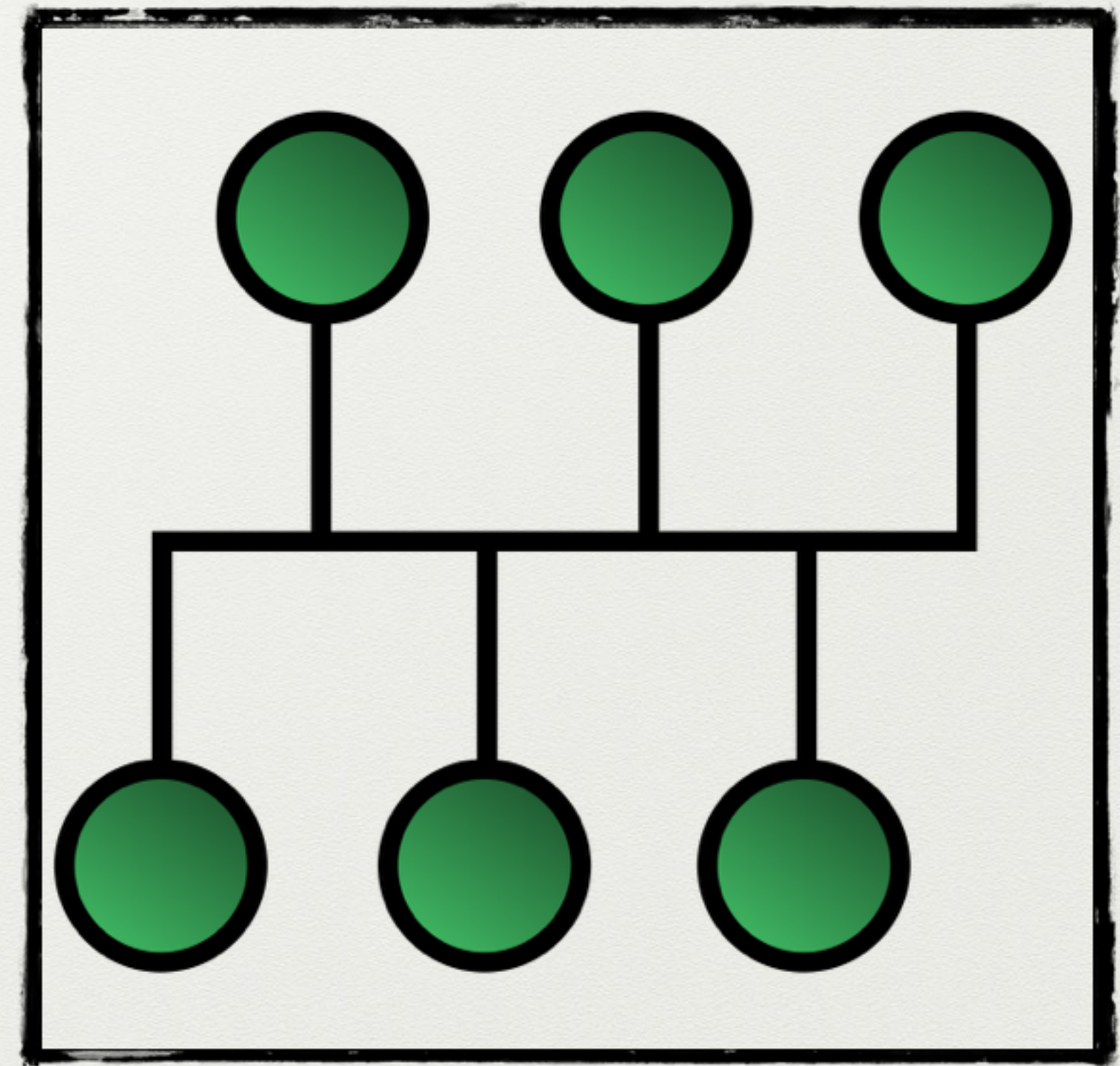
Comparação de eficiência



fonte: Tanenbaum

Ethernet

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



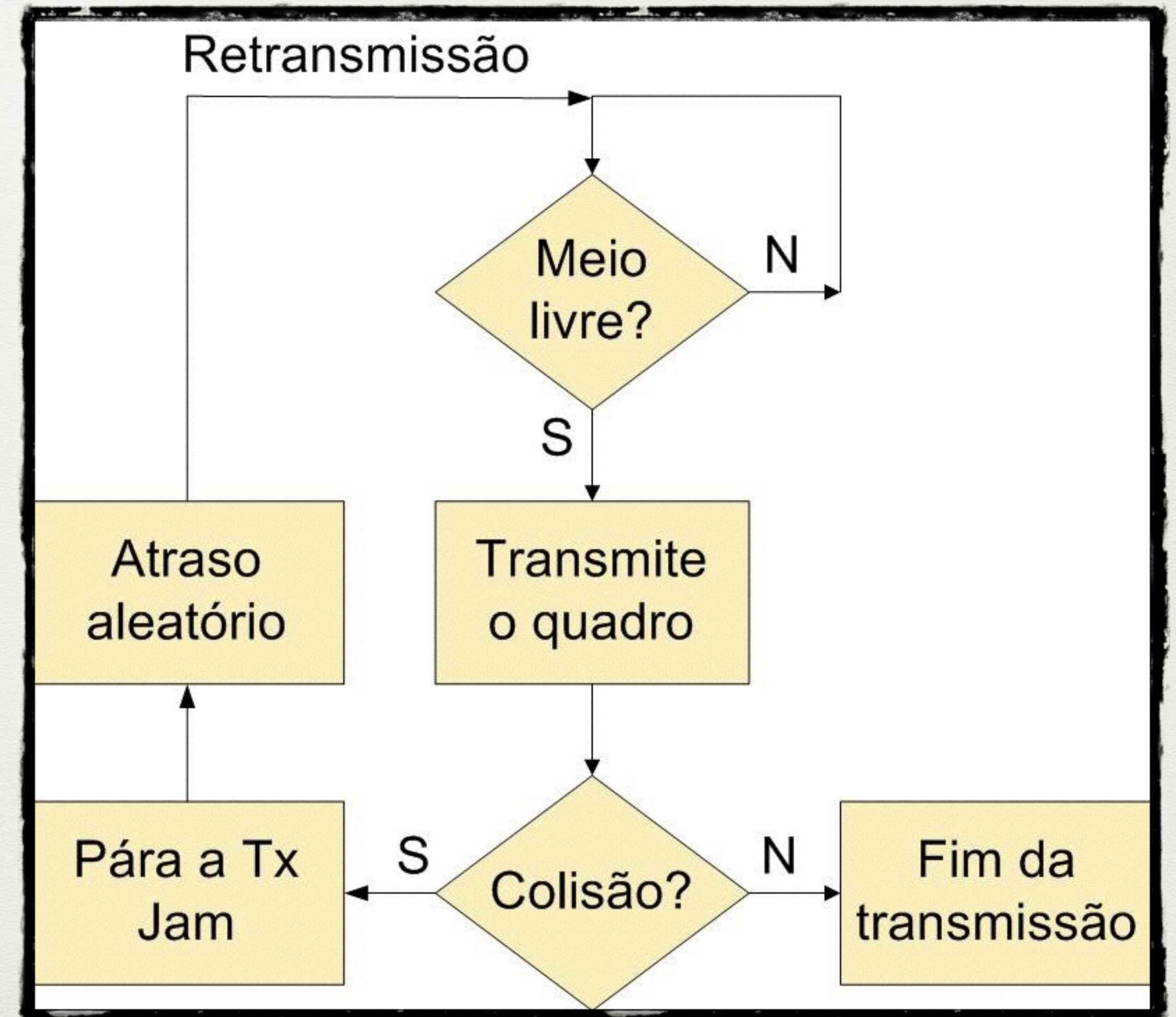
fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Bus_network

CSMA/CD

- Escuta de portadora
 - Como o CSMA persistente
- Detecção de colisão
 - Realizada pelo transmissor durante a transmissão do quadro
 - Transmissor escuta o meio enquanto transmite → sistema com um único canal e half-duplex
 - Estação cancela a transmissão assim que detecta a colisão
 - Reduz o desperdício
 - Informação da colisão enviada para todas as estações tomarem conhecimento
 - Reforço de colisão (jam)
 - Diminui-se a duração dos efeitos das colisões

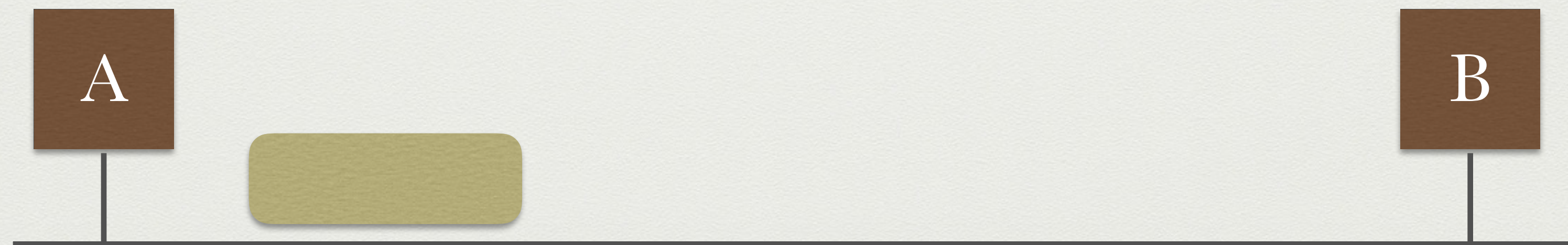
CSMA/CD

- Nova tentativa de transmissão após um tempo aleatório (como o CSMA p-persistente) caso houve colisão
- Analogia humana: bate papo educado!
- Detecção de colisões
 - Fácil em redes locais cabeadas
 - Mede a potência do sinal, compara o sinal recebido com o transmitido



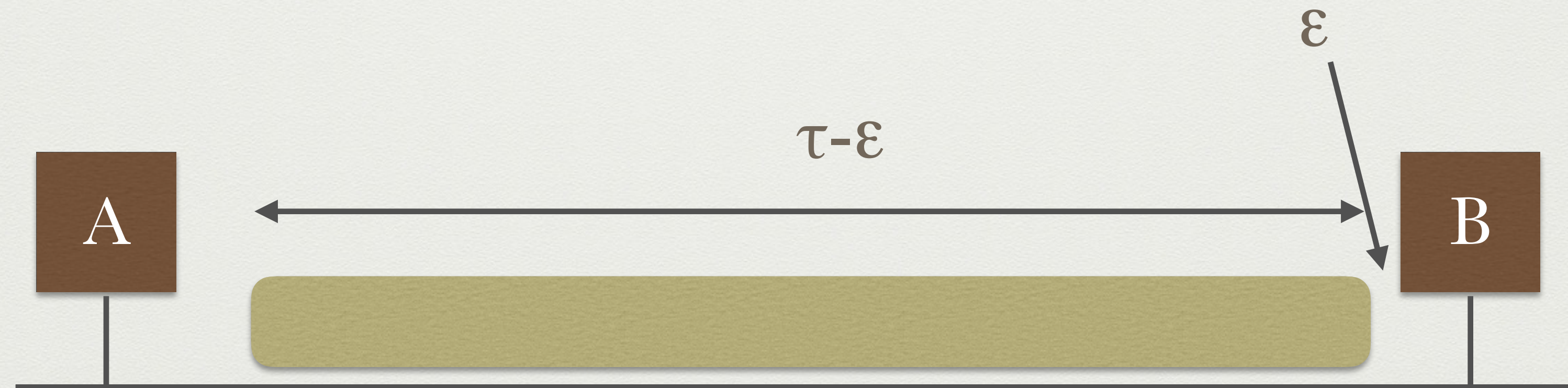
Detecção de colisão

- Como detectar colisão?



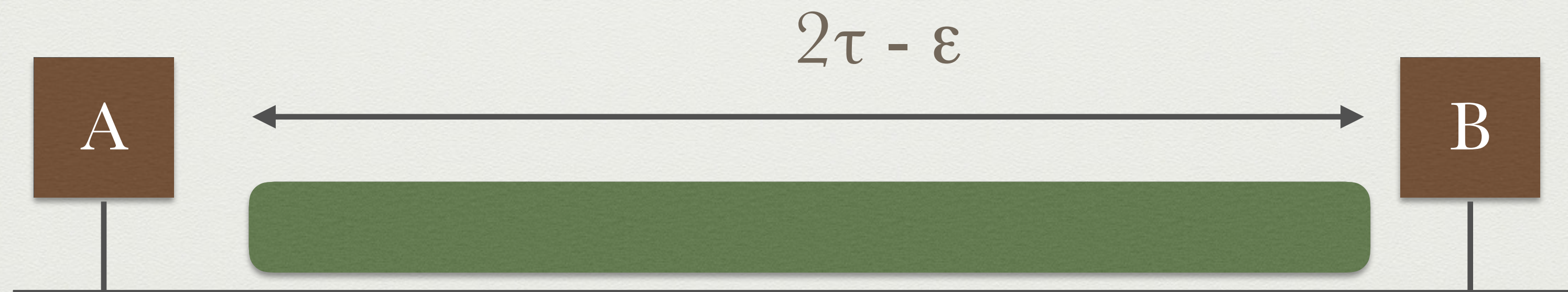
Detecção de colisão

- Como detectar colisão?



Detecção de colisão

- Solução
 - Meio ocupado durante o dobro (ida e volta) do atraso máximo de propagação no meio (τ)
 - Quadro possui um tamanho mínimo
 - Porque a colisão é detectada pelos transmissores durante o envio dos quadros



Divisão de canal vs Acesso aleatório

- Divisão de canal
 - Eficiente para carga alta
 - Compartilhamento justo do canal
 - Ineficiente para carga baixa
 - Atraso no canal de acesso
 - Alocação de $1/N$ da largura de banda mesmo com apenas 1 nó ativo
- Acesso aleatório
 - Ineficiente para carga alta
 - Sobrecarga causada por colisões
 - Eficiente para carga baixa
 - Um único nó pode utilizar completamente o canal

Protocolo de revezamento

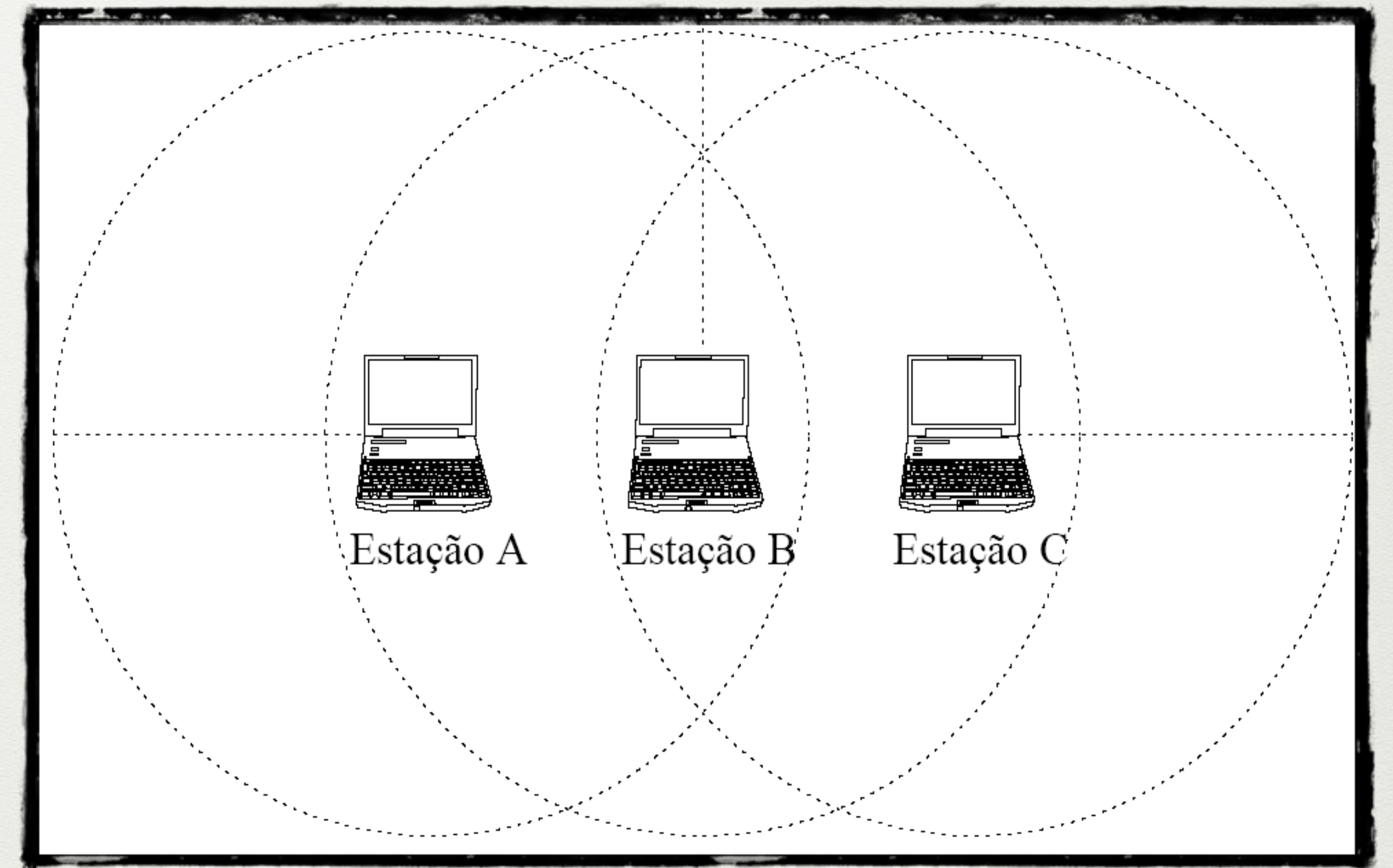
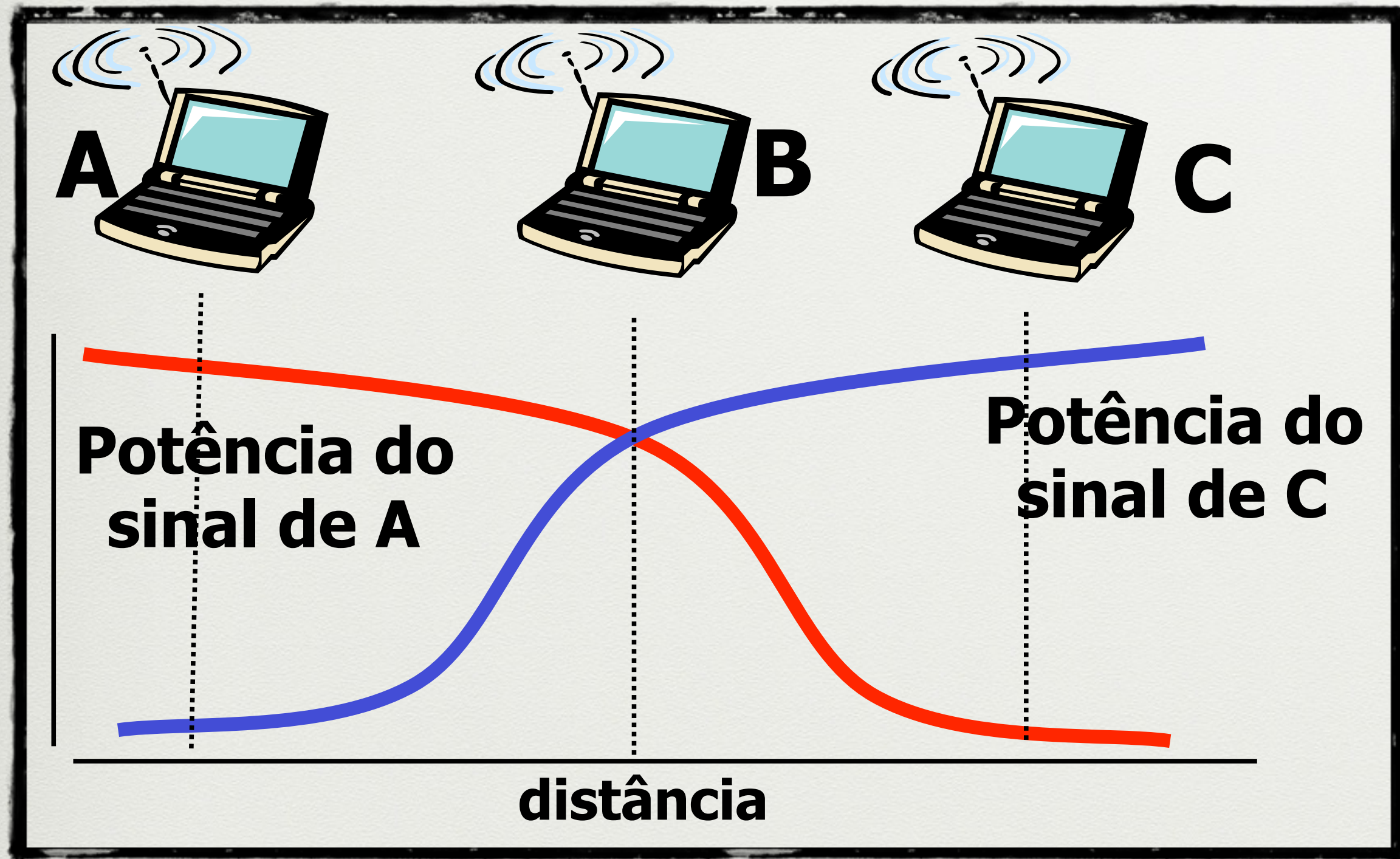
- Geralmente o acesso ao meio é realizado em função de uma estação centralizadora
- Determina quando uma determinada estação pode transmitir
- Não podem ocorrer colisões
- Estação compartilha a taxa do canal com outras estações
- Tipos
 - Varredura (polling)
 - Reserva
 - Passagem de ficha de permissão (token)

IEEE 802.11

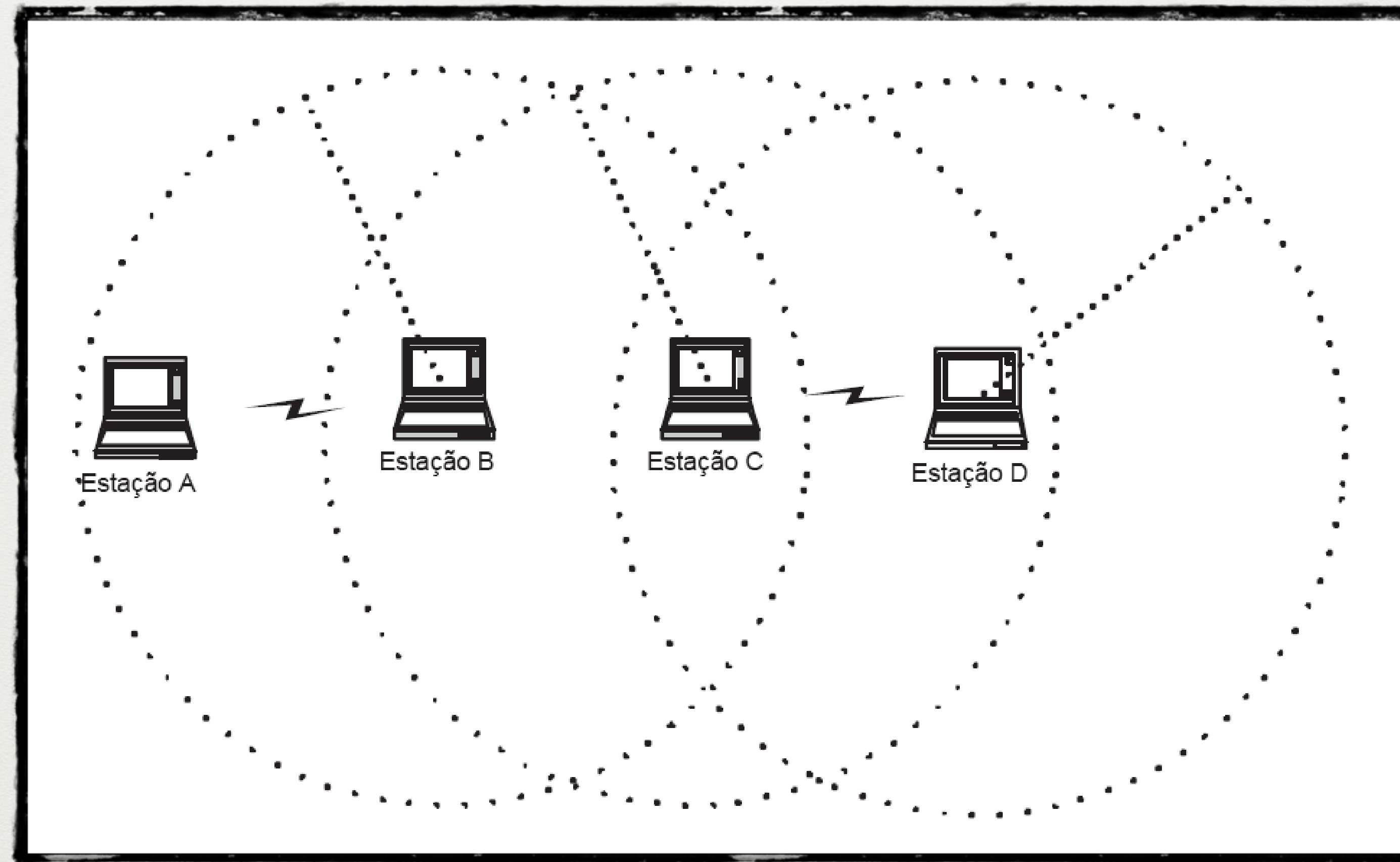
WiFi



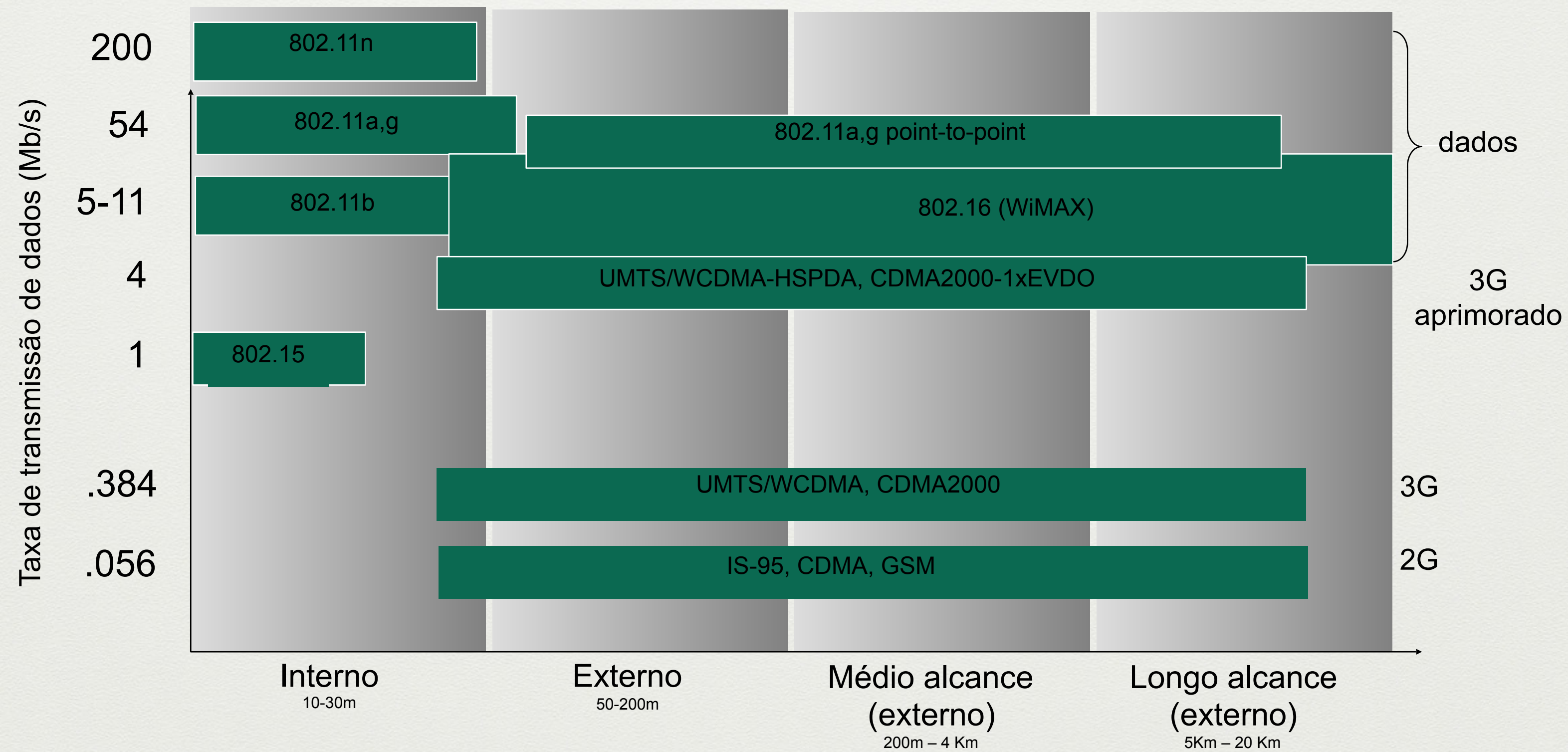
Terminal escondido



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>