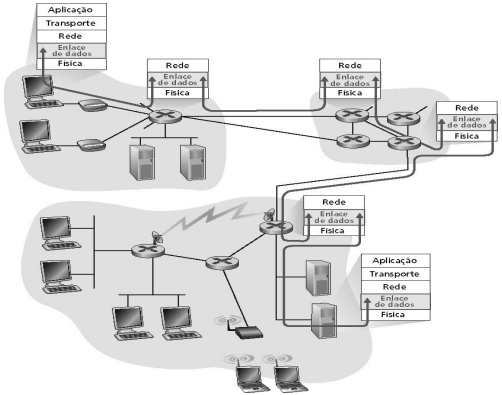
# Redes de Computadores

Luis Augusto Dias Knob
luis.knob@sertao.ifrs.edu.br

# Camada de Enlace

## Algumas terminologias:

- Hospedeiros e roteadores são **nós**
- Canais de comunicação que conectam nós adjacentes ao longo do caminho de comunicação são **enlaces**
  - Enlaces com fio
  - Enlaces sem fio
  - LANs
- Pacote de camada-2 é um quadro, encapsula o datagrama




**Camada de enlace de dados** tem a responsabilidade de transferir um datagrama de um nó ao nó adjacente por um enlace.

# Camada de Enlace

- Datagrama transferido por protocolos de enlace diferentes sobre enlaces diferentes:
  - ex.: Ethernet no primeiro enlace, quadro relay nos enlaces intermediários, 802.11 no último enlace.

- Cada protocolo de enlace provê serviços diferentes
  - ex.: pode ou não prover transferência confiável sobre o enlace

## Analogia do transporte

- Viagem de Princeton até Lausanne
  - Carro: Princeton até JFK
  - Avião: JFK até Geneva
  - Trem: Geneva até Lausanne

- Turista = datagrama
- Segmento de transporte = enlace de comunicação
- Modo de transporte = protocolo da camada de enlace
- Agente de viagem = algoritmo de roteamento

# Camada de Enlace

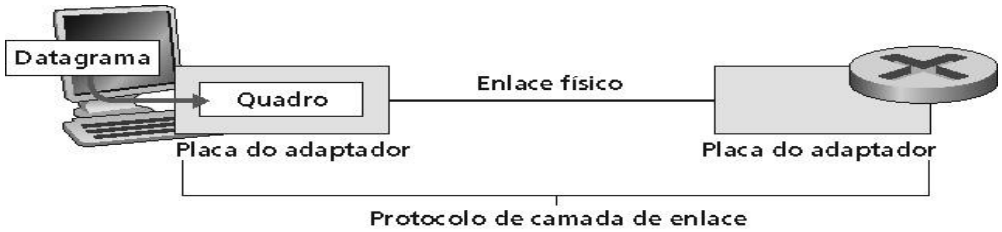
- **Enquadramento, acesso ao enlace:**
  - Encapsula datagramas em quadros acrescentando cabeçalhos e trailer
  - Implementa acesso ao canal se o meio é compartilhado
  - ‘endereços físicos’ usados nos cabeçalhos dos quadros para Identificar a fonte e o destino dos quadros
  - Diferente do endereço IP !
- **Entrega confiável entre dois equipamentos fisicamente conectados:**
  - Raramente usado em enlaces com baixa taxa de erro (fibra, alguns tipos de par de fios trançados de cobre)
  - Enlaces sem fio (wireless): altas taxas de erro
  - Q: por que prover confiabilidade fim-a-fim e na camada de enlace?

# Camada de Enlace

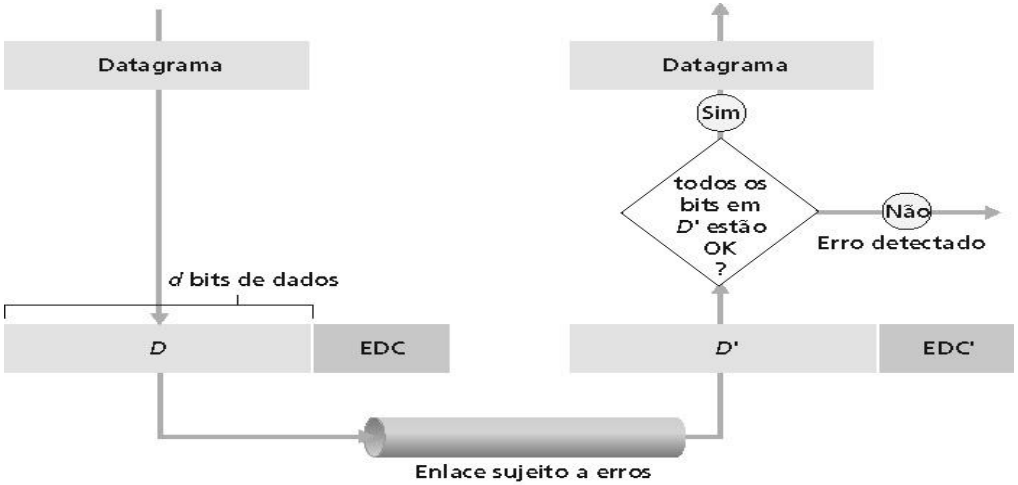
- **Controle de fluxo:**
  - Limitação da transmissão entre transmissor e receptor
- **Detecção de erros:**
  - Erros causados pela atenuação do sinal e por ruídos
  - O receptor detecta a presença de erros:
  - Avisa o transmissor para reenviar o quadro perdido
- **Correção de erros:**
  - O receptor identifica **e corrige** o bit com erro(s) sem recorrer à retransmissão
- **Half-duplex e full-duplex**
  - Com *half-duplex*, os nós em ambas as extremidades do enlace podem transmitir, mas não ao mesmo tempo

# Comunicação de adaptadores

- **Camada de rede implementada no "adaptador" (isto é, NIC)**
  - Cartão Ethernet, cartão PCMCIA, cartão 802.11
- **Lado transmissor:**
  - Encapsula o datagrama em um quadro
  - Adiciona bits de verificação de erro, rdt, controle de fluxo etc.
- **Lado receptor:**
  - Procura erros, RDT, controle de fluxo etc
  - Extrai o datagrama, passa para o lado receptor
- **Adaptador é semi-autônomo**
- **Camadas de enlace e física**



# Detecção de erros



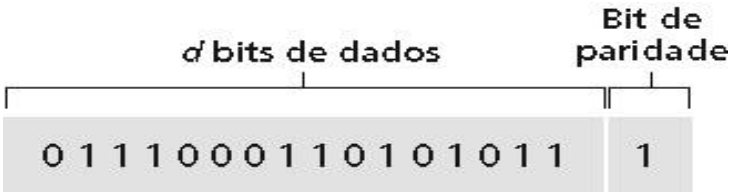

**EDC = Bits de detecção e correção de erros (redundância)**
**D = Dados protegidos pela verificação de erros; pode incluir os campos de cabeçalho**

· A detecção de erros não é 100% confiável!
· Protocolos podem deixar passar alguns erros, mas é raro
· Quanto maior o campo EDC, melhor é a capacidade de detecção e correção de erros

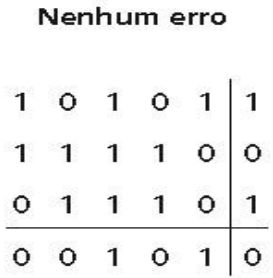
# Verificação de paridade

**Paridade com bit único:**

Detecta erro de um único bit

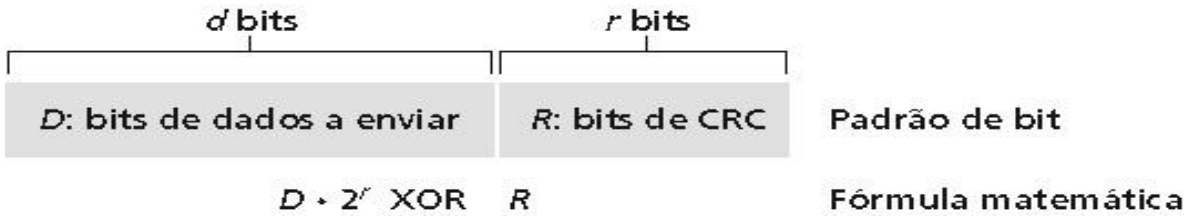







# Verificação de redundância cíclica (CRC)

- Encara os bits de dados, D, como um número binário
- Escolhe um padrão gerador de r + 1 bit, G
- Objetivo: escolhe n CRC bits, nomeado R, tal que
  - <D,R> é divisível de forma exata por G (módulo 2)
  - Receptor conhece G, divide <D,R> por G.  Se o resto é diferente de zero, erro detectado!
  - Pode detectar todos os erros em seqüência (burst errors) com comprimento menor que  r + 1 bit
- Largamente usado na prática (ATM, HDCL)



# Protocolo de Acesso Múltiplo

- Canal de comunicação único e compartilhado
- Duas ou mais transmissões simultâneas pelos nós: interferência
  - Colisão se um nó receber dois ou mais sinais ao mesmo tempo
- **Protocolo de múltiplo acesso:**
  - Algoritmo distribuído que determina como as estações compartilham o canal, isto é, determinam quando cada estação pode transmitir
    - Comunicação sobre o compartilhamento do canal deve utilizar o próprio canal!
      - Nenhum canal fora-de-banda para coordenação

# Protocolos MAC: uma taxonomia

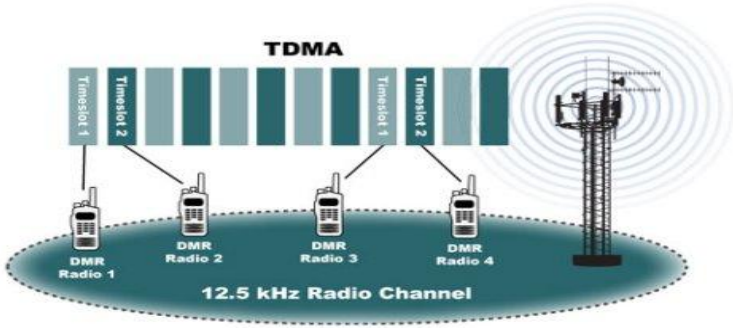
Três grandes classes:

- Particionamento de canal
  - Divide o canal em pedaços menores (compartimentos de tempo, freqüência)
  - Aloca um pedaço para uso exclusivo de cada nó
- Acesso aleatório
  - Canal não dividido, permite colisões
  - “recuperação” das colisões
- Passagem de permissão
  - Nós transmitem nos seus turnos, mas com mais volume para enviar podem usar turnos mais longos

# Protocolos MAC com particionamento de canal: TDMA

## TDMA: acesso múltiplo por divisão temporal

- Acesso ao canal é feito por ”turnos"
- Cada estação controla um compartimento (“slot”) de tamanho fixo (tamanho = tempo de transmissão de pacote) em cada turno
- Compartimentos não usados são desperdiçados
- Exemplo: rede local com 6 estações: 1, 3, 4 têm pacotes, compartimentos 2, 5, 6 ficam vazios



# Protocolos MAC com particionamento de canal: FDMA

FDMA: acesso múltiplo por divisão de freqüência

· O espectro do canal é dividido em bandas de freqüência

· Cada estação recebe uma banda de freqüência

· Tempo de transmissão não usado nas bandas de freqüência é desperdiçado

· Exemplo: rede local com 6 estações: 1, 3, 4 têm pacotes, as bandas de freqüência 2, 5, 6 ficam vazias

# Protocolos de acesso aleatório

- Quando o nó tem um pacote a enviar:
  - Transmite com toda a taxa do canal R.
  - Não há uma regra de coordenação **a priori** entre os nós
- Dois ou mais nós transmitindo -> “colisão”,
- Protocolo MAC de acesso aleatório especifica:
  - Como detectar colisões
  - Como as estações se recuperam das colisões (ex., via retransmissões atrasadas)
- Exemplos de protocolos MAC de acesso aleatório:
  - slotted ALOHA
  - ALOHA
  - CSMA e CSMA/CD

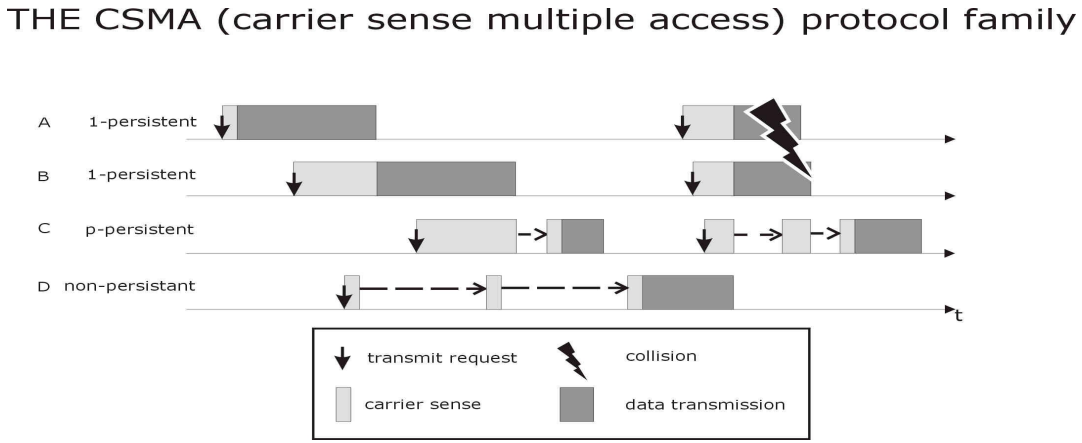
# CSMA: Carrier Sense Multiple Access

CSMA: escuta antes de transmitir:

· Se o canal parece vazio: transmite o pacote

· Se o canal está ocupado, adia a  transmissão

· Analogia humana: não interrompa os outros!

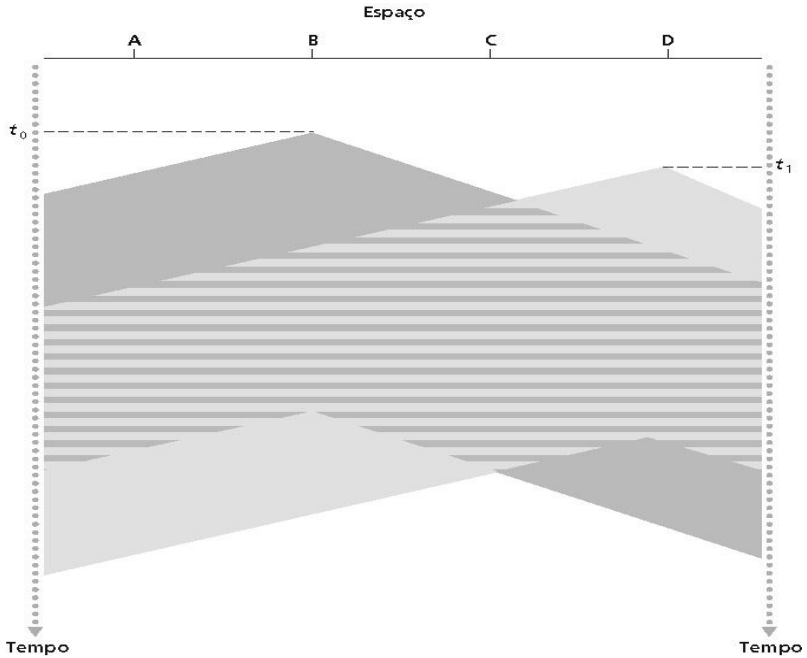


# Colisões no CSMA

Colisões **podem** ocorrer:
o atraso de propagação implica que dois nós podem não ouvir as transmissões do outro

Colisão:
todo o tempo de transmissão do pacote é desperdiçado

Note:
papel da distância e do atraso de propagação na determinação da probabilidade de colisão.




Arranjo espacial dos nós na rede

# CSMA/CD (detecção de colisão)

CSMA/CD: detecção de portadora, deferência como no CSMA

· Colisões **detectadas** num tempo mais curto

· Transmissões com colisões são interrompidas, reduzindo o desperdício do canal

• Detecção de colisão:

• Fácil em LANs cabeadas: medição da intensidade do sinal, comparação dos sinais transmitidos e recebidos

· Difícil em LANs sem fio: receptor desligado enquanto transmitindo

· Analogia humana: o “bom de papo” educado

# Protocolos MAC com passagem de permissão

## Polling:

- Nó mestre “convida” os *workers* a transmitirem um de cada vez
- Problemas:
  - Polling overhead
  - Latência
  - Ponto único de falha (mestre)

## Token passing:

- Controla um **token** passado de um nó a outro seqüencialmente.
- Mensagem token
- Problemas:
  - Token overhead
  - Latência
  - Ponto único de falha (token)

# Endereços de LAN e ARP

Endereços IP de 32-bit:

· Endereços da *camada de rede*

· Usados para levar o datagrama até a rede de destino (lembre-se da definição de rede IP)

Endereço de LAN (ou MAC ou físico):

· Usado para levar o datagrama de uma interface física a outra fisicamente conectada com a primeira (isto é, na mesma rede)

· Endereços MAC com 48 bits (na maioria das LANs) gravados na memória fixa (ROM) do adaptador de rede

# Endereços de LAN

- A alocação de endereços MAC é administrada pelo IEEE
  - http://www.coffer.com/mac_find/
- O fabricante compra porções do espaço de endereço MAC (para assegurar a unicidade)
- Analogia:

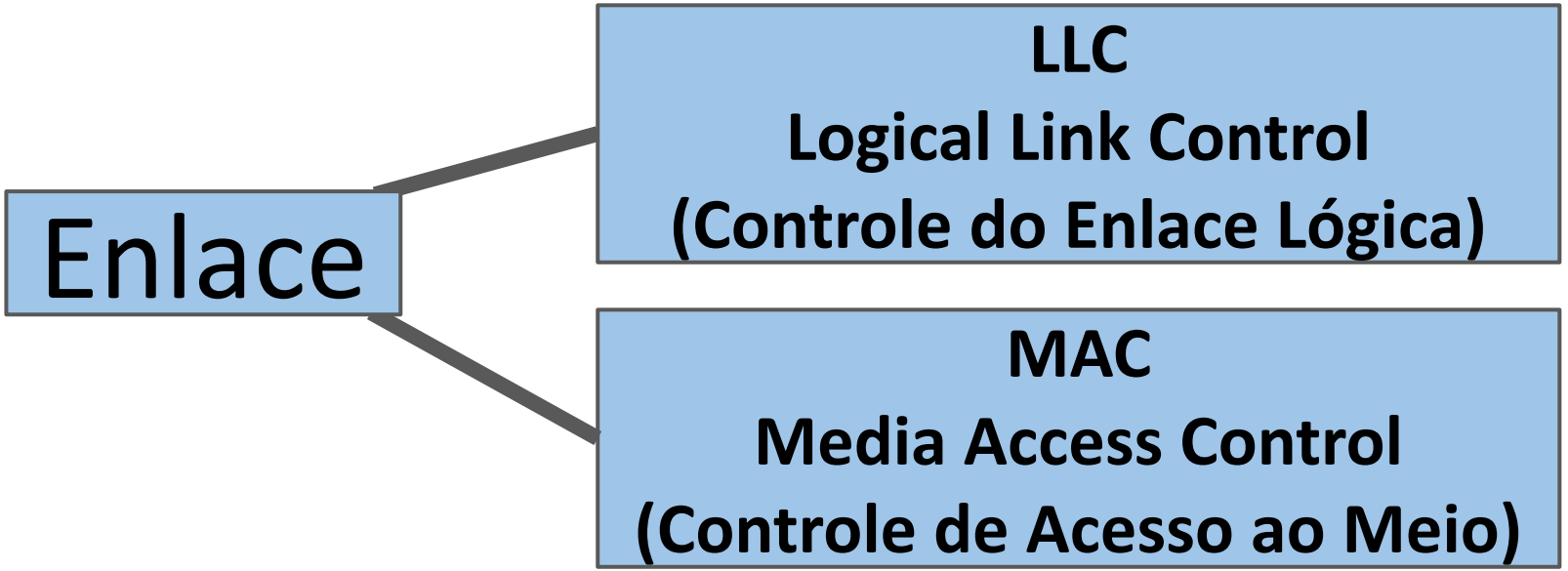
(a) endereço MAC: semelhante ao número do RG

(b) endereço IP: semelhante a um endereço postal

- Endereçamento MAC é “flat” => portabilidade
  - É possível mover uma placa de LAN de uma rede para outra sem reconfiguração de endereço MAC
- Endereçamento IP “hierárquico” => NÃO portável
  - Depende da rede na qual se está ligado

# Camada de Enlace

- Funções



# ARP: Address Resolution Protocol

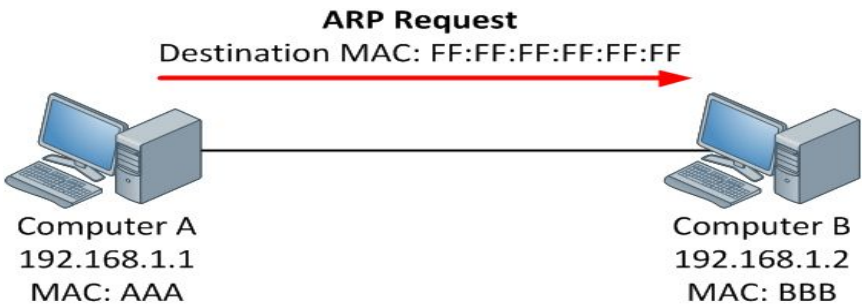
**Questão: como determinar o endereço MAC de B**
**dado o endereço IP de B?**

· Cada nó IP (hospedeiro, roteador) numa LAN tem um módulo e uma tabela ARP

· Tabela ARP: mapeamento de endereços IP/MAC para alguns nós da LAN
< endereço IP; endereço MAC; TTL>

< IP address; MAC address; TTL>

· TTL (Time To Live): tempo depois do qual o mapeamento de endereços será esquecido (tipicamente 20 min)



# Protocolo ARP: Mesma LAN (network)

- A que enviar um datagrama para B, e o endereço MAS de B não está na tabela ARP de A
- A faz broadcast de pacote de consulta ARB, contendo o endereço IP de B
  - end. MAC de destino = FF-FF-FF-FF-FF-FF
  - todas as máquinas na LAN recebem a consulta ARP
- B recebe o pacote ARP, responde para A com seu endereço MAC (de B).
  - Quadro enviado para o end. MAC de A (unicast)
- A faz um cache (salva) o par de endereços IP para MAC em sua tabela ARP até que a informação se torne antiga (expirada) soft state: informação que expira (é descartada) sem atualização
- ARP é “plug-and-play”:
  - Nós criam suas tabelas ARP sem intervenção do administrador da rede