

# Aula 11 – IEEE 802.11

Diego Passos

Universidade Federal Fluminense

Redes de Computadores II

# Na Última Aula (I)...

- Enlaces sem fio: **mais propensos a erros**.
  - Sinais recebidos com **baixa potência**.
  - Altos níveis de **ruído, interferência**.
  - **Múltiplos percursos** de propagação.
  - Tudo isso colabora para queda no **SNR**.
    - Resulta em queda da **BER**.
    - Solução: adaptação automática entre **múltiplas taxas**.
  - Outros problemas: **terminais escondidos**.
- CDMA: outra técnica comum para **acesso múltiplo**.
  - Usuários **podem** transmitir ao mesmo tempo, na mesma frequência.
  - **Códigos ortogonais** garantem que não haverá colisão.

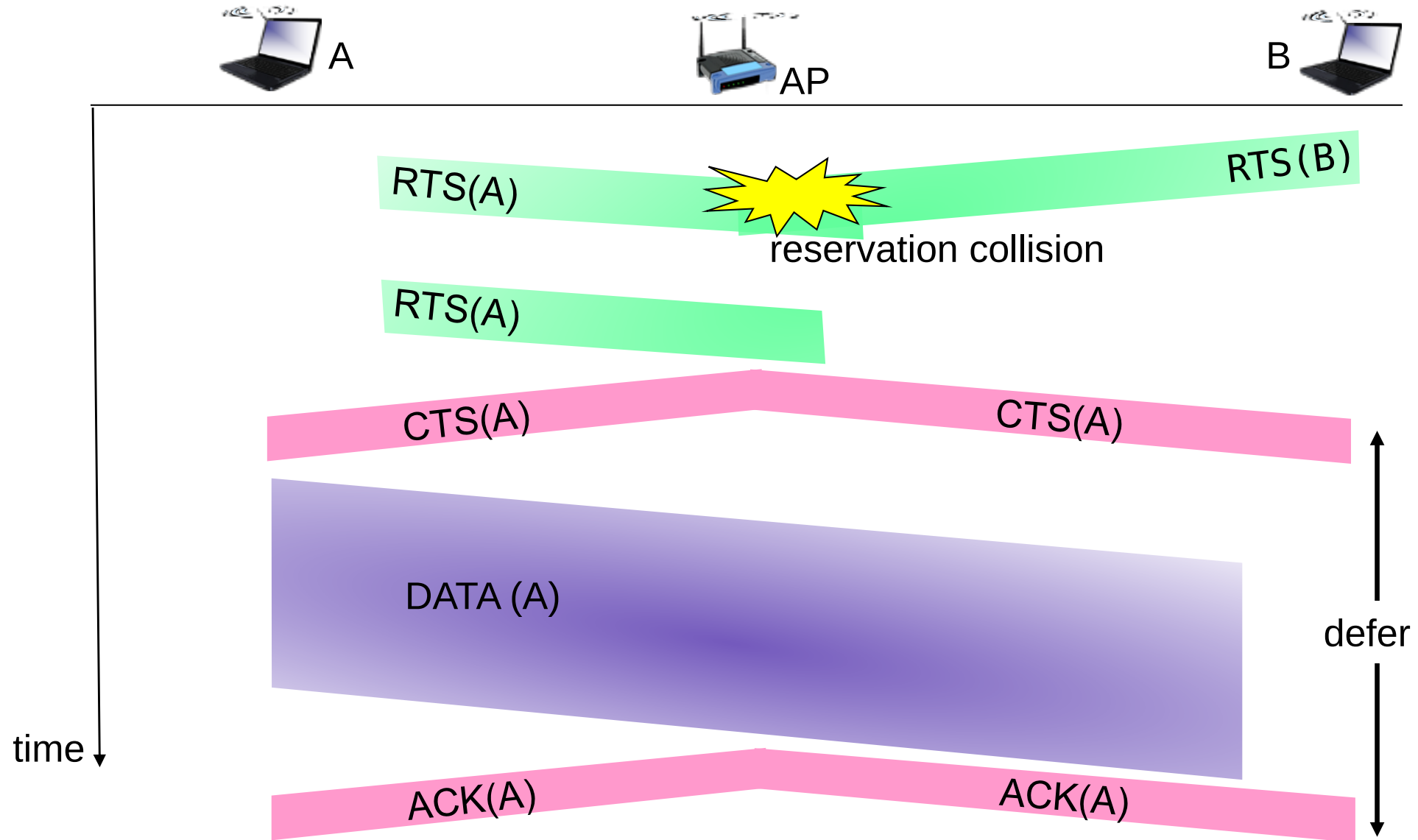
# Na Última Aula (II)...

- IEEE 802.11: padrão para **redes locais sem fio** (WLANs).
  - Evolução através de **emendas**, taxas de transmissão mais altas.
  - **CSMA/CA** para acesso múltiplo.
    - Detecção de colisões é impossível.
    - Solução: **tentar ao máximo** evitá-las.
    - Utilizar *acks* para verificar se transmissão foi bem sucedida.
  - **Modos** infraestruturado e *ad hoc*.
  - Componentes da arquitetura:
    - **AP** = estação base.
    - **BSS** = área de cobertura do AP, célula.
  - Nem todos os canais são **ortogonais**.
  - **Associação**: entrada do host na rede.

# Evitando Colisões (Mais): RTS/CTS

- Ideia: permitir que transmissor “reserve” o canal para transmitir **dados**.
  - Ao invés de acessar aleatoriamente.
  - Evita colisões de **quadros longos**.
- Transmissor começa enviando um quadro **pequeno** de *request-to-send* (RTS).
  - RTSs ainda podem colidir, mas são pequenos (“baratos” para retransmitir).
- AP envia (*broadcast*) um CTS como resposta.
  - *Clear-to-send*.
  - (Idealmente) ouvido por todos os nós.
    - Que passam a saber que o meio está reservado por determinado período.
    - Informado nos quadros RTS/CTS.
- Transmissor envia dados, enquanto outras estações aguardam.
- **Sempre funciona?**

# Evitando Colisões: Troca de RTS/CTS



# RTS/CTS: Falhas

- Várias possibilidades.
- Um exemplo:
  - **Terminal oculto não ouve/compreende CTS:**
    - Por exemplo, por interferência passageira.
  - Enquanto estação transmite quadro de dados, terminal oculto começa sua transmissão.
    - Dados, RTS, ...
  - **Colisão ocorre, mesmo com a “reserva” prévia do meio.**

# RTS/CTS: Overhead

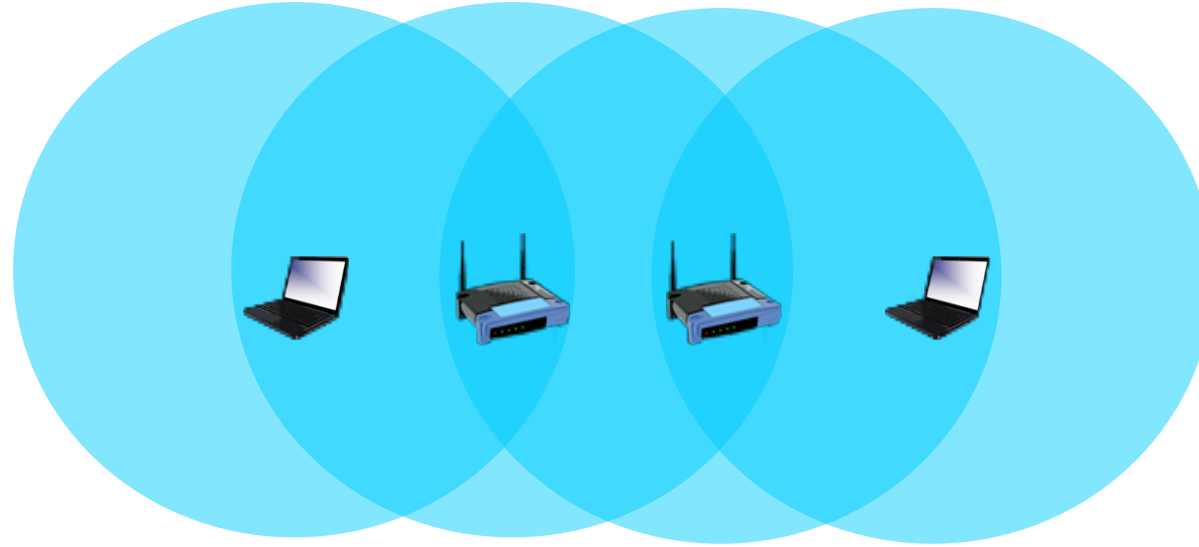
- RTS/CTS pode reduzir colisões e seus impactos.
  - Principalmente **em presença de terminais escondidos**.
- Mas há um custo:
  - Gasta-se tempo transmitindo quadros RTS/CTS.
  - Aumenta latência total para transmissão de um quadro.
  - **Reduz vazão** efetiva.
- Geralmente, RTS/CTS não vale a pena para quadros “pequenos”.
  - Mais barato transmiti-los e ver o que acontece.
  - Retransmitir, se necessário.
  - **Limiar de RTS/CTS**.

# RTS/CTS: Vale a Pena?

- Mecanismo nem sempre efetivo.
- Mesmo quando efetivo, adiciona *overhead*.
- Vale a pena?
  - Depende!
  - Pode valer se:
    - Se rede sofre muito por colisões.
    - Se pacotes que colidem são tipicamente “grandes”.
    - Se terminais ocultos são tipicamente causa das colisões.
  - No entanto:
    - Equipamentos geralmente vêm, por padrão, com RTS/CTS “desabilitado”.
    - i.e., limiar do RTS/CTS > MTU do IP.

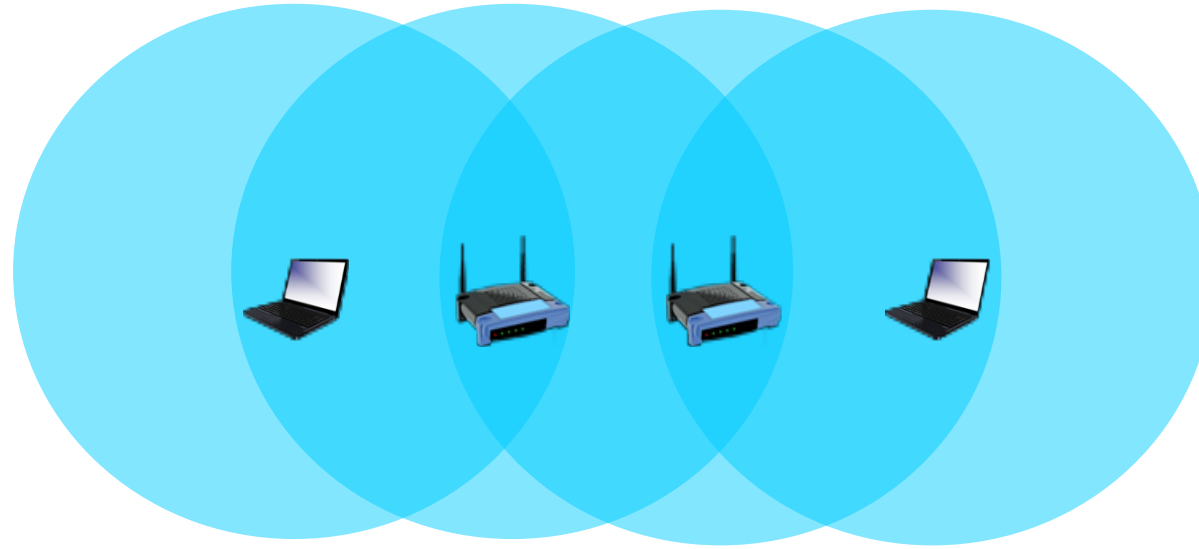


# O Problema do Terminal Exposto (I)



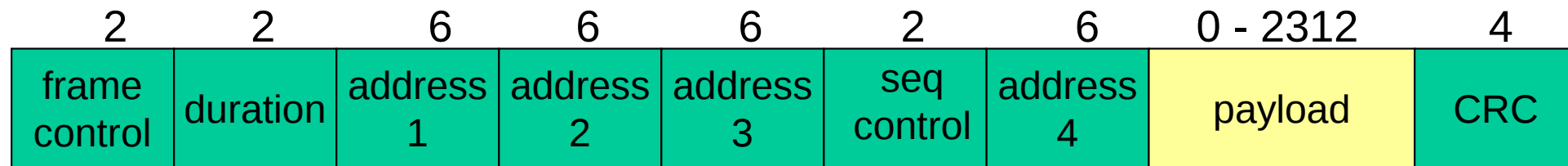
- Cenário:
  - Dois APs, no raio de alcance um do outro.
  - **Mas:** cada AP está fora do raio de alcance do cliente do outro BSS.
- Suponha que ambos os APs tenham quadros para transmitir a seus clientes.
- Transmissões podem ocorrer simultaneamente?

# O Problema do Terminal Exposto (II)



- **Não: CSMA/CA (geralmente) não permite.**
  - Suponha que o AP da esquerda comece sua transmissão primeiro.
  - Detecção de portadora fará AP da direita entrar em *backoff*.
- RTS/CTS também não resolve:
  - Ao receber o RTS do AP da esquerda, AP da direita também entra em *backoff*.

# Quadros do IEEE 802.11: Endereçamento (I)



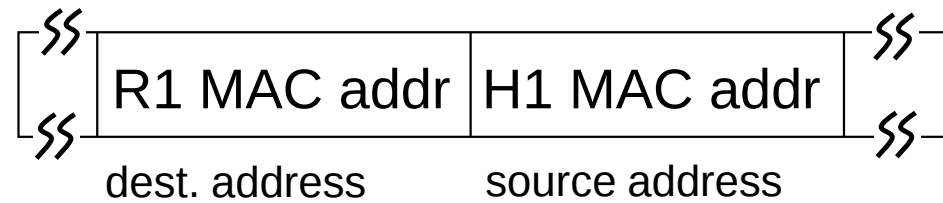
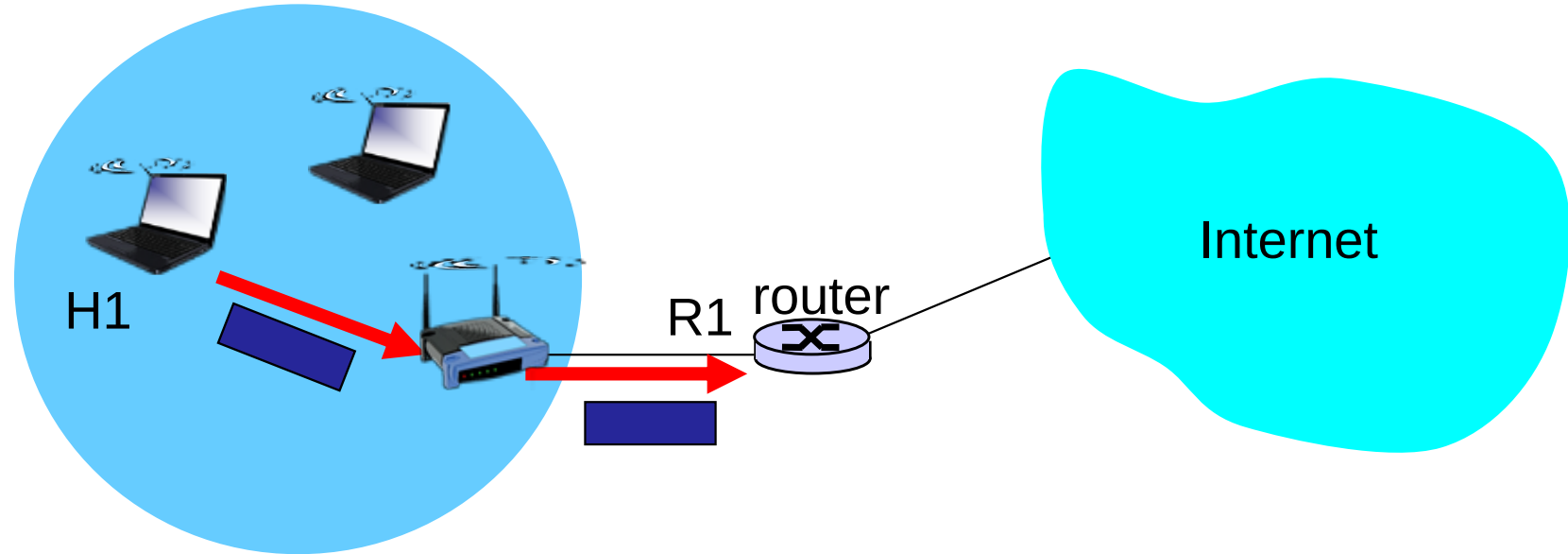
**Address 1:** endereço MAC do receptor do quadro

**Address 2:** endereço MAC do transmissor do quadro

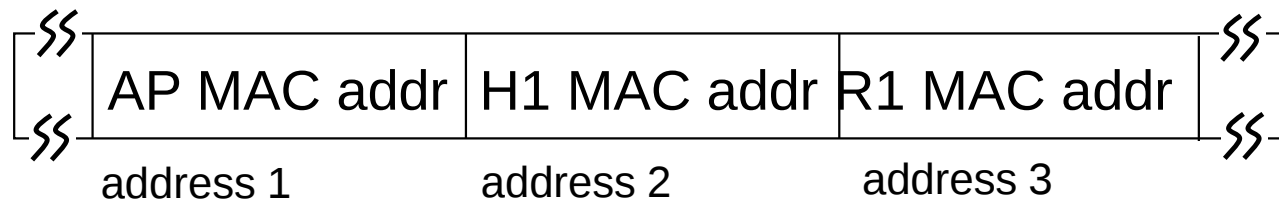
**Address 3:** BSSID (normalmente, endereço MAC do AP)

**Address 4:** usado apenas nos modos mesh e DS

# Quadros do IEEE 802.11: Endereçamento (II)

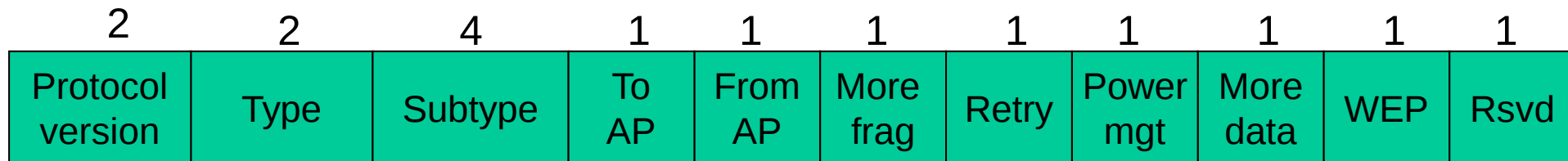
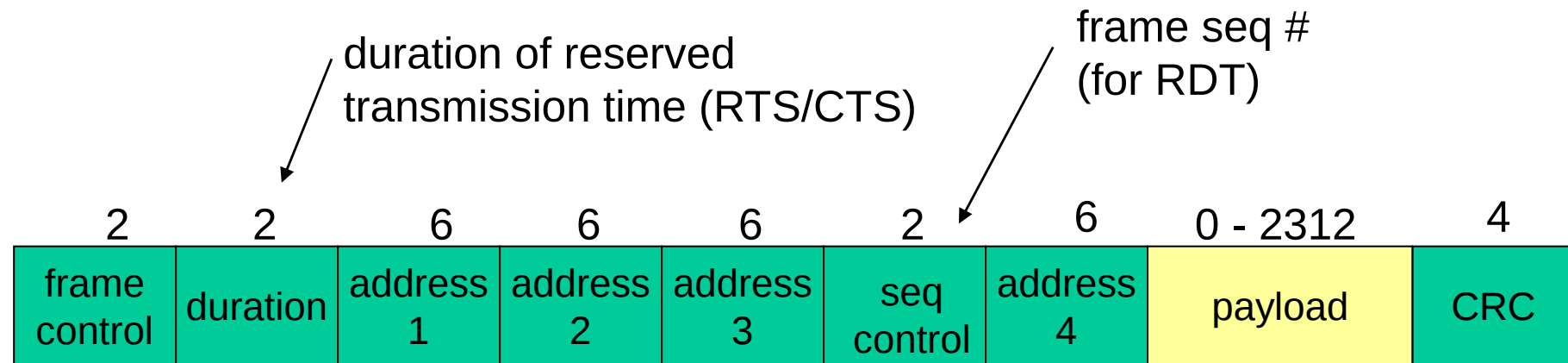


802.3 frame



802.11 frame

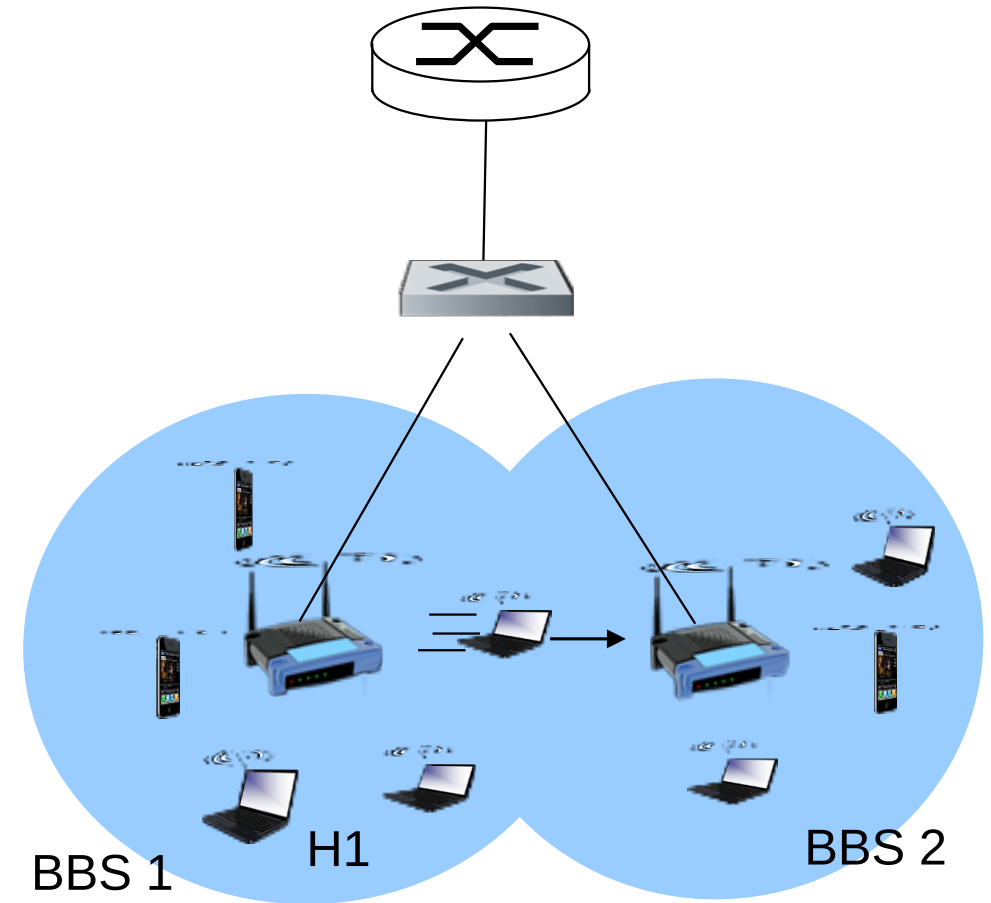
# Quadros do IEEE 802.11 (Mais)



frame type  
(RTS, CTS, ACK, data)

# IEEE 802.11: Mobilidade Dentro da Mesma Sub-rede

- Padrão prevê *handoff* do cliente entre APs de uma mesma rede.
  - Mesmo ESSID.
  - Através de um **quadro de reassociação**.
  - “Estado do cliente” é transferido entre APs.
- H1 permanece na mesma sub-rede.
  - Endereço IP pode continuar o mesmo.
- Ponto de vista do *switch*: a qual AP H1 está associado?
  - Auto-aprendizado (Capítulo 5).
  - *Switch* recebe quadro originado em H1.
  - Armazena a informação da porta.
- **Importante: decisão de mobilidade é do cliente!**

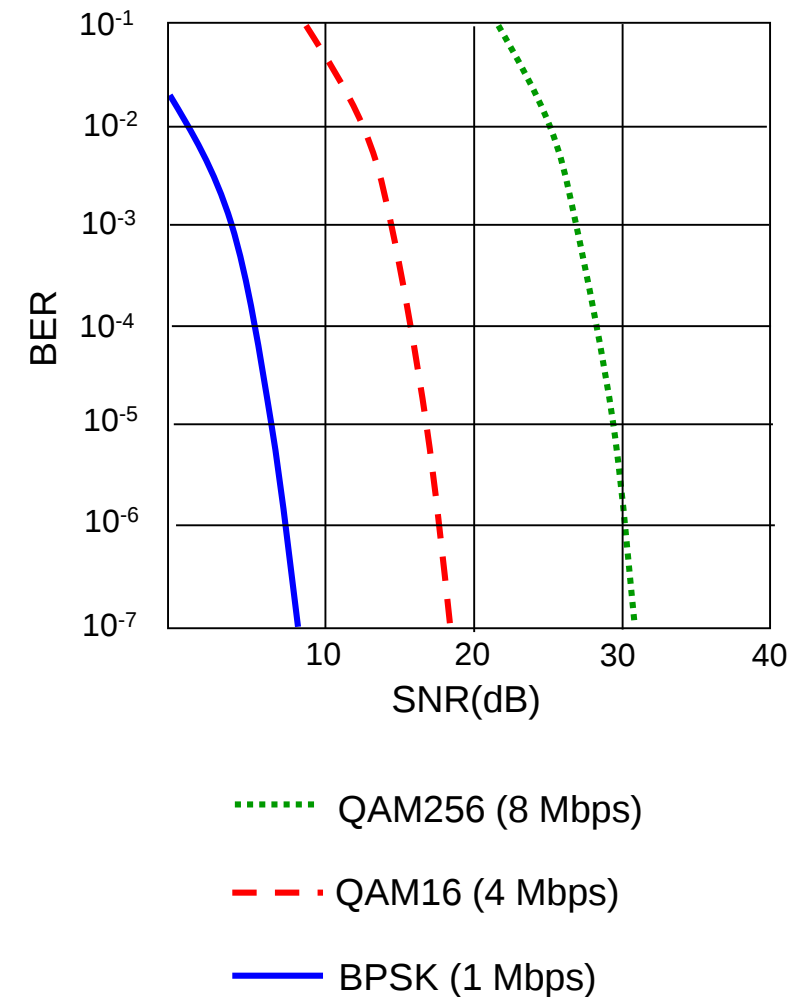


# Adaptação Automática de Taxa (I)

- **Adaptação automática de taxa:**

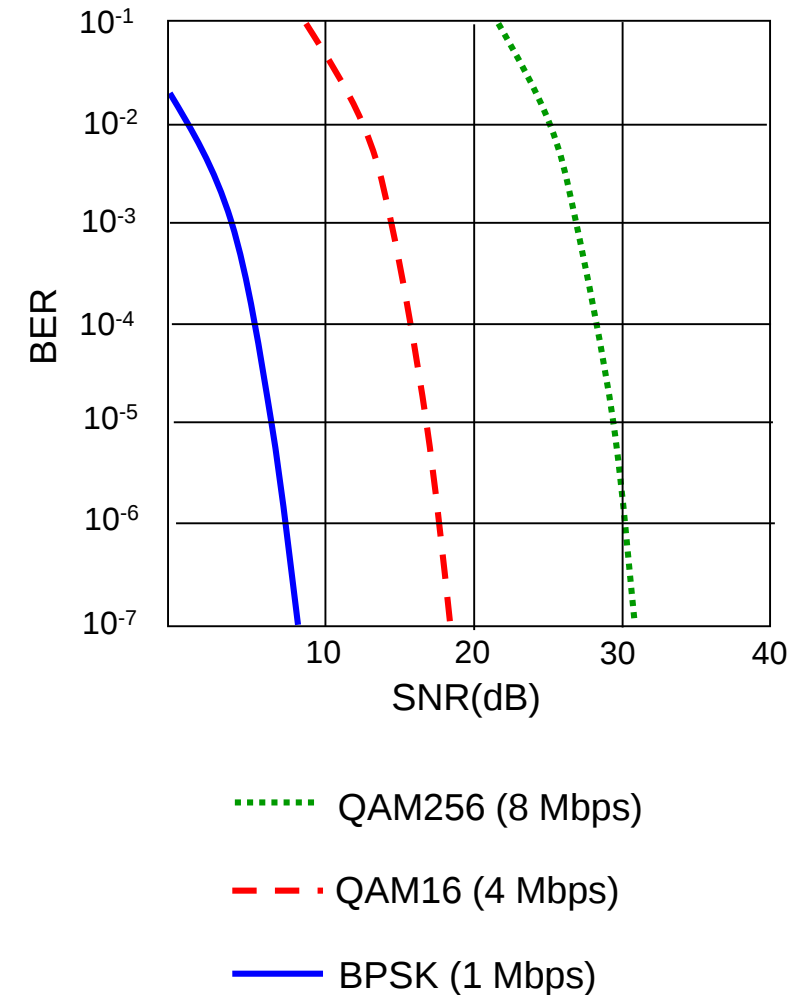
- Estação base e hosts dinamicamente alteram taxa de transmissão.
- Forma de compensar variações no SNR (e.g., devido a mobilidade).

1. SNR diminui e BER aumenta a medida que host se distancia do AP.
2. Quando o BER se torna muito alto, escolhe-se taxa mais baixa (mas com BER menor).



# Adaptação Automática de Taxa (II)

- Na prática, mecanismos de adaptação de taxa não medem diretamente SNR.
- SNR é inferido indiretamente através de parâmetros como a **perda de quadros**.
  - Aumento na perda pode indicar redução no SNR.
  - (Mas nem sempre!)
- Exemplo de mecanismo comum: ARF.
  - *Auto-Rate Fallback*.
  - Dez quadros transmitidos com sucesso em sequência: aumente a taxa.
  - Dois quadros perdidos consecutivamente: reduza a taxa.





# Economia de Energia no IEEE 802.11 (I)

- Por quê?
  - Dispositivos sem fio são (muitas vezes) alimentados por bateria.
    - Celulares, tables, laptops, ...
  - Baterias têm capacidade limitada.
  - Em certos dispositivos, interface sem fio é um dos componentes que mais consomem energia.
    - Mesmo quando apenas ouvindo o meio.
    - Logo, grande potencial de economia.
- IEEE 802.11 se preocupa com consumo energético em vários contextos.

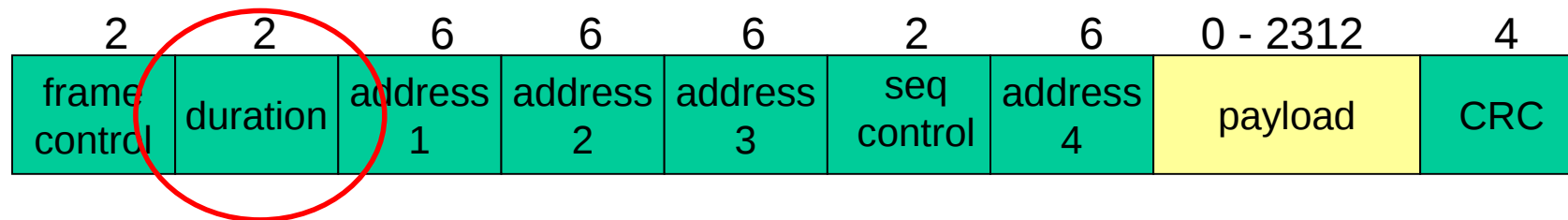
# Economia de Energia no IEEE 802.11 (II)

- **Gerenciamento de Energia:**

- Host informa ao AP: “vou dormir até o próximo *beacon*”.
  - AP sabe que não deve transmitir quadros para o host.
  - Host acorda antes do próximo *beacon*.
- Quadro de *beacon*:
  - Contém lista de hosts para os quais AP possui dados a transmitir.
  - Nó permanece acordado se está na lista.
  - Caso contrário, pode voltar a dormir até próximo *beacon*.

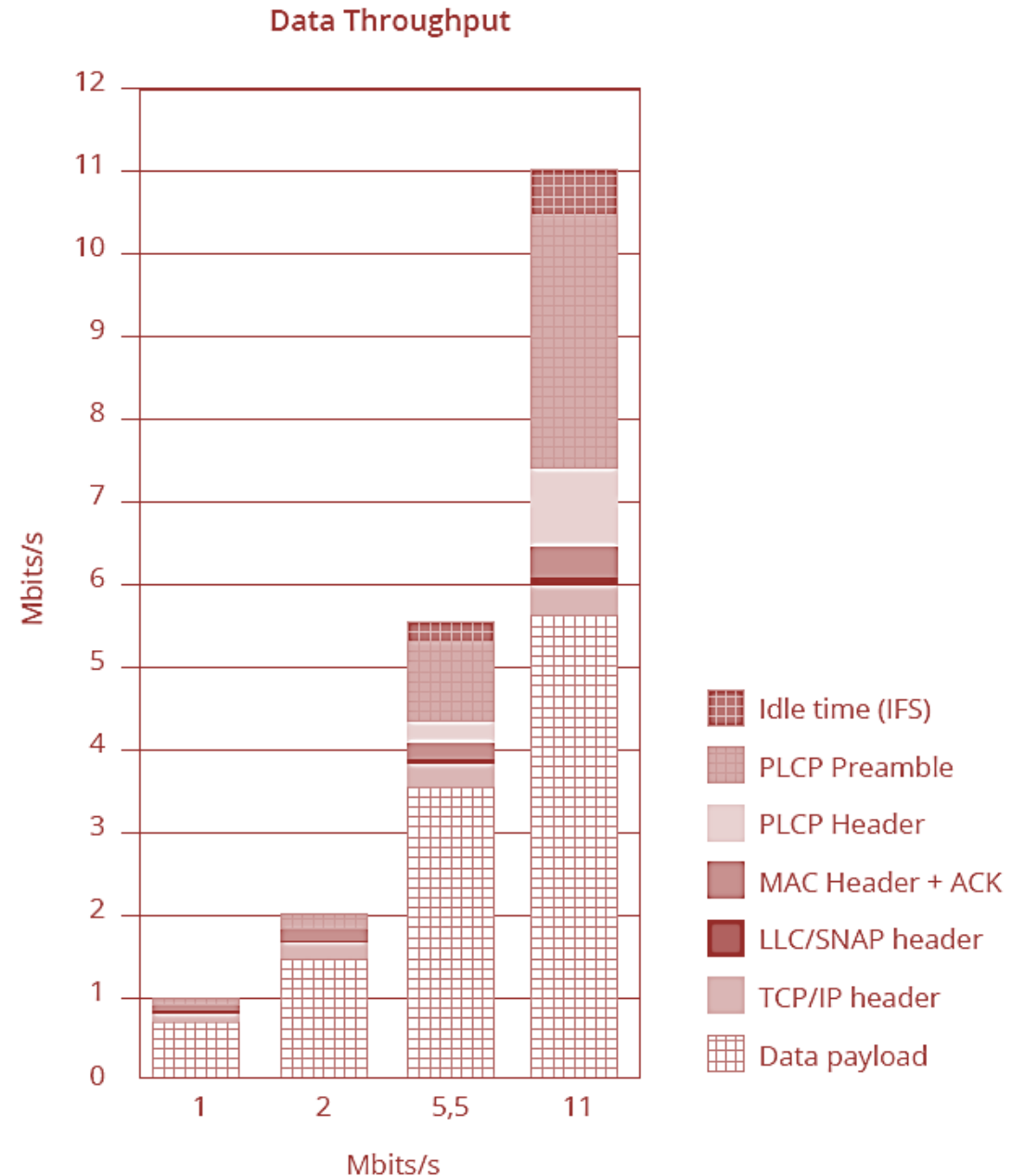
# Economia de Energia no IEEE 802.11 (III)

- Detecção Virtual de Portadora:
  - Objetivo: economizar energia durante a detecção de portadora.
  - NAV: *Network Allocation Vector*.
- Funcionamento:
  - Quadros contém campo de duração: tempo necessário para aquela transmissão (incluindo *ack*).
  - Sempre que estação recebe quadro, lê campo de duração.
  - Configura temporizador (NAV) para o valor adequado.
    - Durante aquele período, não há necessidade de realizar a **detecção física da portadora**.
- Também utilizado com RTS/CTS.



# IEEE 802.11: Eficiência (I)

- O IEEE 802.11 prevê várias taxas.
  - Possivelmente, escolha de um algoritmo de adaptação de taxa.
- Suponha que uma taxa **nominal** de 11 Mb/s tenha sido escolhida.
  - Qual é a **vazão efetiva** do enlace?
- Protocolo adiciona uma série de *overheads*:
  - Cabeçalhos, preâmbulos.
  - IFS, Acks, RTS/CTS.
- Taxa de transmissão líquida pode ser bem mais baixa.

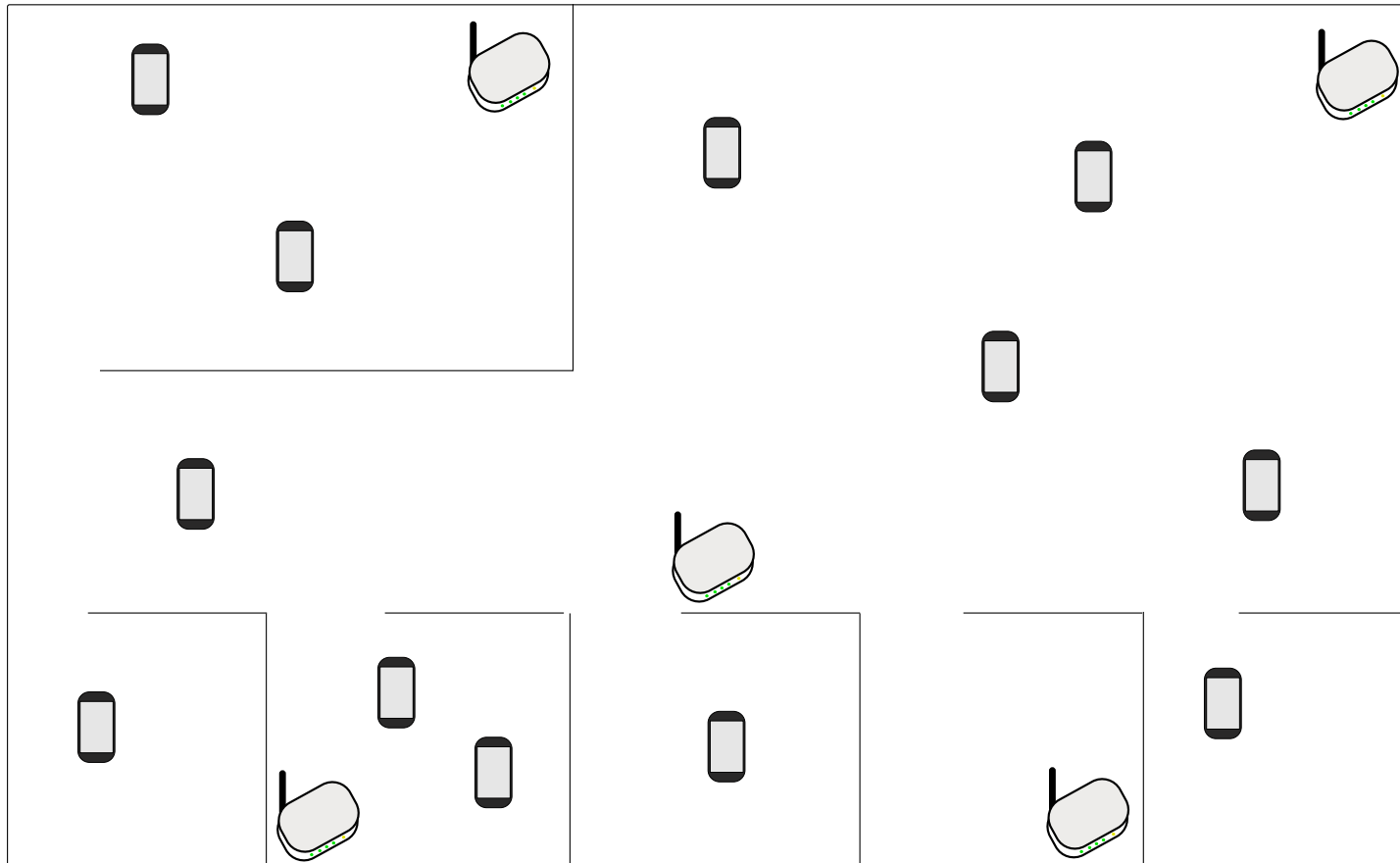


# IEEE 802.11: Eficiência (II)

- Outros fatores:
  - Perdas de quadros:
    - Uma parcela **representativa** das transmissões pode falhar.
    - Tempo de transmissão desperdiçado.
      - E completamente, já que não há detecção simultânea de colisões, por exemplo.
    - Pior: quanto maior o número de retransmissões de um quadro, **maiores** os tempos esperados de *backoff*.
      - Exponencialmente!
  - **Taxas de transmissão básicas:**
    - Geralmente baixas.
    - Usadas para transmissão de quadros de controle, gerência.
      - Associação, *beacons*, *probes*, ..., RTS, CTS, muitas vezes Acks.
    - Estes quadros são pequenos, **mas transmitidos a taxas baixas**.
      - Ou seja, consomem muito tempo!
    - Corolário: **quanto mais alta a taxa de transmissão selecionada, menos eficiente é o padrão!**

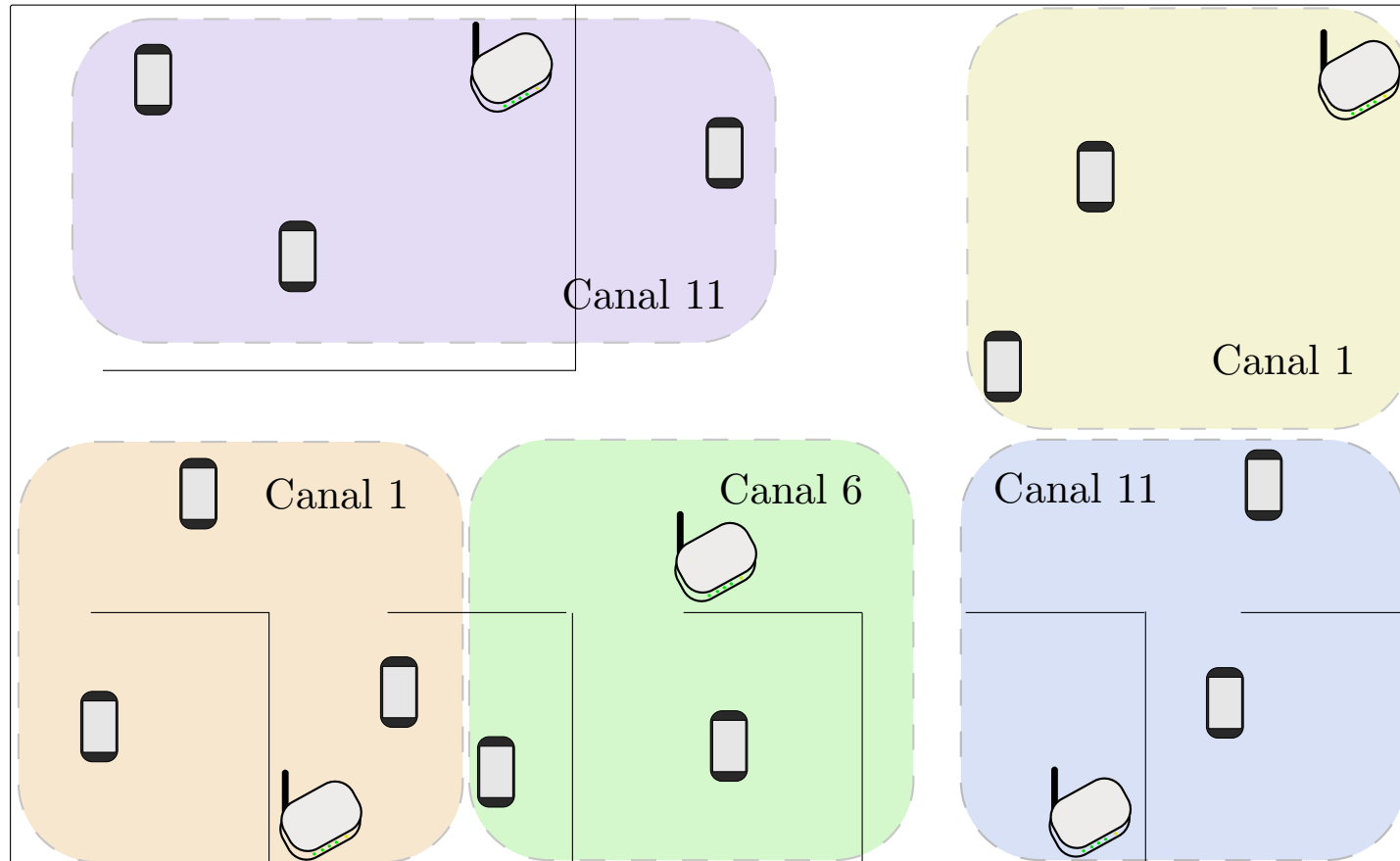
# Redes Wi-Fi Densas (I)

- Múltiplos APs espalhados por um ambiente.
  - Conectados por um **sistema de distribuição**.
  - Aumentam **capacidade** da rede.
  - Planejamento com **canais ortogonais**.



# Redes Wi-Fi Densas (II)

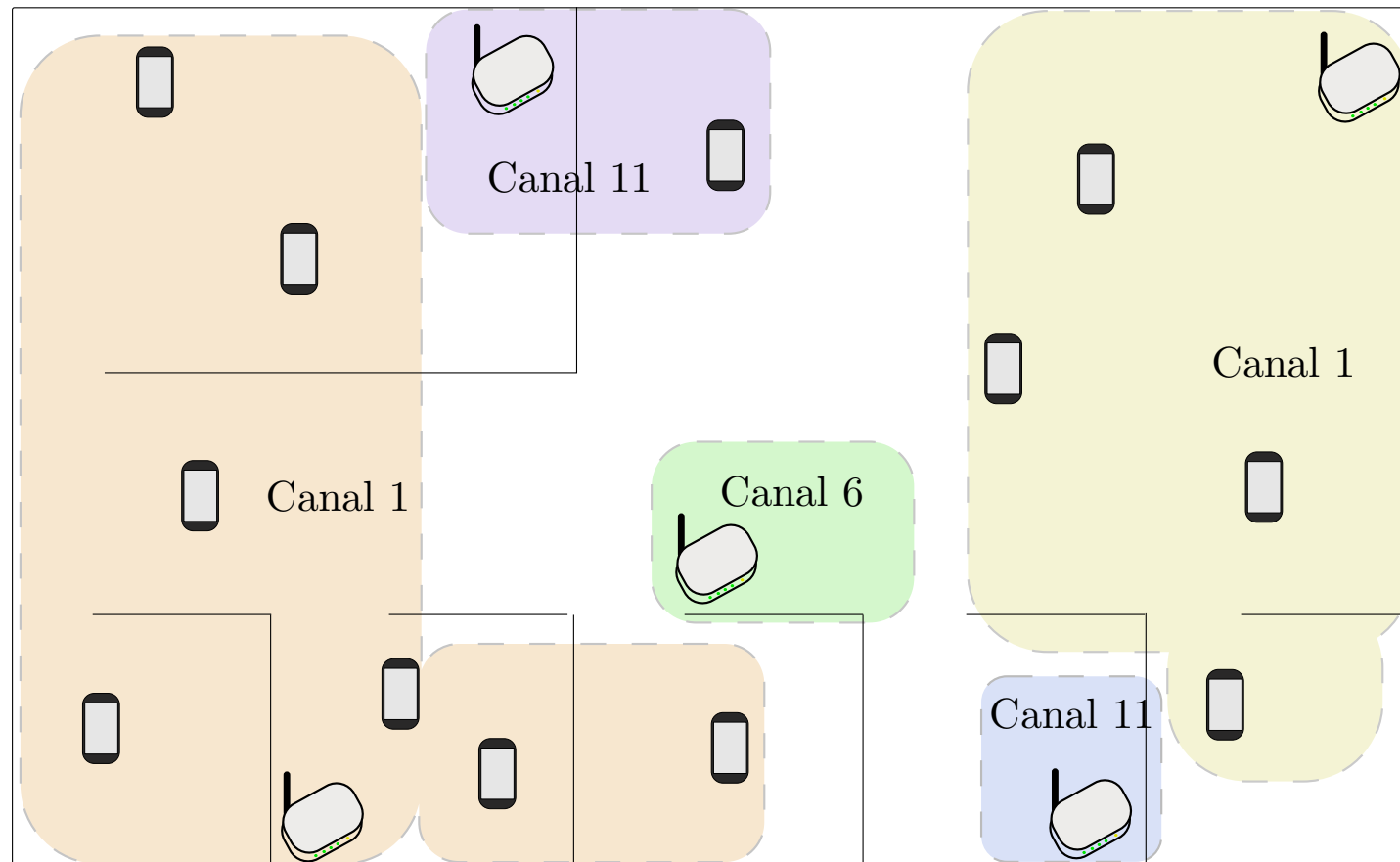
- **Idealmente**, clientes se espalhariam de maneira **uniforme**.
  - Número de clientes **associados** a cada AP seria relativamente equilibrado.
  - **Balanceamento de carga**.



# Redes Wi-Fi Densas (III)

- **Mas na prática...**

- Decisão de associação é **prerrogativa do cliente**.
- Associações ocorrem de forma **descoordenada**, desbalanceada.
- Alguns APs quase sem carga, outros **sobrecarregados**.



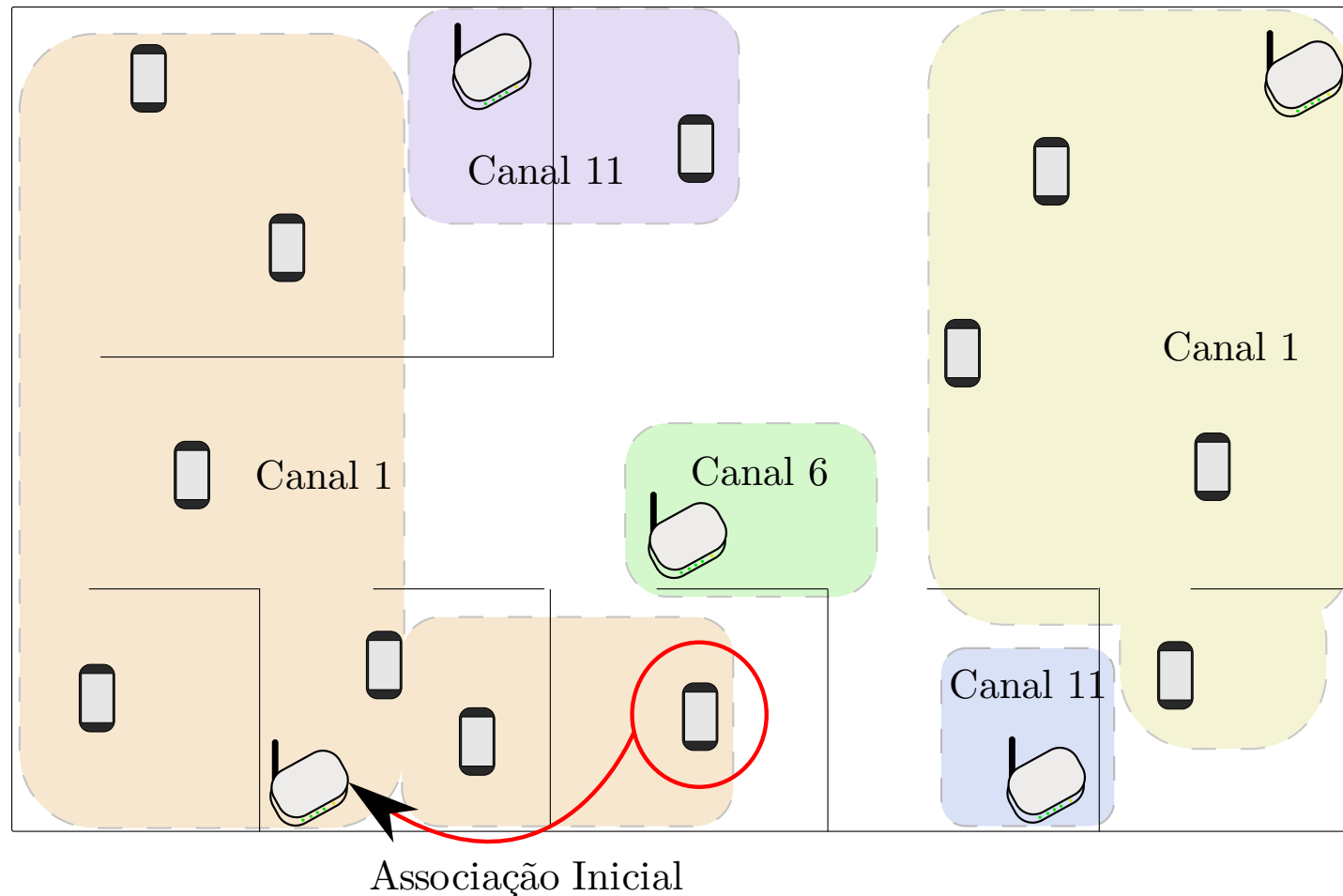


# Redes Wi-Fi Densas: Outras Questões

- Além do balanceamento de carga:
  - Seleção (possivelmente dinâmica) de canais.
    - Como atribuir canais ortogonais aos APs vizinhos?
    - Considerando ainda que:
      - Há geralmente outras redes próximas não controladas.
      - Redes diferentes ocupam canais de formas diferentes.
      - Possível uso de um **controlador**.
  - Uso de **micro-células**.
    - Propositamente **reduzir alcance** do AP.
      - Diminuindo potência de transmissão.
    - Aumenta o **reuso espacial**.
      - Mais APs **não interferentes** em uma mesma região.
      - Maior capacidade.
  - Instabilidade na associação dos clientes.
    - Problema do “ping-pong” [Balbi *et al.* 2016].

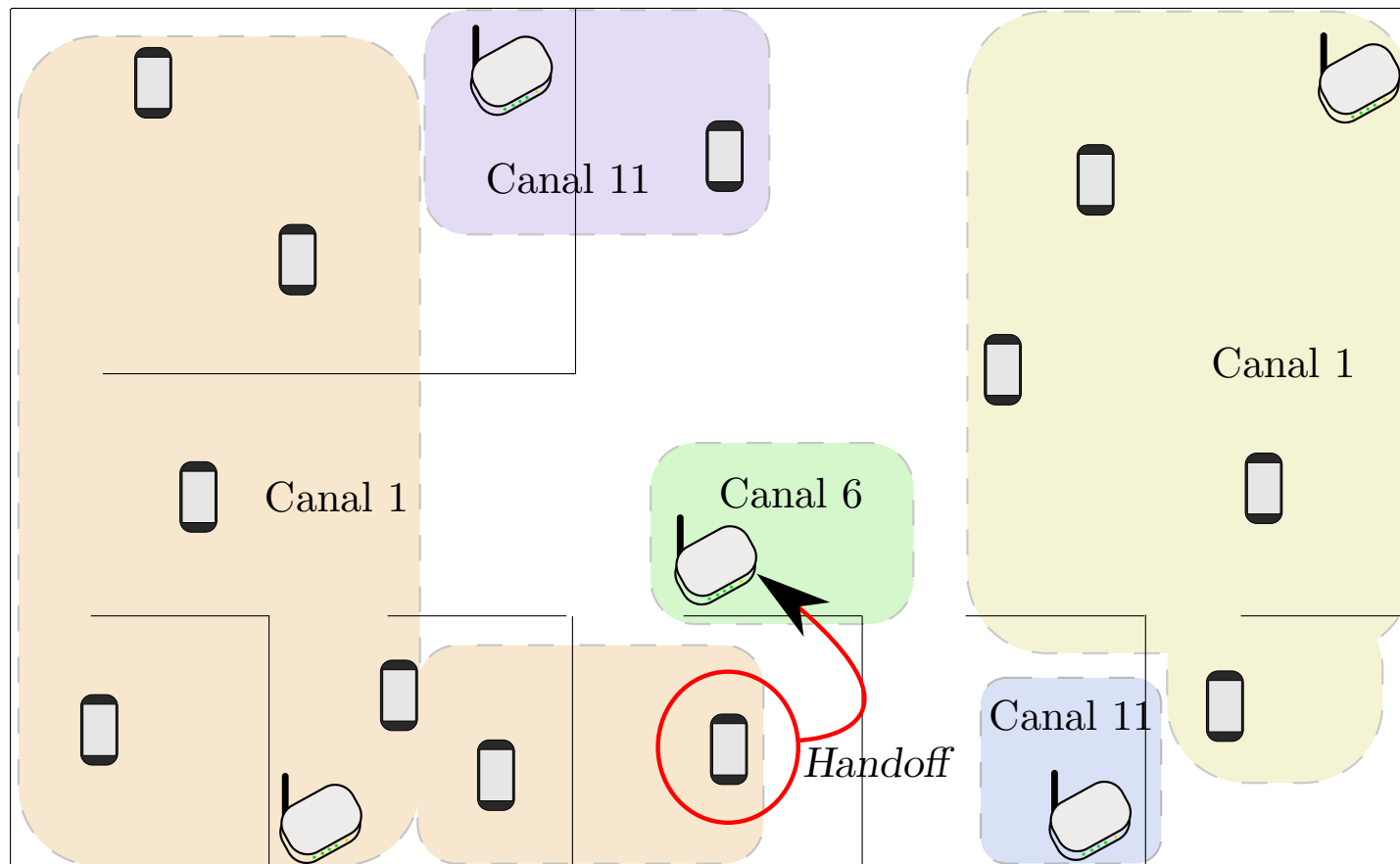
# Redes Wi-Fi Densas: Ping-Pong (I)

- Cliente pode estar na região de alcance de **múltiplos** APs.
- Critério de seleção do “melhor” AP **não é padronizado**.
  - Deixado a cargo da implementação.



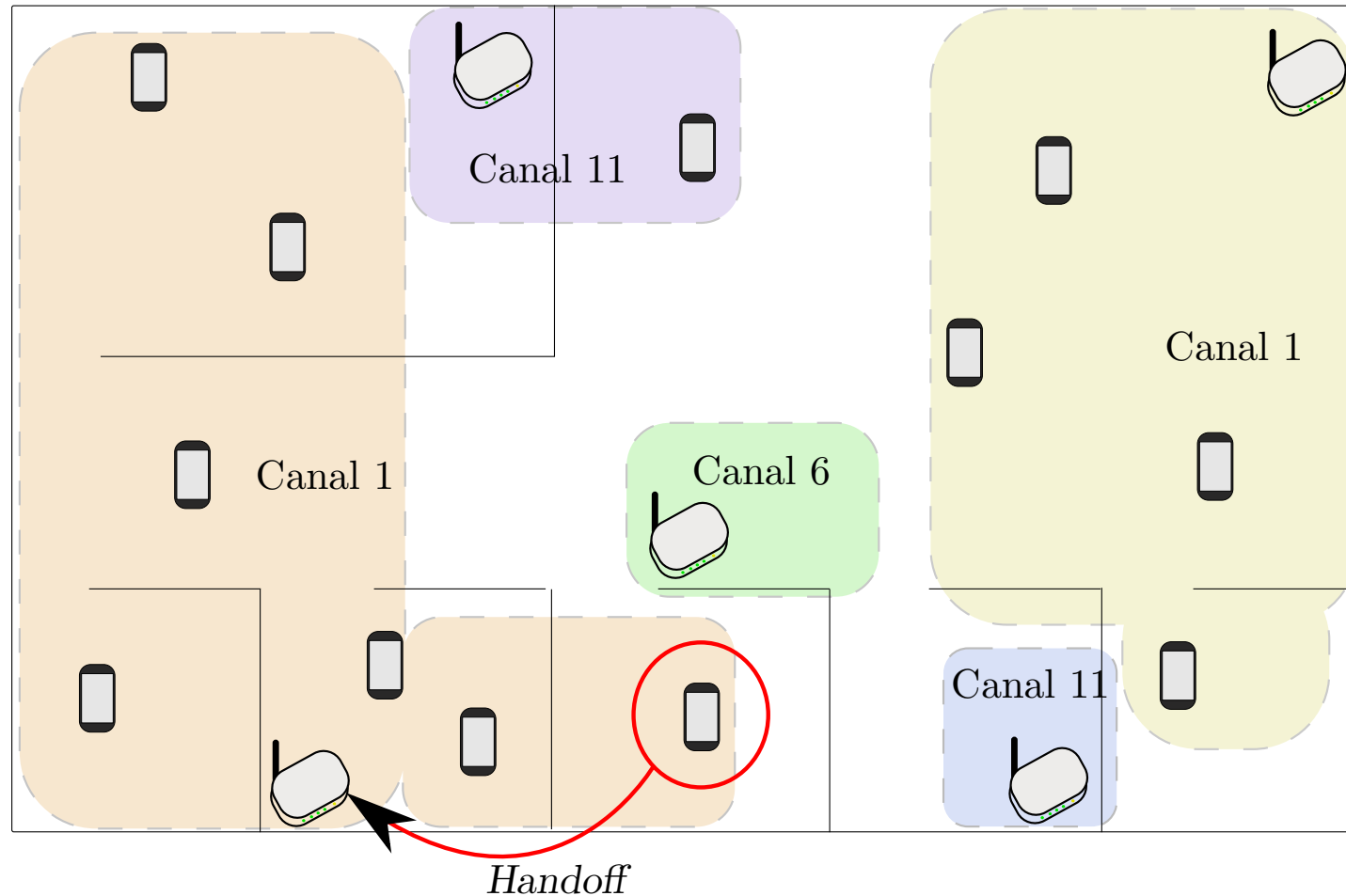
# Redes Wi-Fi Densas: Ping-Pong (II)

- Mesmo associado, cliente continua avaliando alternativas.
  - Através de *beacons*, anúncios dos APs.
- Meio sem fio sofre de **alta variabilidade**.
  - “Melhor AP” pode variar com o tempo  $\Rightarrow$  *handoff*.



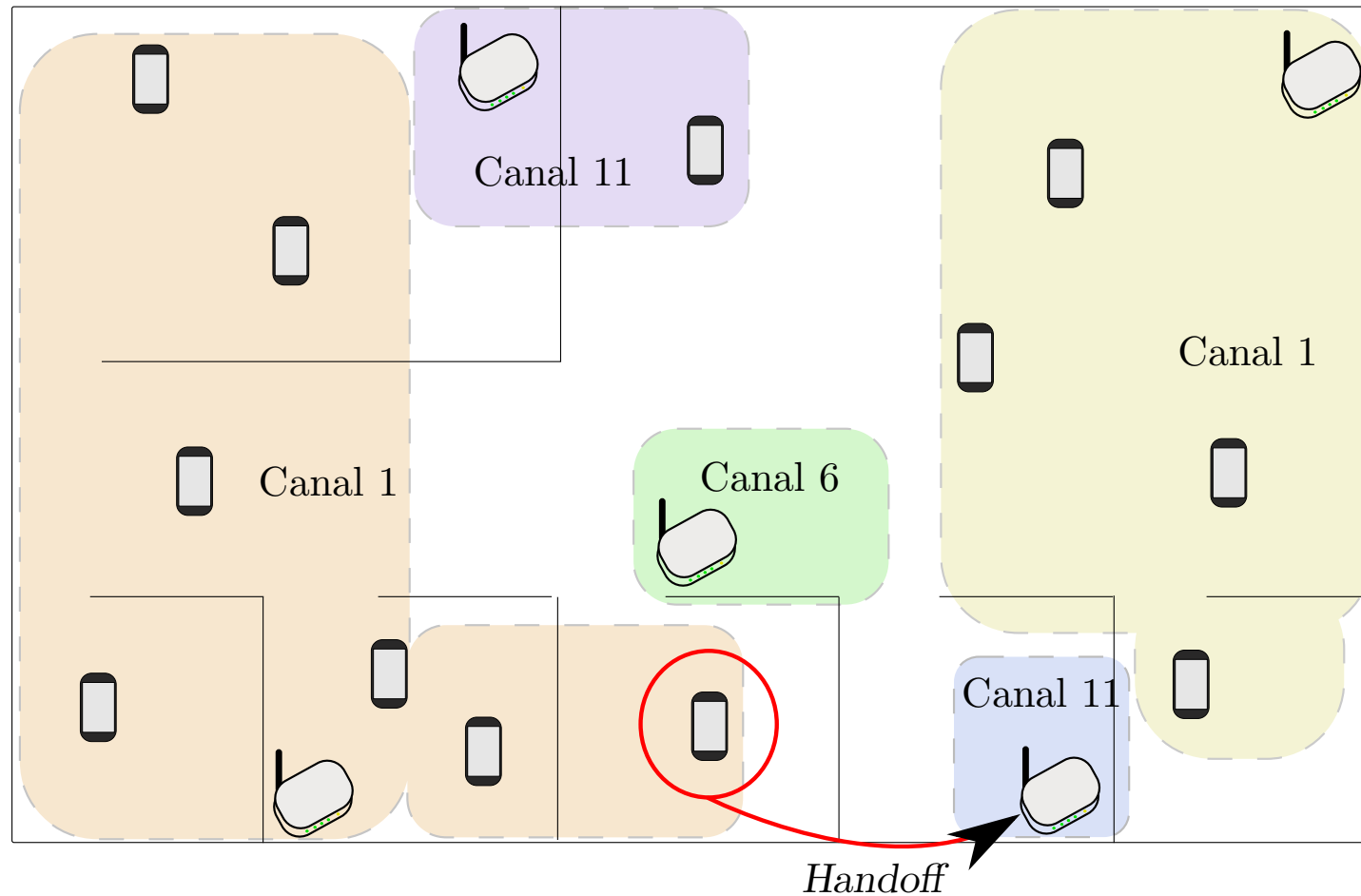
# Redes Wi-Fi Densas: Ping-Pong (III)

- Processo continua, novas trocas podem ocorrer.
- Devido à variabilidade, pode haver **alternância frequente** de associações.
  - e.g., *handoffs* a cada 30 segundos.



# Redes Wi-Fi Densas: Ping-Pong (IV)

- Dependendo do cenário, pode envolver mais que dois APs.



# Resumo da Aula (I)...

## Resumo da Aula (II)...

- Nem sempre efetivo.
- Introduz *overheads*.
- **Limiar de RTS/CTS.**
- **Problema do terminal exposto:**
- IEEE 802.11 não resolve associações simultâneas que não causariam colisão são suprimidas  
● Várias fontes de *overhead*.  
● **Eficiência mais baixa para taxas mais altas.**  
● Não resolvido pelo RTS/CTS.  
● Perdas de quadros também contribuem.
- Redes densas:
  - Muitos clientes, muitos APs.
  - Balanceamento de carga.
  - Escolha dinâmica de canais.
  - Planejamento.
  - Micro-células.
  - Instabilidade de associação.

um mesmo ESSID.

- **Decisão do cliente.**
- Adaptação automática de taxa.
  - Geralmente baseada em quadros perdidos.
  - Reduz taxas para enlaces “piores”.
- IEEE 802.11: economia de energia.
  - Detecção virtual de portadora.
  - *Duty cycle* entre *beacons*.

# Leitura e Exercícios Sugeridos

- IEEE 802.11:
  - Páginas 385 a 399 do Kurose (Seção 6.3).
  - Exercícios de fixação 5 a 10 do capítulo 6 do Kurose.
  - Problemas 6 e 7 do Kurose.



# Próxima Aula...

- Mudaremos o foco da nossa discussão para as redes sem fio de múltiplos saltos.
- Veremos alguns tipos e aplicações destas redes:
  - Redes *ad hoc* móveis
  - Redes em malha sem fio.
  - Redes de sensores.
  - Redes Veiculares.
- Também falaremos brevemente sobre alguns desafios nestas redes:
  - Roteamento.
  - Economia de energia.