

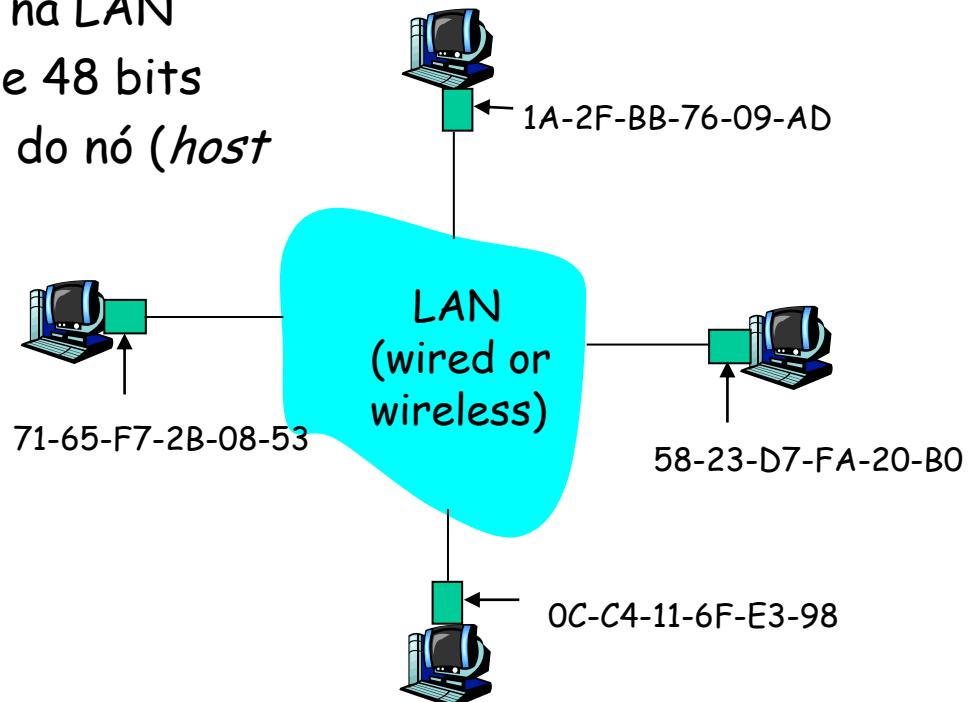
Endereço IP e Endereço Físico

□ endereço IP:

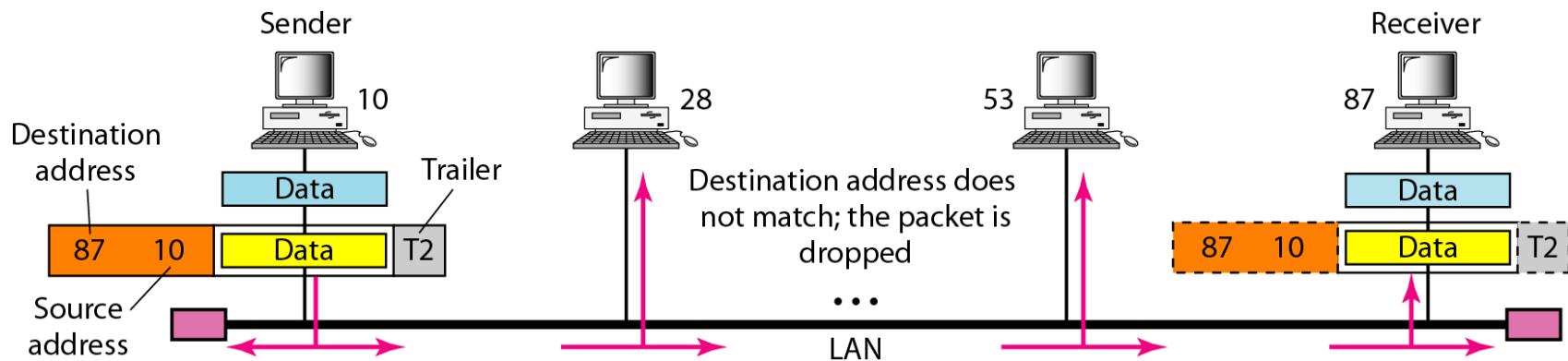
- endereço da camada de rede
- identifica cada *host* na internet

□ endereço físico (ou endereço MAC - *media access control*):

- endereço da camada de enlace
- identifica cada nó (estação) na LAN
- para a maioria das LANs é de 48 bits
- é único para cada adaptador do nó (*host* ou roteador)



Endereço Físico - exemplo

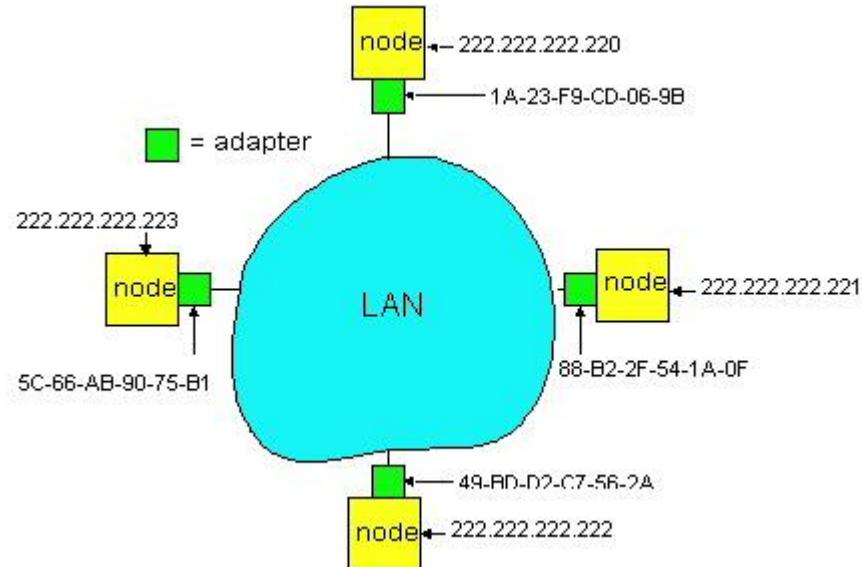


Endereço IP e Endereço Físico

- endereços MAC são administrados (*globalmente*) pelo IEEE
- o fabricante de adaptadores de rede compra uma parte do espaço total de endereços (para garantir unicidade)
- analogia:
 - (a) endereço MAC: como número de CPF
 - (b) endereço IP: como endereço postal
- endereço MAC não é estruturado (*flat*) => portabilidade
 - pode se mover de uma LAN para outra com o adaptador
 - endereçamento horizontal
- endereço IP é hierárquico => NÃO é portátil
 - depende da rede IP à qual o *host* se conecta
- endereço MAC de difusão (*broadcast*): 1111.....1111

ARP: Address Resolution Protocol

- cada host e roteador numa LAN possui um módulo ARP com uma tabela ARP.
- a tabela ARP contém o mapeamento entre endereços IP/MAC:
 - < endereço IP; endereço MAC; TTL >
 - < >
- TTL (*Time To Live*):
indica quando a entrada na tabela será deletada
(valor típico: 20 min)
 - *soft state* (a informação que sofre *timeout* é perdida a menos que seja renovada)



ARP: Address Resolution Protocol

□ Exemplo:

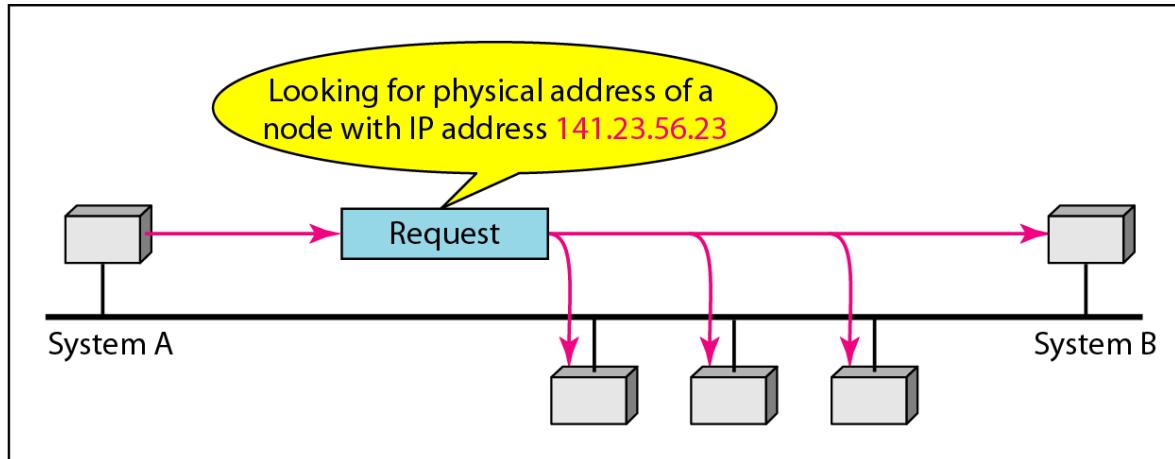
Uma possível tabela ARP do nó 222.222.222.220

IP Address	MAC Address	TTL
222.222.222.221	88-B2-2F-54-1A-0F	13:45:00
222.222.222.223	5C-66-AB-90-75-B1	13:52:00

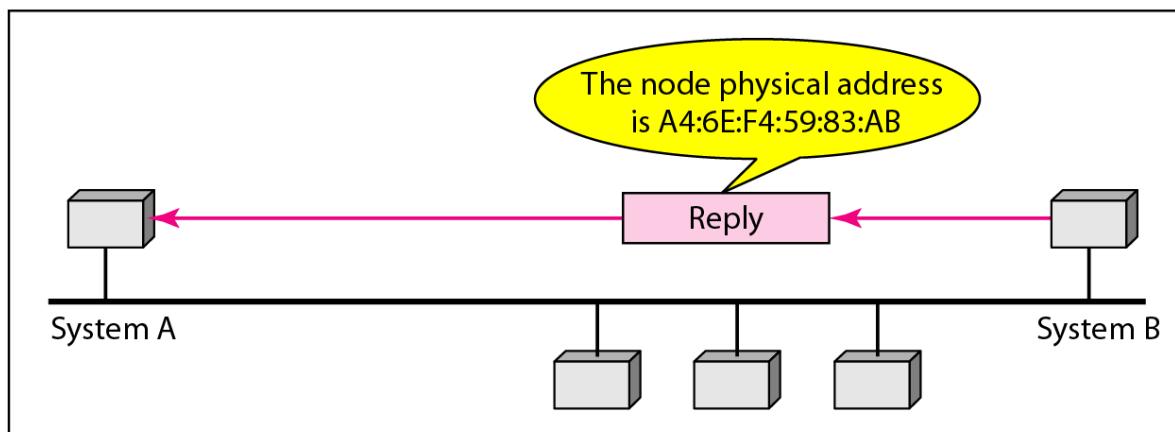
ARP: Address Resolution Protocol (cont.)

- ❑ Supondo: nó A deseja enviar um pacote para endereço IP de destino XYZ na mesma rede local.
- ❑ Nó A verifica, em primeiro lugar, se sua própria **tabela ARP** contém o endereço IP XYZ.
- ❑ Se XYZ não estiver na **tabela ARP**, o módulo ARP difunde um pacote ARP:
 $\langle \text{XYZ, MAC (?)} \rangle$
- ❑ TODOS os nós na rede local aceitam e inspecionam o pacote ARP.
- ❑ Nó XYZ responde ao nó A com pacote ARP **unicast** (ponto a ponto) informando seu próprio endereço MAC :
 $\langle \text{XYZ, MAC (XYZ)} \rangle$
- ❑ Nó A armazena endereço MAC de XYZ na **tabela ARP (cache)**.

ARP: Address Resolution Protocol (cont.)



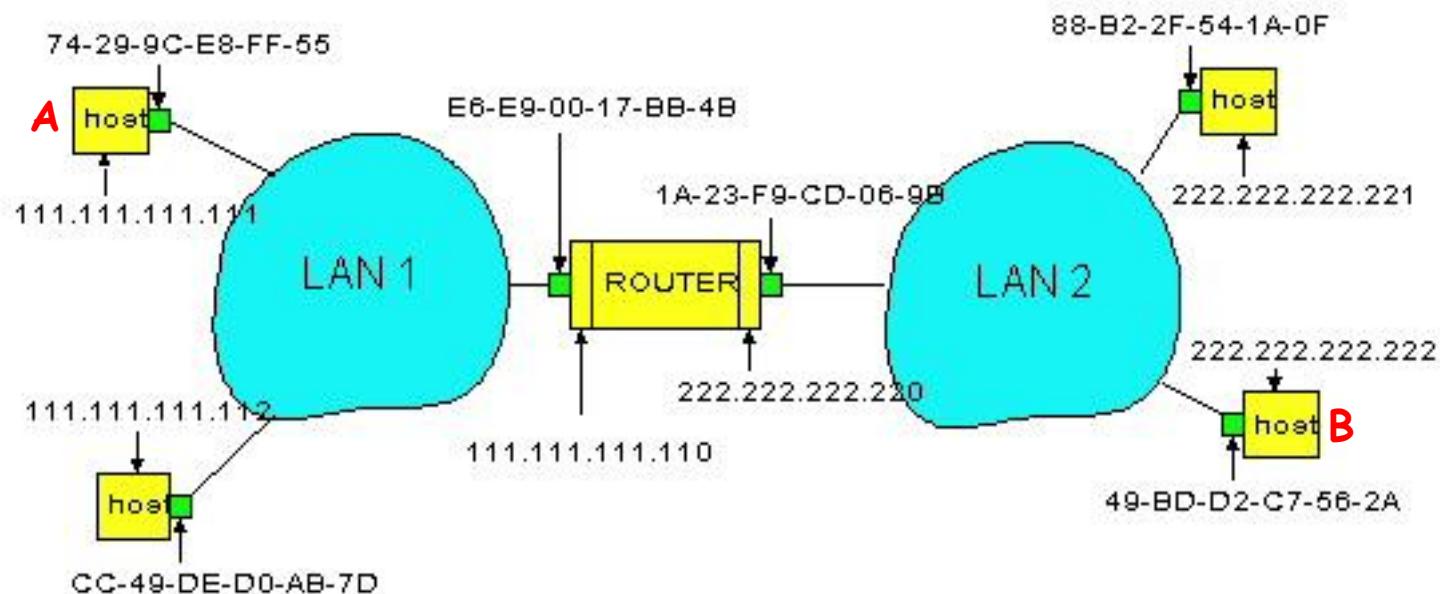
a. ARP request is broadcast



b. ARP reply is unicast

Exemplo

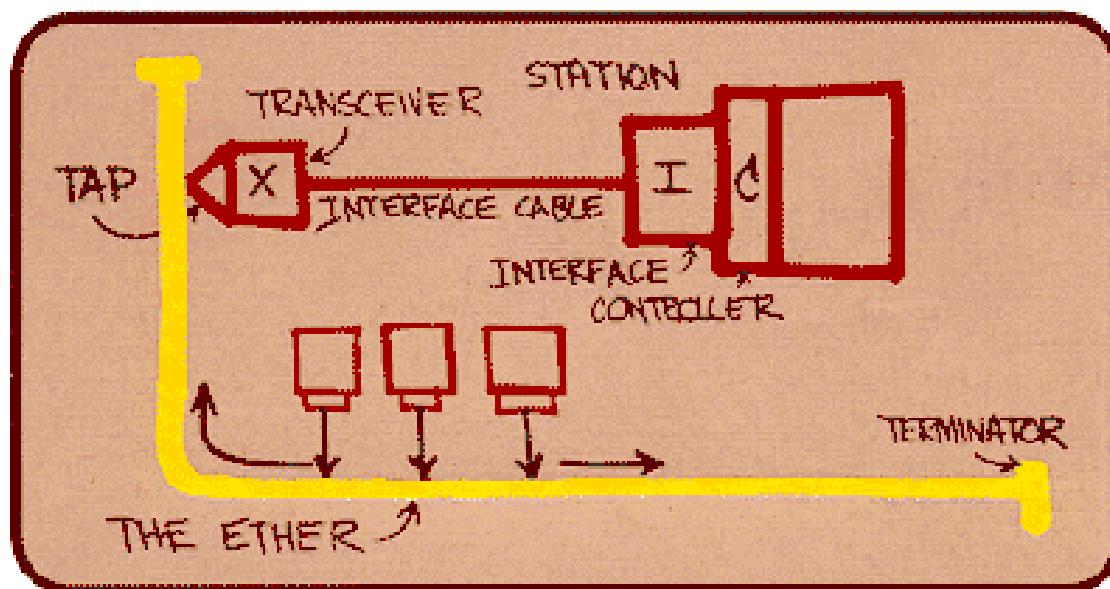
Transferência de datagramas entre nós em diferentes subredes



Ethernet

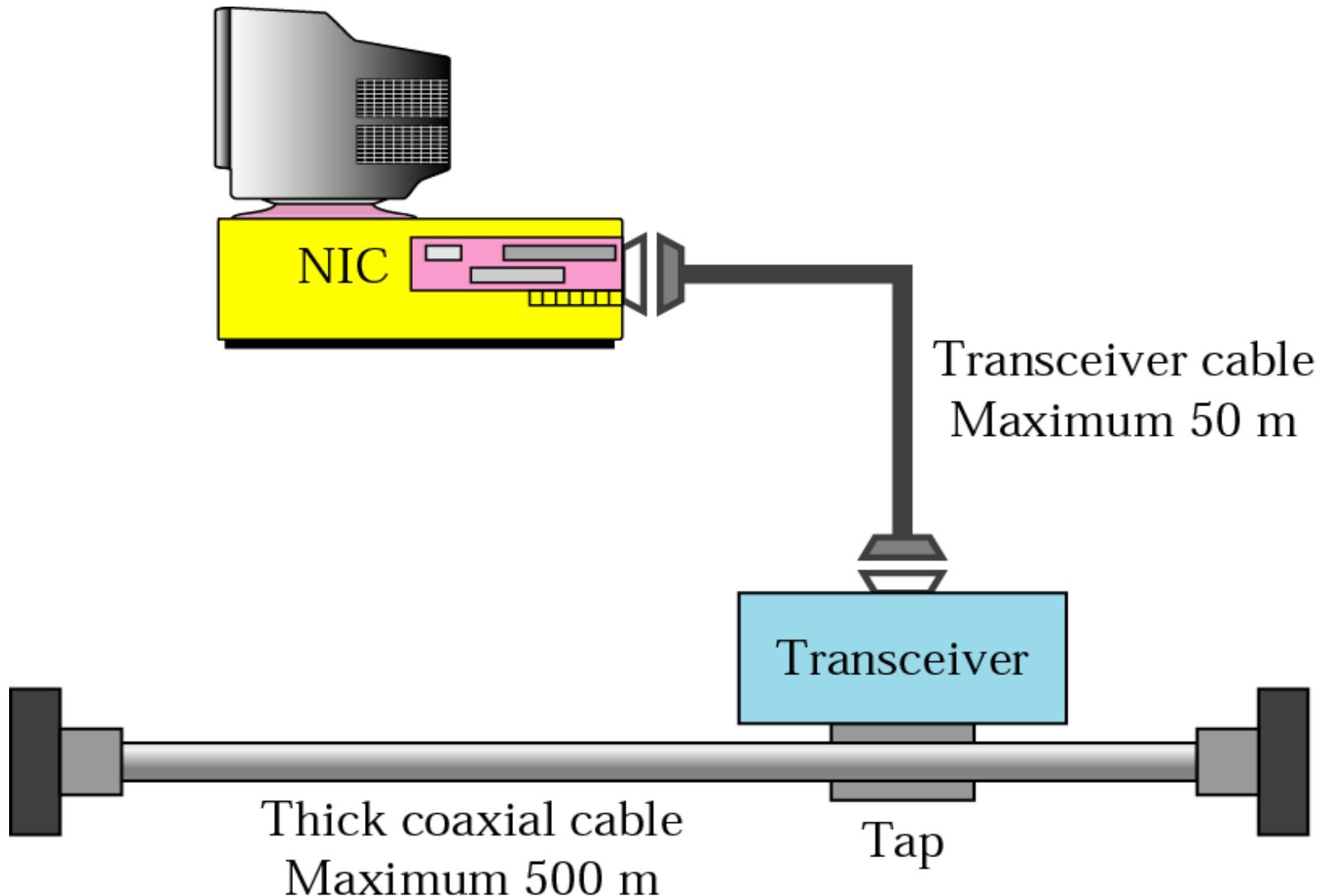
□ Por que a Ethernet é muito difundida?

- Custo baixo!
- A mais antiga das tecnologias de rede local
- Adaptadores mais simples que os de redes Token Ring e ATM
- Velocidades: 10, 100, 1.000, 10.000, 40.000 e 100.000 Mbps

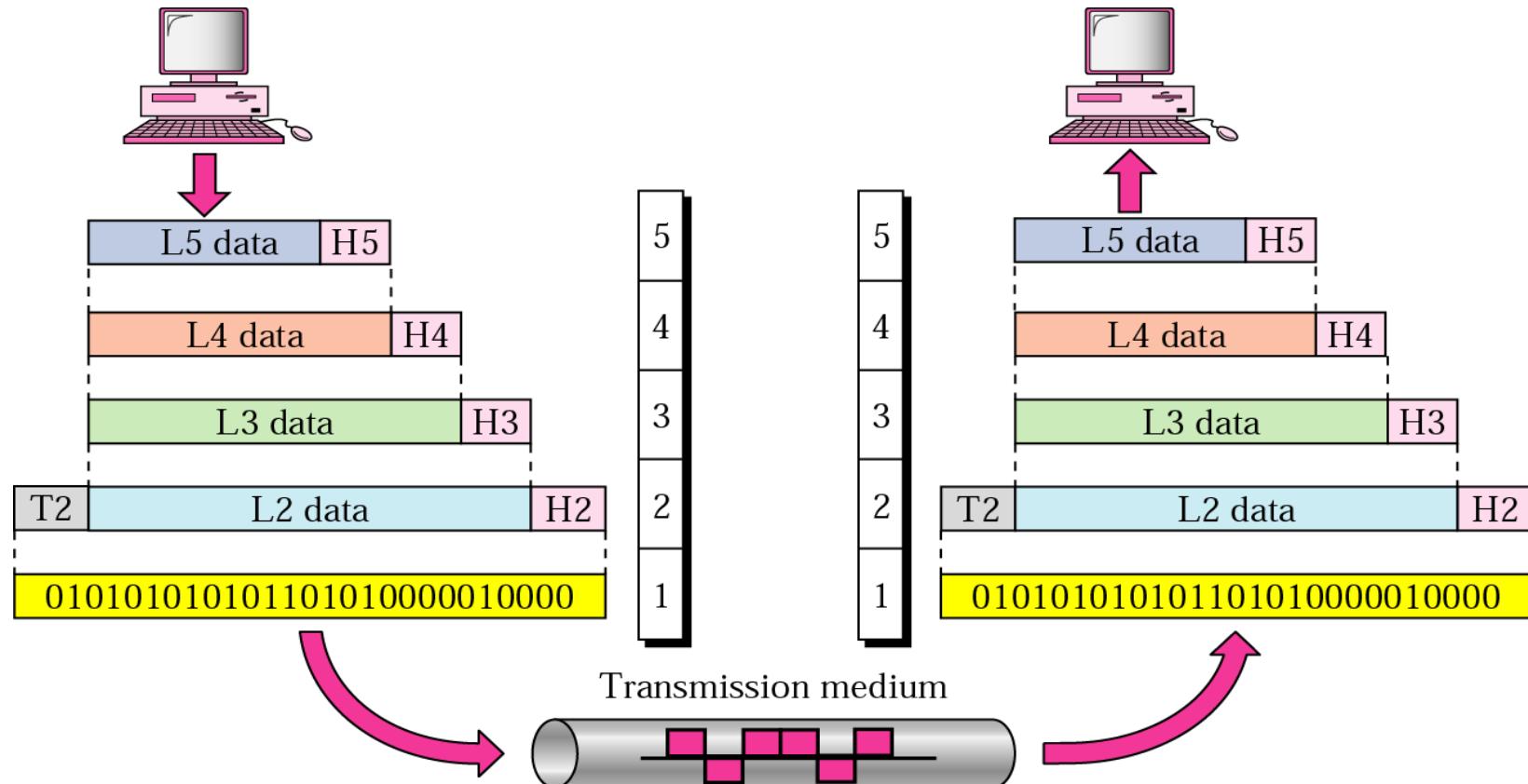


Esboço de
Metcalfe
para a
Ethernet
(IEEE 802.3
tipo
10Base5)

Ethernet (Cont.)

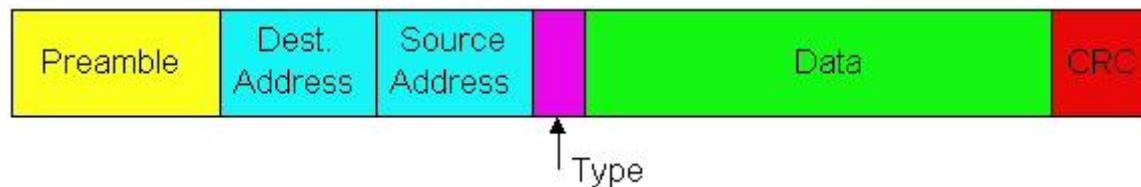


Estrutura de Quadro Ethernet



Estrutura de Quadro Ethernet

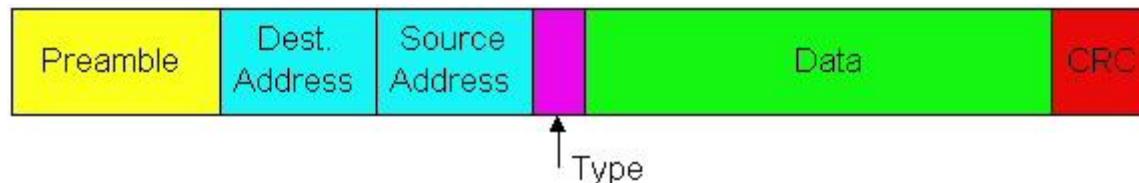
- Adaptador remetente encapsula um datagrama IP (ou pacote de outro protocolo da camada de rede) num **quadro Ethernet**:



- **Preâmbulo** (8 bytes): 7 bytes com o padrão 10101010 seguidos por um byte com o padrão 10101011
 - sincroniza relógio do receptor ao relógio do remetente

Estrutura de Quadro Ethernet (cont.)

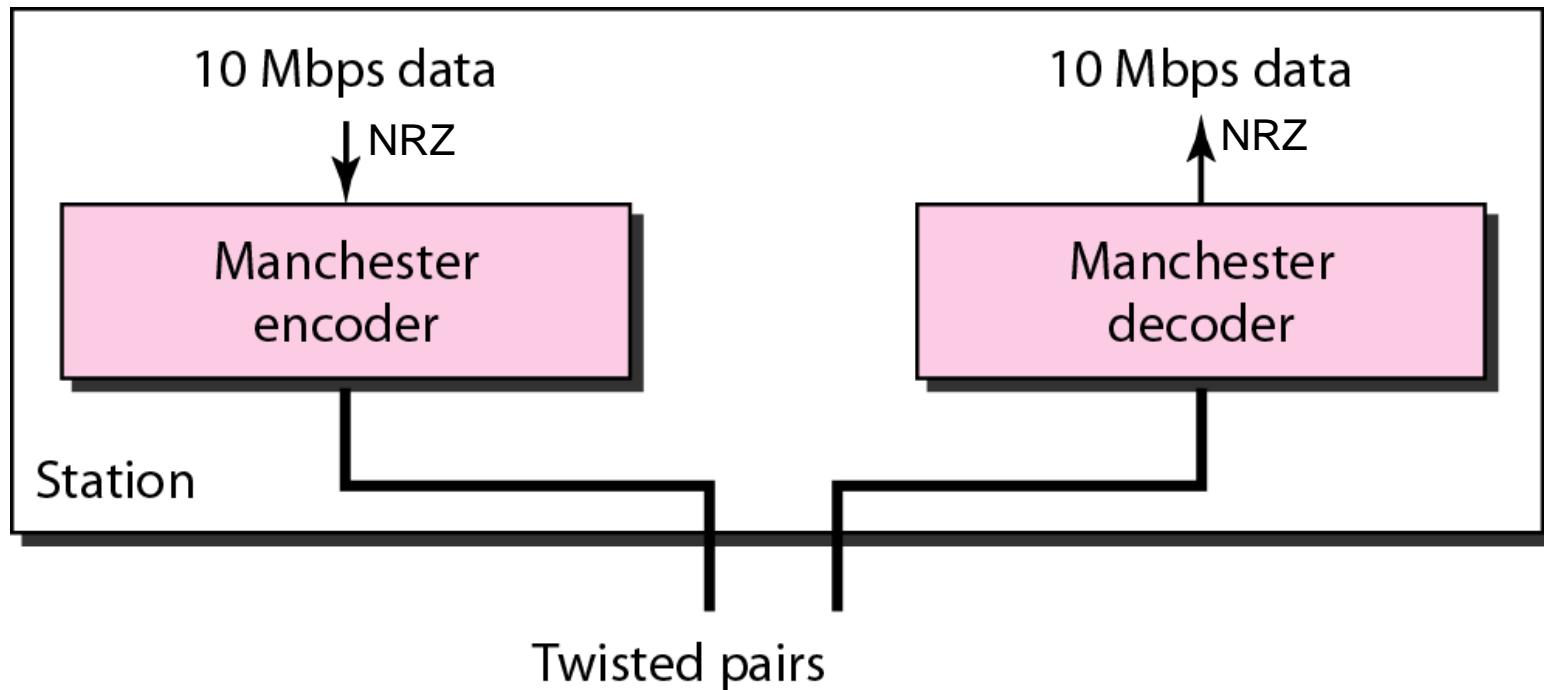
- **Cabeçalho** contém endereços de Destino e de Origem e um campo *Type*.
- **Endereço de Destino / Endereço de Origem** (6 bytes): podem ser administrados localmente ou globalmente.
- **Type** (2 bytes): indica o protocolo de camada superior, usualmente IP (0800), mas oferece suporte para outros, tais como, IPX (8137) e AppleTalk (809B).
- **CRC** (4 bytes): é verificado pelo receptor. Se for detectado um erro, o quadro será descartado.



Ethernet: Serviço não orientado à conexão e não confiável

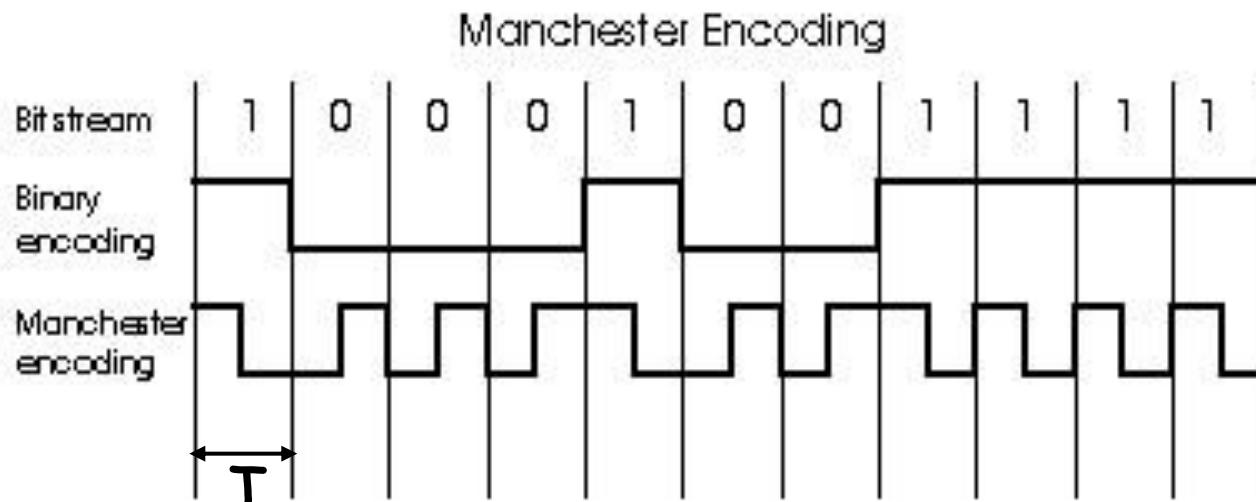
- Todas as tecnologias Ethernet fornecem **serviço não orientado à conexão** à camada de rede:
 - não há *handshaking* entre os adaptadores remetente e receptor.
- Todas as tecnologias Ethernet fornecem **serviço não confiável** à camada de rede:
 - o adaptador do receptor não envia ACKs ou NAKs.
 - o fluxo de datagramas passado à camada de rede pode conter lacunas devido a quadros Ethernet descartados.
 - se a aplicação usa o TCP, então as lacunas serão detectadas e o TCP retransmitirá os dados.
 - caso contrário, a aplicação sofre lacunas de dados.

Codificação Manchester



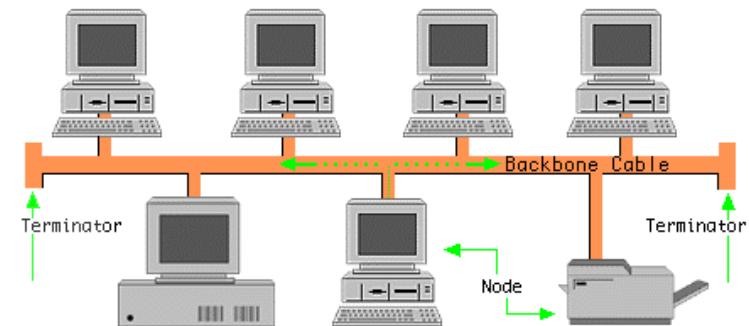
Codificação Manchester

- **Sinalização em Banda básica** : não se usa modulação; os bits codificados são transmitidos diretamente no canal.
- **Codificação Manchester**: garante que ocorra uma transição a cada intervalo de bit (T), facilitando a sincronização entre relógios do remetente e receptor.



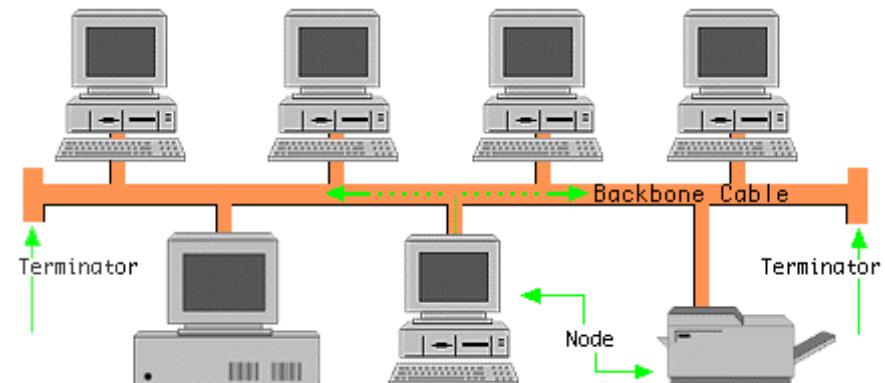
As Redes Ethernet usam o CSMA/CD

- Um adaptador Ethernet pode começar a transmitir a qualquer momento, i.e., **não há slots**.
- Um adaptador Ethernet nunca transmite um quadro se detecta que algum outro adaptador está transmitindo, i.e., usa **detecção de portadora**.
- Um adaptador Ethernet que está transmitindo aborta sua transmissão logo que percebe que outro adaptador também está transmitindo, i.e., usa **detecção de colisão**.
- Antes de tentar uma **retransmissão**, um adaptador Ethernet espera um período de tempo aleatório, i.e., usa **acesso aleatório**.



Funcionamento do CSMA/CD

1. O adaptador recebe um datagrama da camada superior e cria um quadro.
2. Se o adaptador detecta o canal livre, ele inicia a transmissão do quadro. Se detecta o canal ocupado, espera até que o canal fique livre e, então transmite.
3. Se o adaptador transmite o quadro inteiro sem detectar outra transmissão, ele considera concluída a transmissão.
4. Se o adaptador detectar **colisão**, ele aborta a transmissão e envia o sinal de reforço de colisão (**jam**) de 48 bits.
. (vide próximo slide)
5. Após abortar uma transmissão, o adaptador entra na fase de:
Espera Aleatória Exponencial Truncada (*truncated binary exponential backoff*), em seguida, ele retorna ao passo 2.
. (vide próximo slide)



CSMA/CD (cont.)

- Sinal de reforço de colisão (*Jam*):
 - serve para garantir que todos os outros nós que estejam transmitindo fiquem cientes da colisão.
 - transmite 48 bits (energia suficiente p/ detecção de colisão).
- Espera Aleatória Exponencial Truncada (*truncated binary exponential backoff*):
 - **meta**: adaptar as tentativas de retransmissão à estimativa de carga de tráfego atual na rede.
 - após a primeira colisão, escolhe-se K entre $\{0,1\}$ e espera-se $(K \times 512 \times T)$ para tentar retransmitir [T em s].
 - após a segunda colisão escolhe-se K entre $\{0,1,2,3\}...$
 - após dez ou mais colisões, escolhe-se K entre $\{0,1,2,3,4,\dots,1023\}$

CSMA/CD (cont.)

- Eficiência da Ethernet (sob tráfego intenso e número elevado de nós):

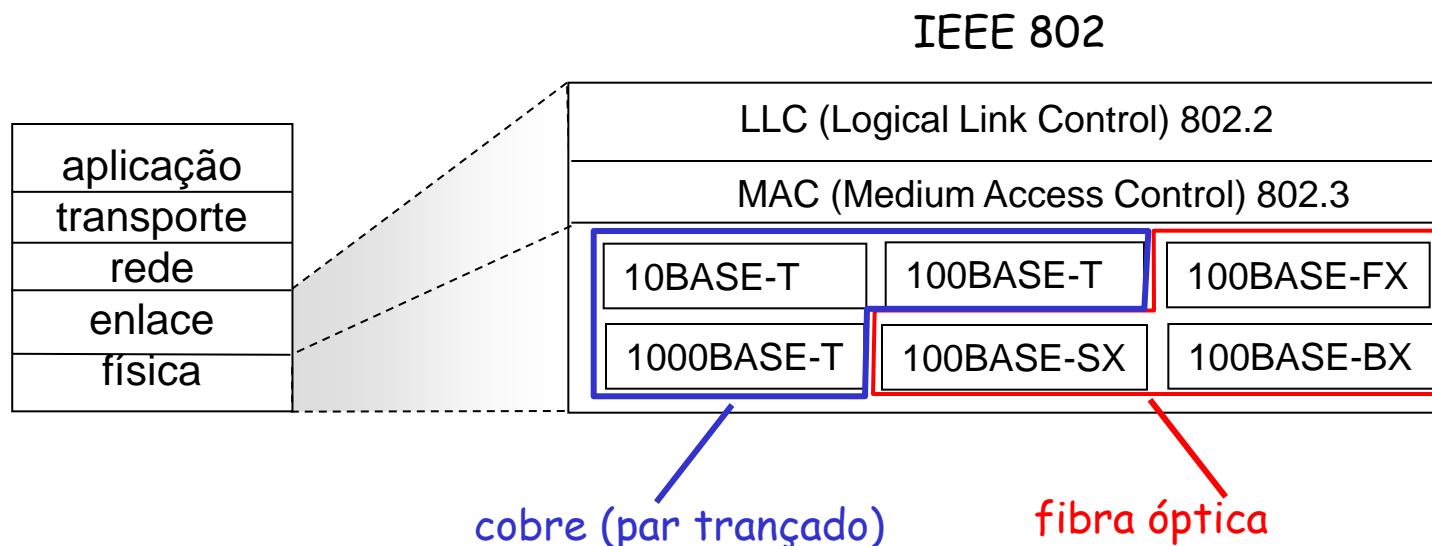
$$Efficiency = \frac{1}{1 + (5 * \frac{t_{prop}}{t_{trans}})}$$

- t_{prop} = atraso de propagação
- t_{trans} = atraso de transmissão

Padrão IEEE 802.3: camadas física e enlace

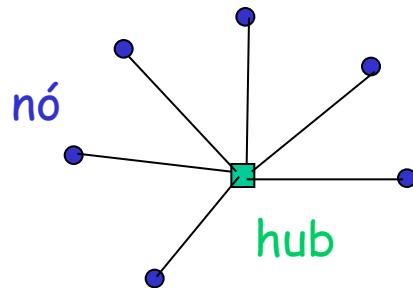
□ Vários tipos IEEE 802.3 diferentes:

- todavia, o protocolo MAC (CSMA/CD) e o formato de quadro são comuns a todos
- várias velocidades diferentes: 10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps
- meios físicos: fibras ópticas, cabos metálicos:



IEEE 802.3 tipo 10Base-T e 100Base-T (cont.)

- A distância máxima do nó ao *hub* é de 100 metros.



- O *hub* atua essencialmente como um dispositivo repetidor de bits (camada física).
- O *hub* pode desconectar internamente um adaptador em falha ("jabbering").
- O *hub* pode coletar informações e estatísticas de monitoramento para fins de administração da rede.
- 100Base-T não usa a codificação Manchester; usa a codificação 4B5B para maior eficiência.

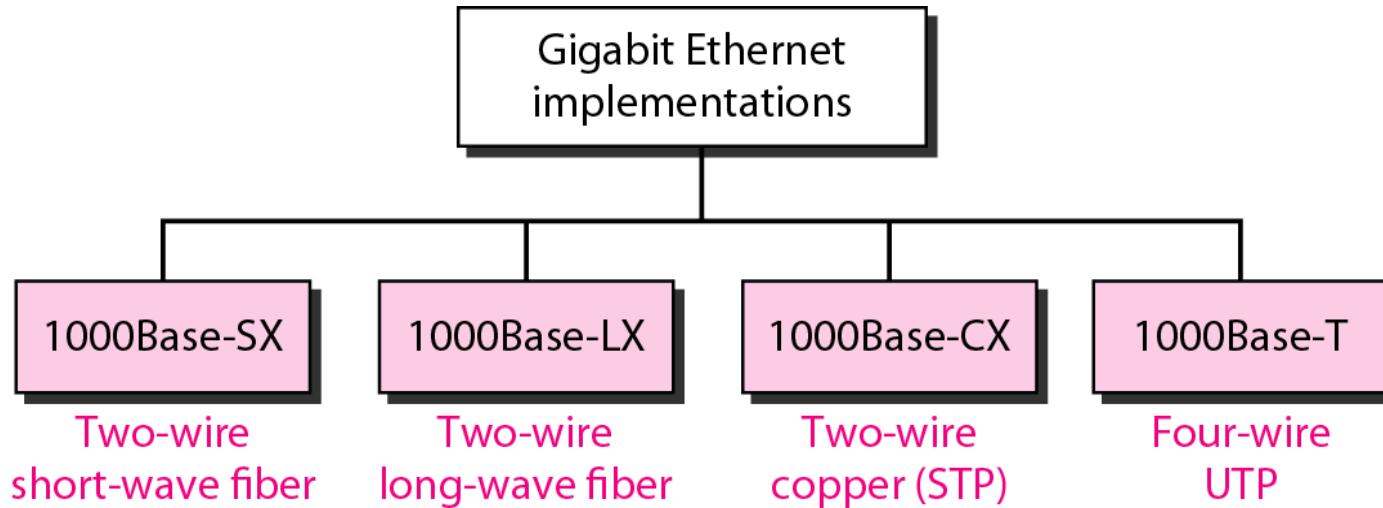
IEEE 802.3 tipo 10Base-T e 100Base-T (cont.)

□ Códigos de mapeamento do método 4B/5B

<i>Data Sequence</i>	<i>Encoded Sequence</i>	<i>Control Sequence</i>	<i>Encoded Sequence</i>
0000	11110	Q (Quiet)	00000
0001	01001	I (Idle)	11111
0010	10100	H (Halt)	00100
0011	10101	J (Start delimiter)	11000
0100	01010	K (Start delimiter)	10001
0101	01011	T (End delimiter)	01101
0110	01110	S (Set)	11001
0111	01111	R (Reset)	00111
1000	10010		
1001	10011		
1010	10110		
1011	10111		
1100	11010		
1101	11011		
1110	11100		
1111	11101		

Gigabit Ethernet

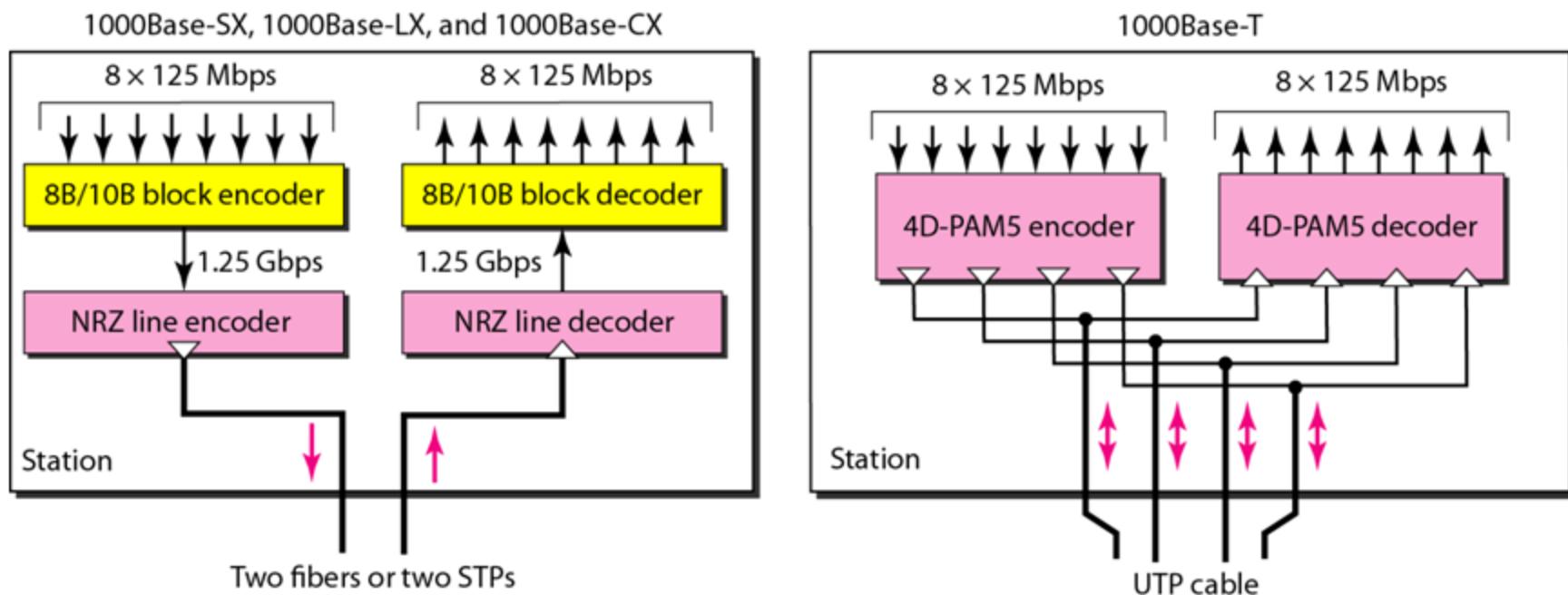
- Usa o mesmo formato de quadro e protocolo **MAC** das versões a 10 e 100 Mbps.



Characteristics	1000Base-SX	1000Base-LX	1000Base-CX	1000Base-T
Media	Fiber short-wave	Fiber long-wave	STP	Cat 5 UTP
Number of wires	2	2	2	4
Maximum length	550 m	5000 m	25 m	100 m
Block encoding	8B/10B	8B/10B	8B/10B	
Line encoding	NRZ	NRZ	NRZ	4D-PAM5

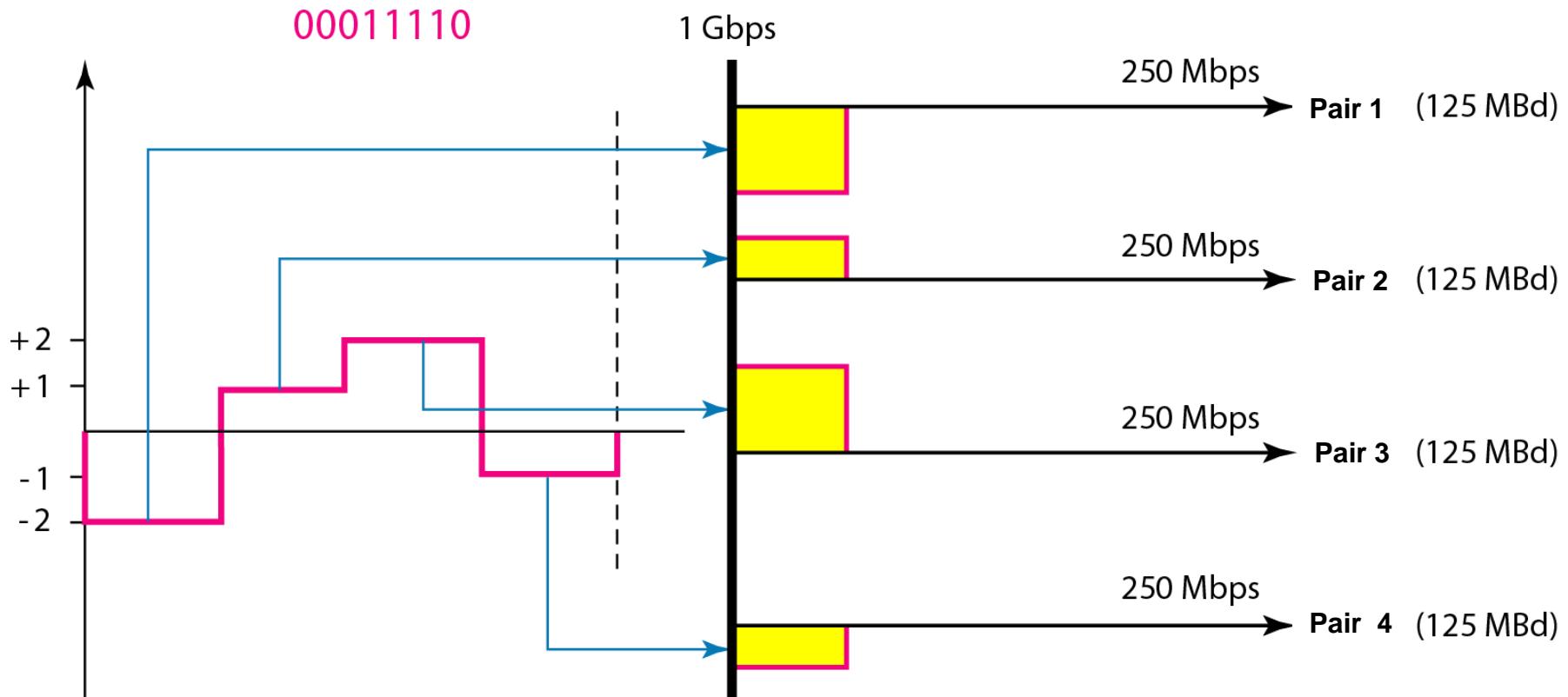
Gigabit Ethernet

□ Métodos de codificação:



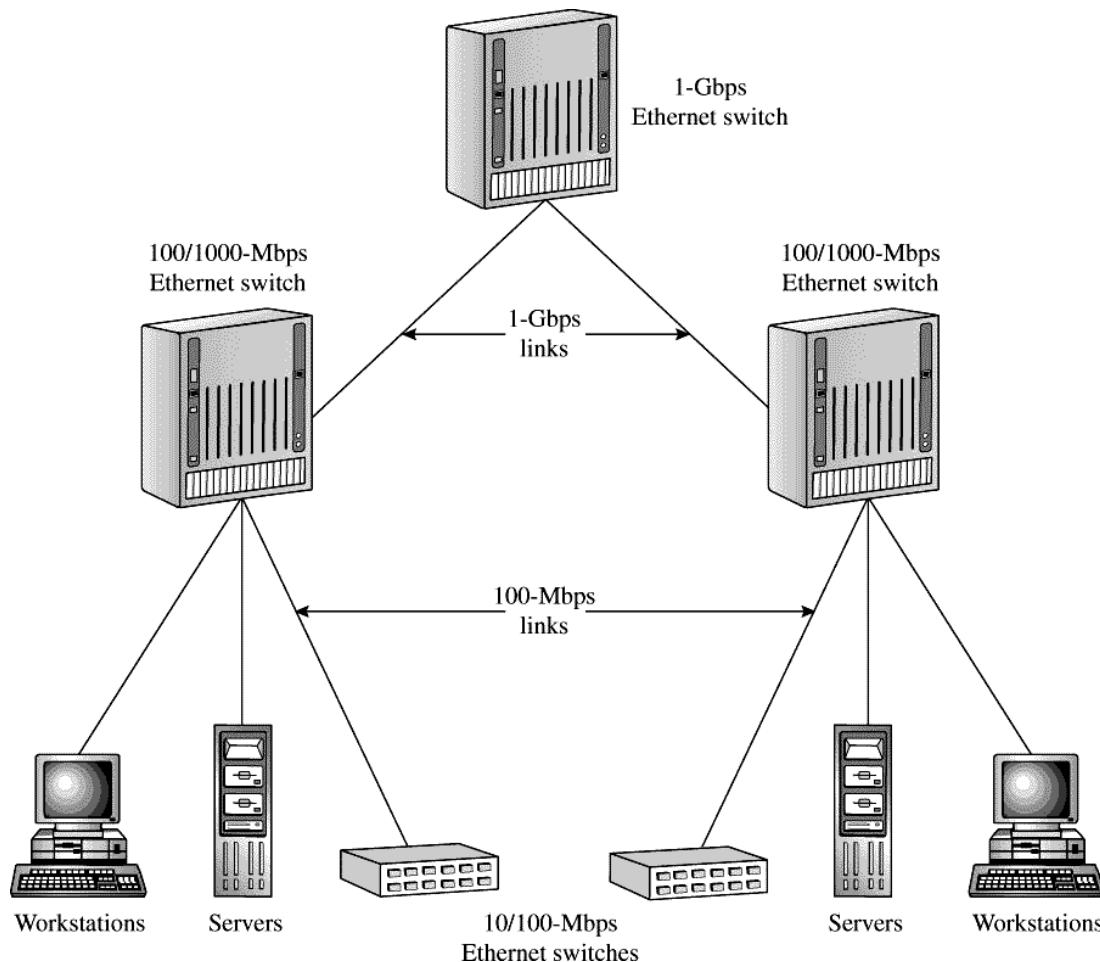
Gigabit Ethernet

- Codificação 4D-PAM5 : modulação por amplitude de pulso com 5 níveis (-2, -1, 0, +1, +2) e 4 dimensões



Gigabit Ethernet

□ Exemplo de aplicação



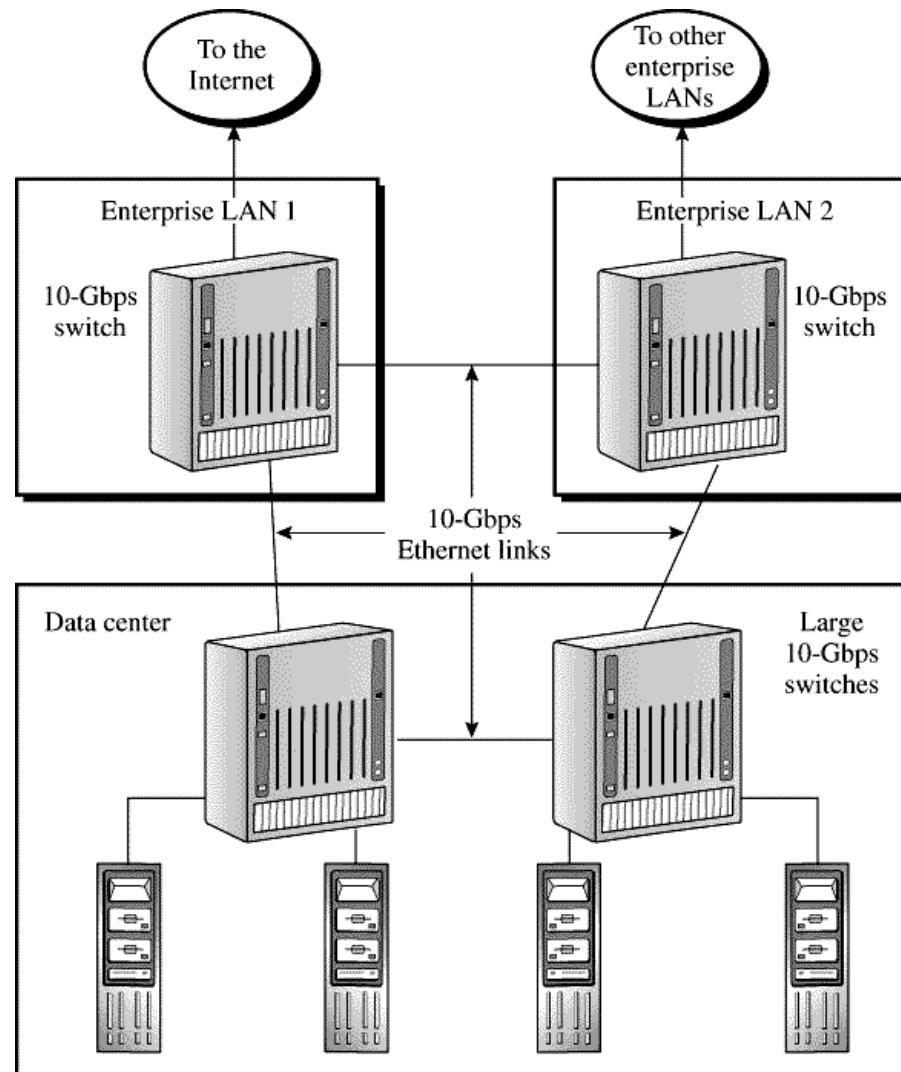
10-Gigabit Ethernet

- Opera apenas no modo full-duplex:
 - Não existe a necessidade de contenção
- A camada física foi desenvolvida para uso de cabos de fibras ópticas.
- Sumário das implementações 10-Gigabit Ethernet:

<i>Characteristics</i>	<i>10GBase-S</i>	<i>10GBase-L</i>	<i>10GBase-E</i>
Media	Short-wave 850-nm multimode	Long-wave 1310-nm single mode	Extended 1550-mm single mode
Maximum length	300 m	10 km	40 km

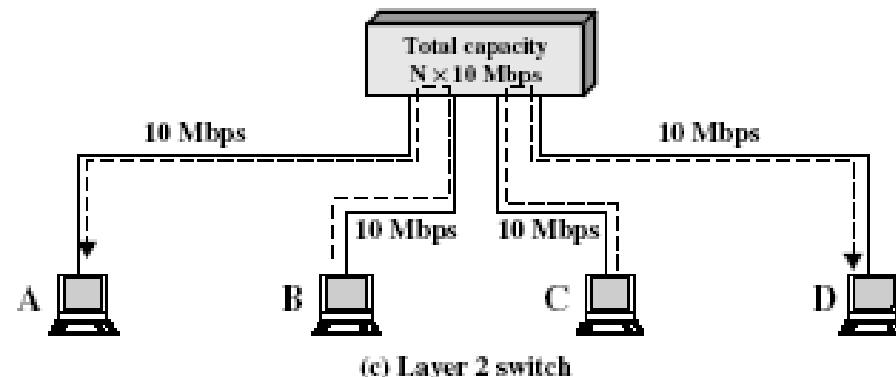
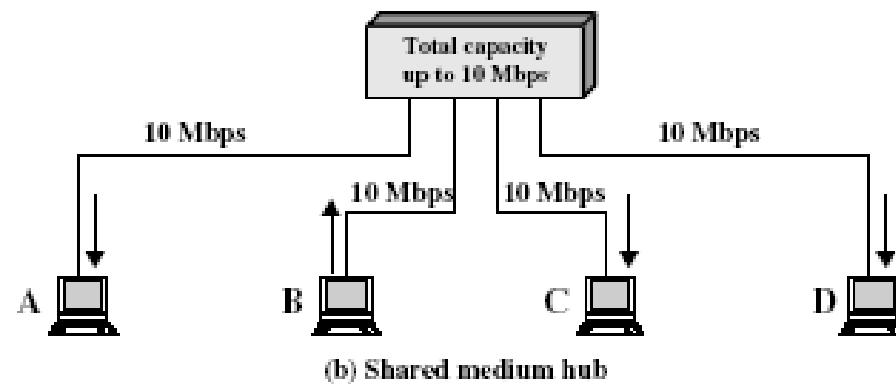
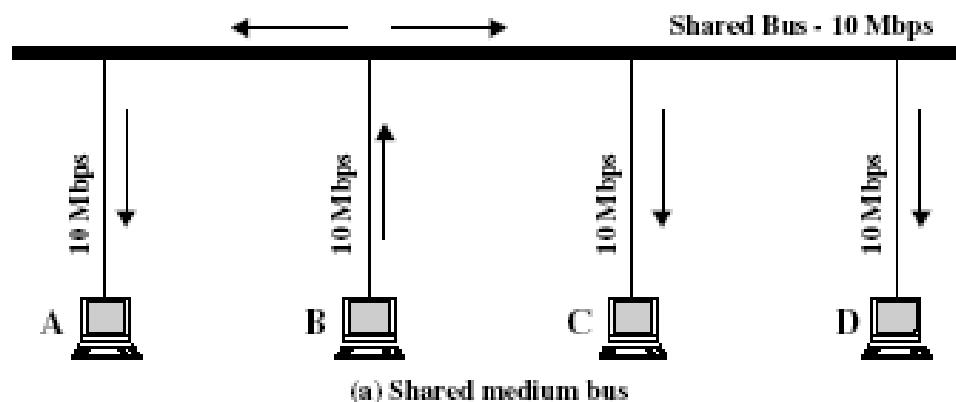
10-Gigabit Ethernet

□ Exemplo de aplicação:



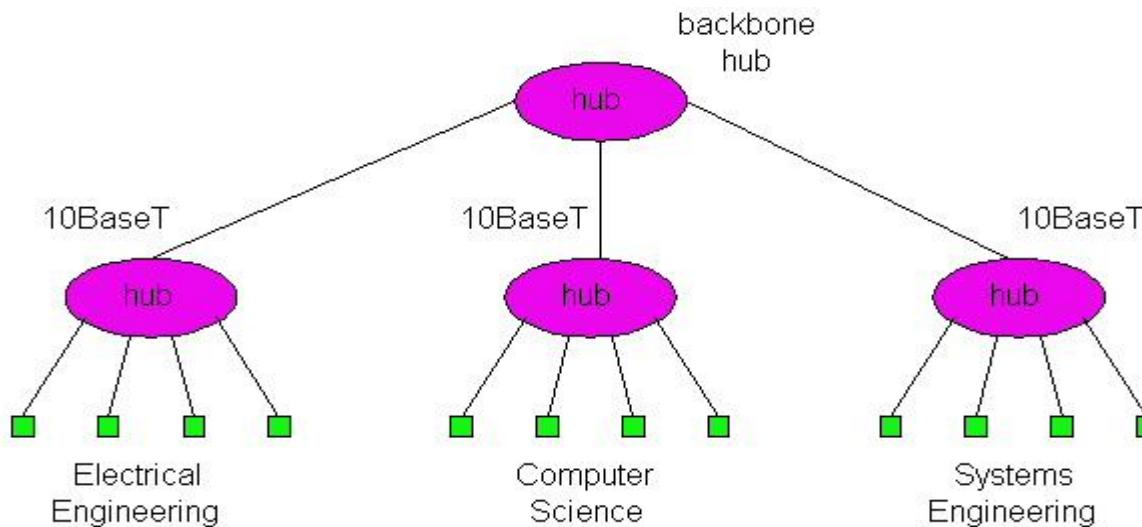
Interconexão de Segmentos de LANs

- Hub
- Switch (comutador)
- São usados para estender características das LANs: cobertura geográfica, número de nós, etc.
- Diferem entre si em termos de:
 - isolamento de domínios de colisão.
 - camada em que operam.
- São diferentes dos roteadores:
 - não provêem roteamento ótimo de pacotes IP.



Interconexão com Hubs

- São dispositivos da **camada física**: basicamente são repetidores, uma vez que repetem os bits recebidos numa interface para as demais interfaces.
- Hubs podem ser dispostos numa hierarquia (ou **projeto de múltiplos níveis**), com um **hub backbone** na raíz.



Interconexão com Hubs (cont.)

- Cada LAN no projeto de múltiplos níveis é denominada **segmento de LAN**.
- Hubs **não isolam domínios de colisão**: sempre que um ou mais nós dos segmentos de LAN transmitem ao mesmo tempo, há colisão.
- Vantagens dos hubs:
 - dispositivos simples e baratos.
 - configuração em múltiplos níveis provê degradação suave: os segmentos de LAN OK continuam a operar se o hub que implementa um deles deixar de funcionar.
 - estende a distância máxima entre pares de nós.

Interconexão com Hubs (cont.)

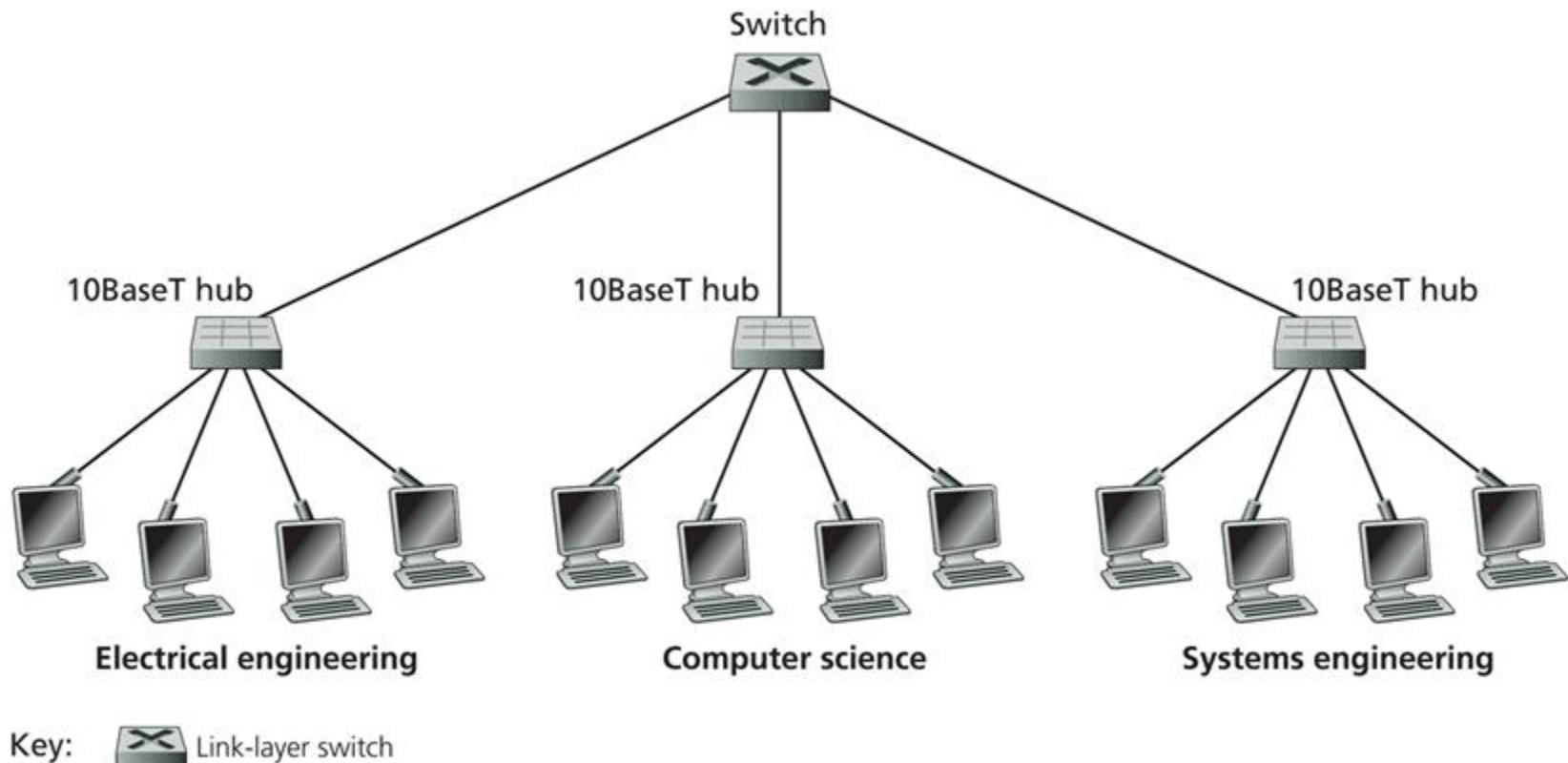
Limitações dos hubs :

- **domínio de colisão comum** para os vários segmentos de LAN: a vazão máxima é igual a de um segmento de LAN .
- restrições individuais de cada tipo IEEE 802.3 (10Base2, 10Base-T, ...) impõe limites no número máximo de nós no domínio de colisão comum e na cobertura geográfica total permitida.
- não se pode misturar tipos diferentes do padrão IEEE 802.3 (p.ex., 10Base-T e 100Base-T).

Interconexão com Switches

- Switches são dispositivos da **camada de enlace**: examinam o cabeçalho dos quadros e os encaminham seletivamente com base em endereços da LAN de destino.
- Realizam o armazenamento e repasse (*store-and-forward*) de quadros.
- Os switches **isolam** domínios de colisão.
- Podem interconectar diferentes tecnologias de LAN
- Quando um quadro deve ser repassado a um segmento de LAN, o switch usa o protocolo MAC deste segmento para ter acesso ao mesmo.
- Plug-and-play, autodidatas
 - o switch monta sua tabela de comutação de forma automática, dinâmica e autônoma.

Interconexão com Switches

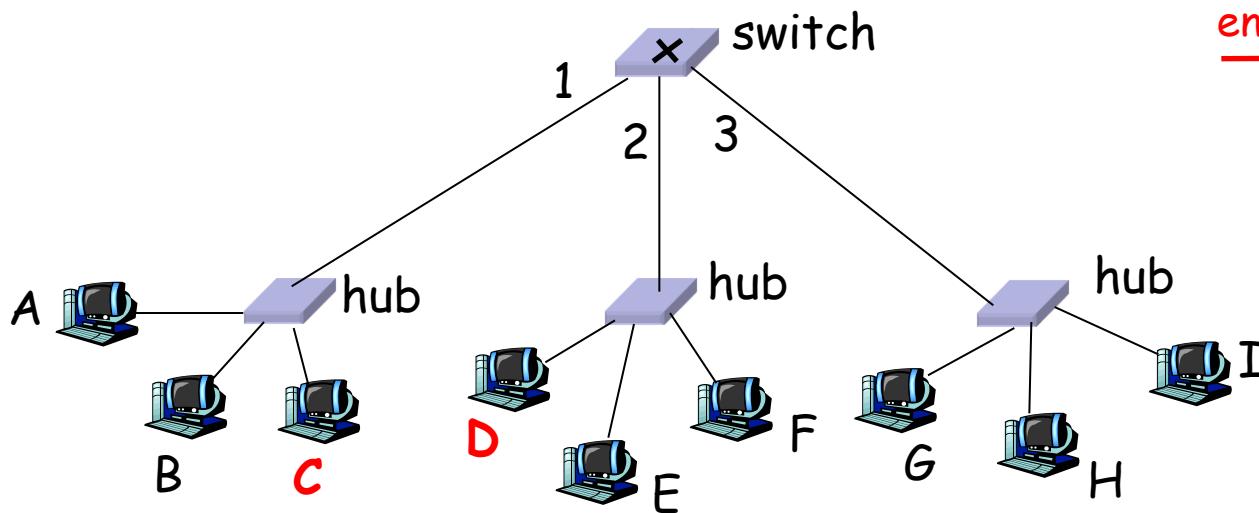


Como determinar o segmento de LAN que deverá receber o quadro?

Switches: filtragem e repasse

- Os switches realizam as funções de filtragem e repasse por meio de uma tabela de comutação.
- Quando o switch recebe um quadro:
if nó destino estiver na mesma LAN pela qual o quadro foi recebido
 then descarte o quadro
 else { faça pesquisa na tabela de comutação
 if for encontrada uma entrada para o nó destino
 then repasse o quadro para a interface indicada;
 else faça "inundação"; */* reenvia o quadro em todas as interfaces, exceto naquela por onde ele chegou*/*
 }
}
- Registro de um nó na tabela de comutação:
(Endereço MAC de destino, Número de interface de switch, Tempo)

Método de “aprendizado” nos switches: exemplo

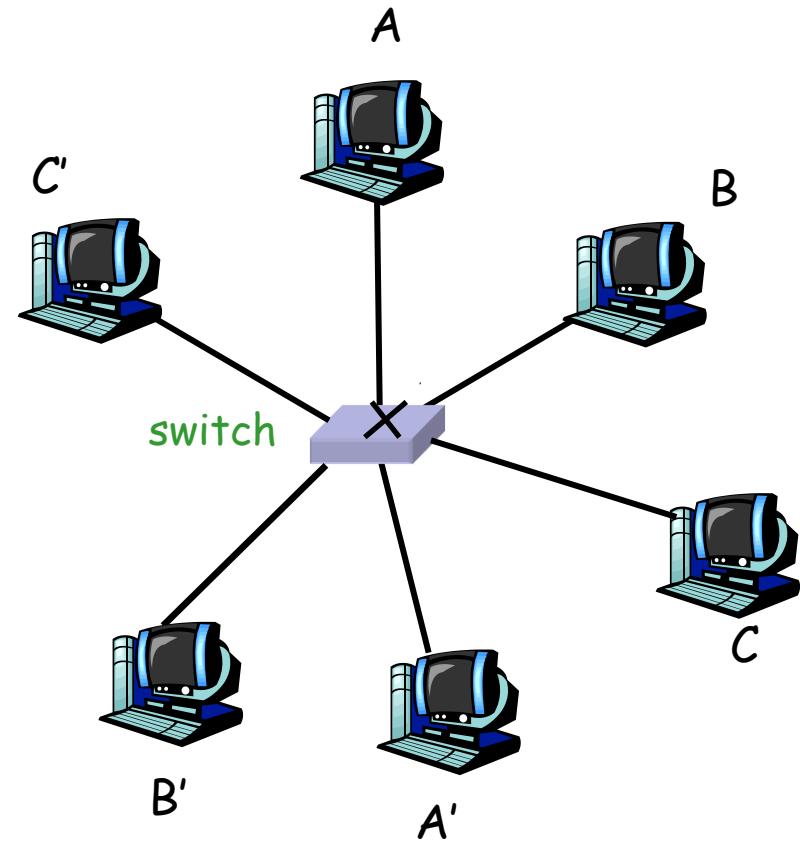


endereço	interface	tempo
A	1	9:30
B	1	9:31
E	2	9:42
G	3	9:50
...

- Supondo: nó C transmite um quadro destinado ao nó D
 - ao receber o quadro do nó C, o switch “aprende” a localização deste nó.
 - o switch não tem uma entrada para D na tabela de comutação.
 - o switch difunde o quadro em todas as suas saídas (exceto pela porta 1).
 - o quadro é recebido por D.
 - o quadro é ignorado pelos demais nós e LANs.
- As entradas na tabela de comutação tem um “aging time” e são descartadas após um dado intervalo de tempo, por exemplo, 60 min.

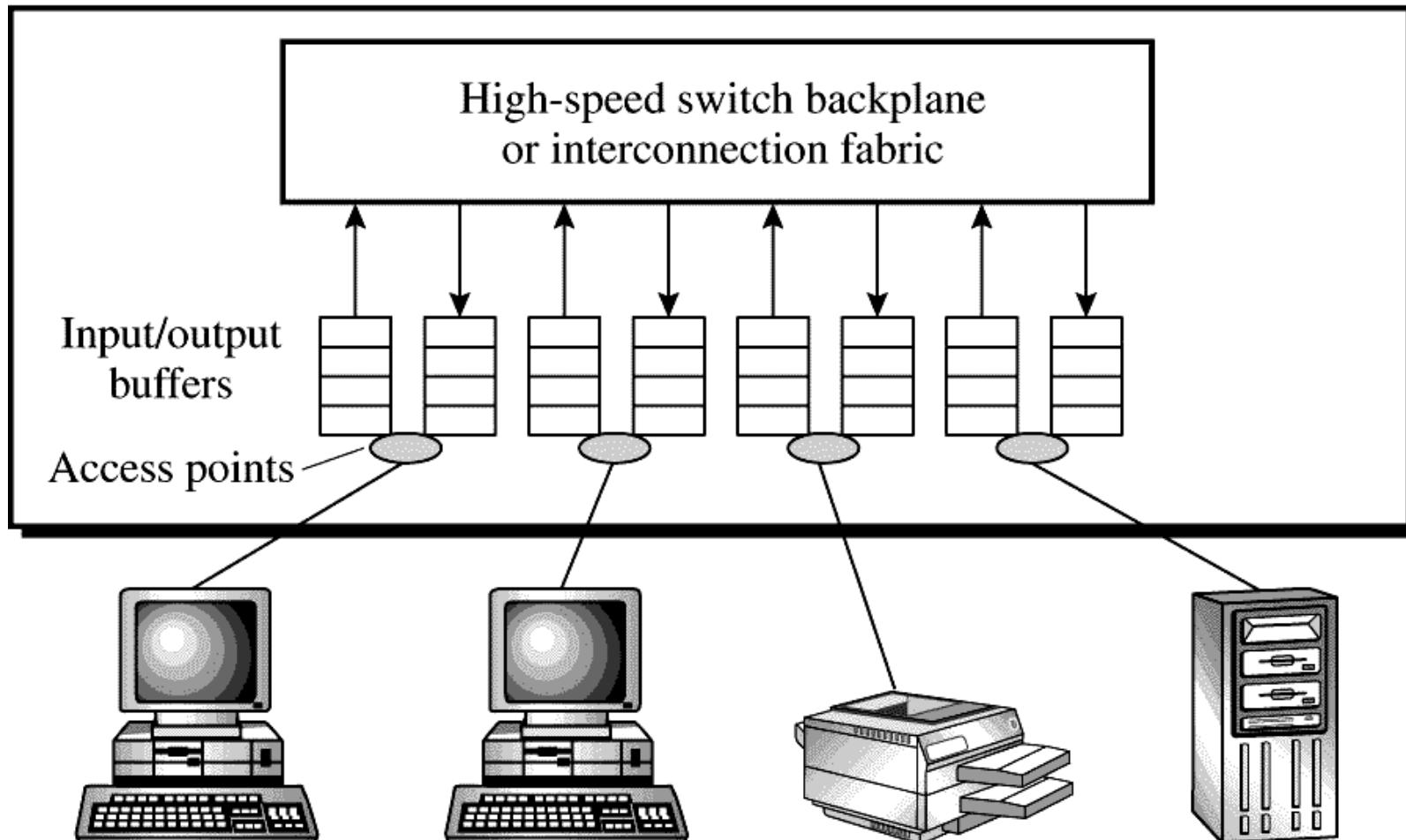
Switch: acesso dedicado

- Switch com muitas interfaces
- Hosts com ligação direta ao switch
- Podem funcionar no modo *full duplex*
- **Nunca haverá colisões!**
- Exemplo: comutação de A-para-B e de A'-para-B' simultaneamente e sem colisões!



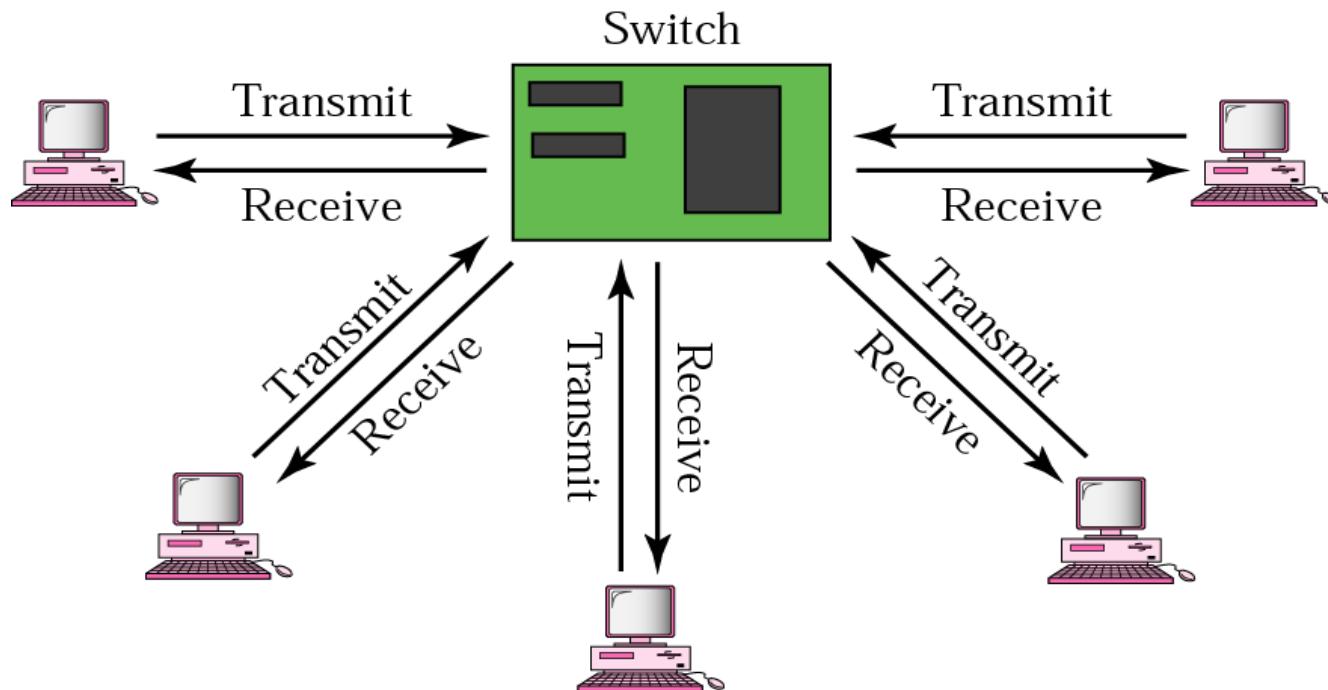
Switch Ethernet

Basic Ethernet Switch

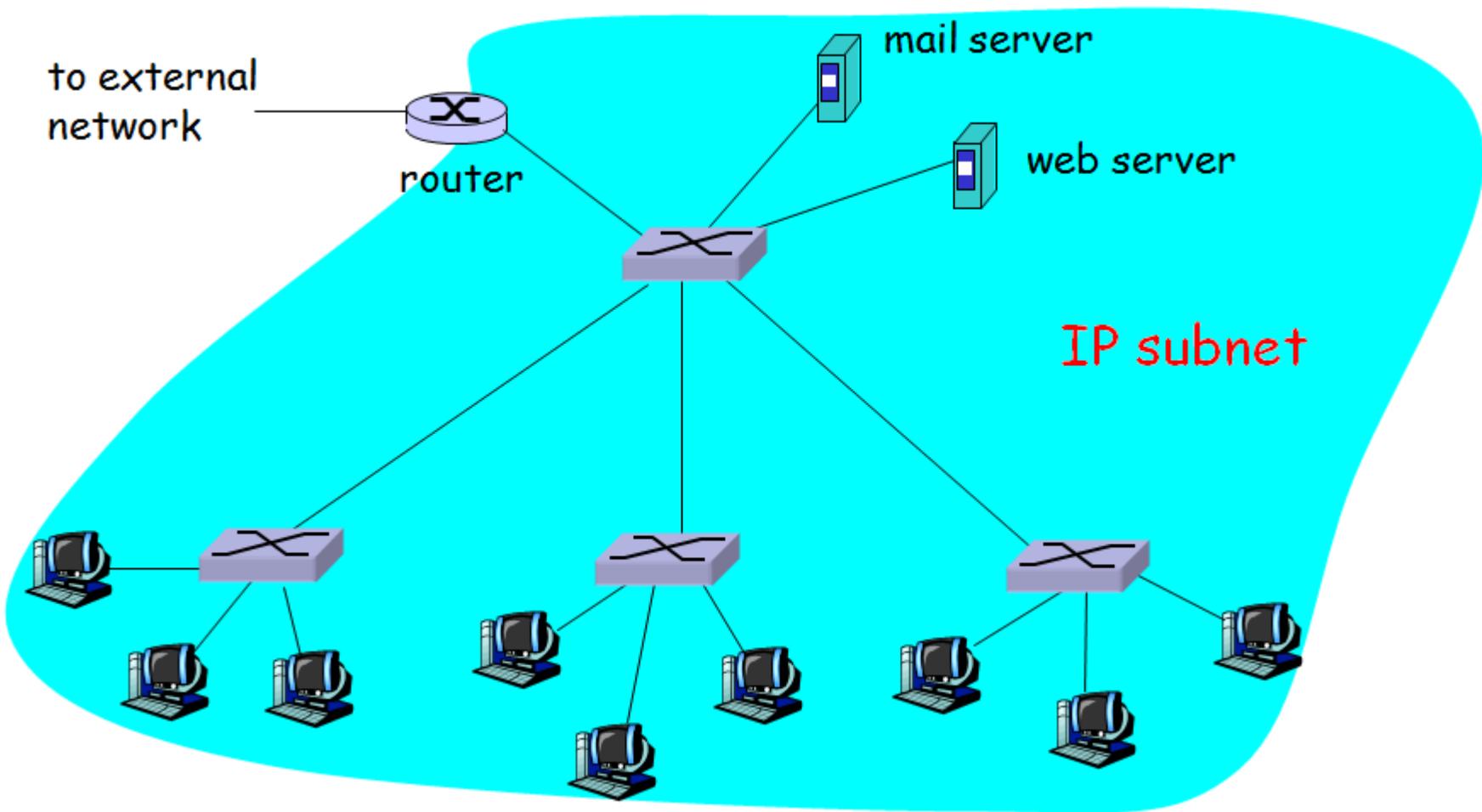


Switch Ethernet (cont.)

- Alguns switches Ethernet suportam *cut-through switching*:
 - o quadro recebido é repassado imediatamente ao destino.
 - pode reduzir o atraso fim a fim do quadro.
- Switches Ethernet estão disponíveis em várias combinações de interfaces de 10Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps e 10 Gbps.



Exemplo: rede corporativa

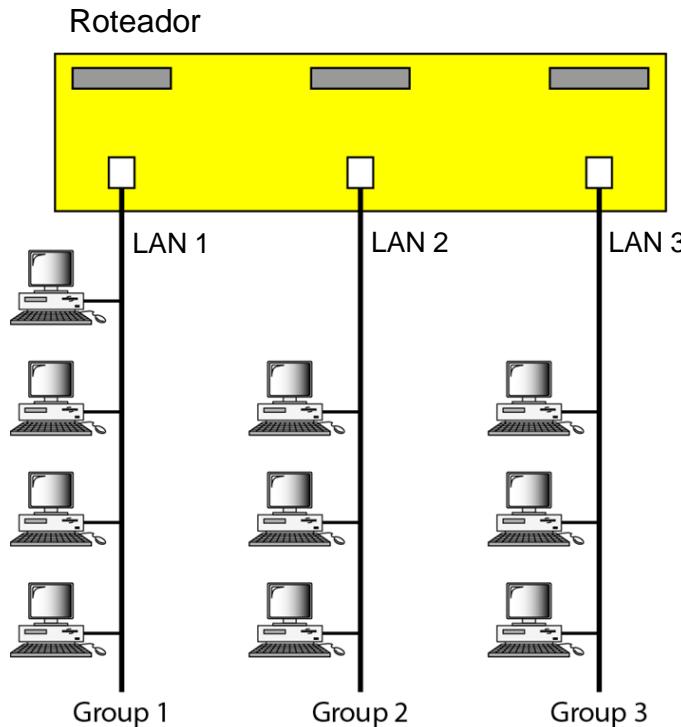


Comparação

	<u>hubs</u>	<u>roteadores</u>	<u>switches</u>
isolação de tráfego	não	sim	sim
plug & play	sim	não	sim
roteamento ótimo	não	sim	não
cut-through	sim	não	sim

VLANs (Virtual Local Area Networks)

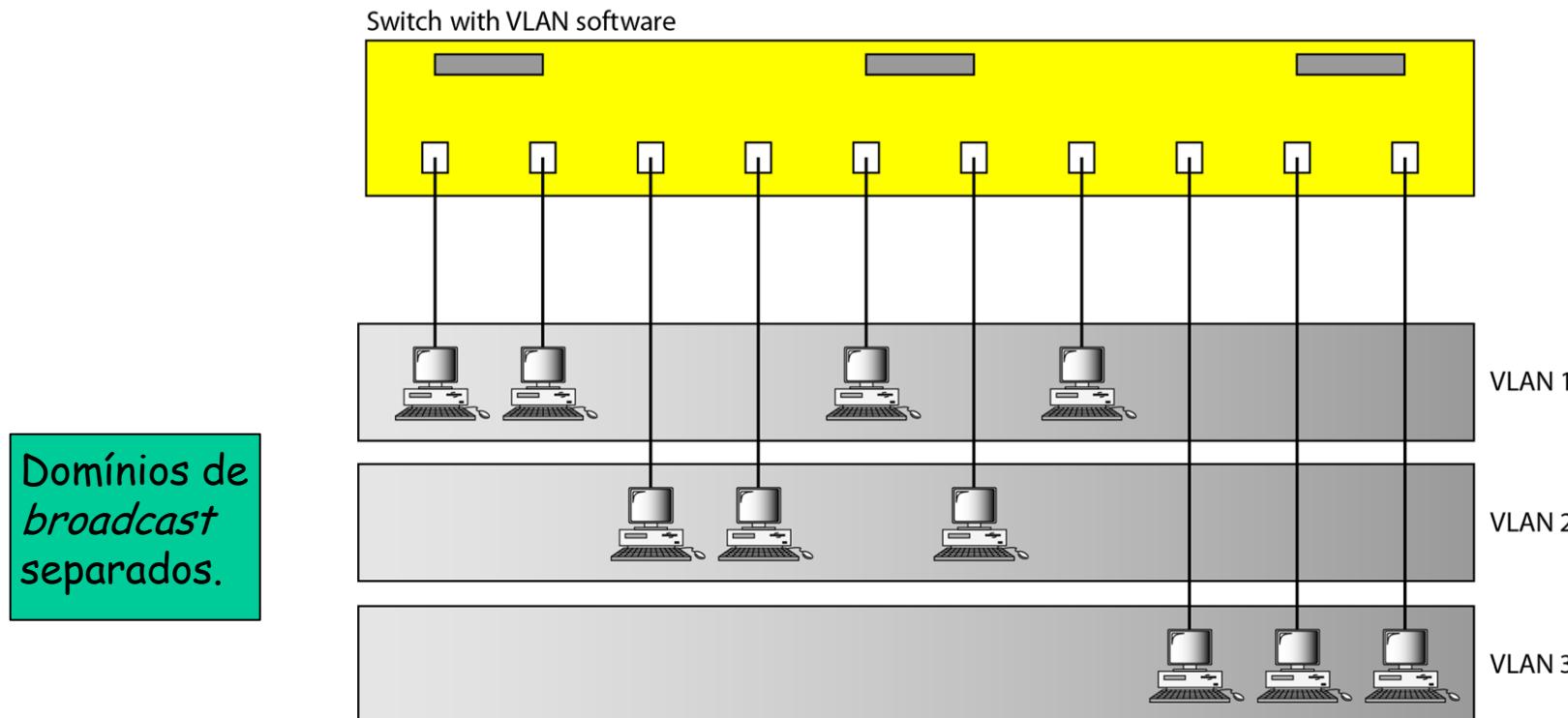
- ❑ Motivação para o uso de VLANs
- ❑ Exemplo: Empresa de engenharia com três grupos de trabalho



Mudanças de grupo de trabalho significam mudanças físicas na configuração da rede.

VLANs (Virtual Local Area Networks)

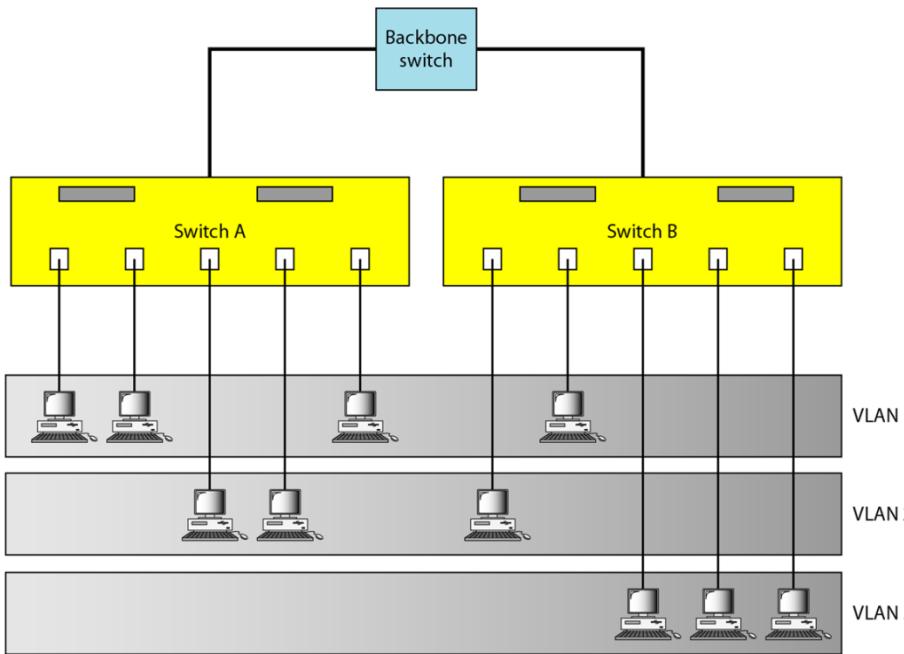
- ❑ VLAN (ou Rede Local Virtual) \approx uma LAN configurada por software em vez de fiação física (independência da topologia física).
- ❑ Exemplo: Empresa de engenharia com três grupos de trabalho utilizando switch com software VLAN
 - Se um engenheiro for transferido de um grupo de trabalho para outro, não há necessidade de alterar a configuração física



VLANs (Virtual Local Area Networks)

- A tecnologia VLAN também permite o agrupamento de estações conectadas a switches com software VLAN distintos.

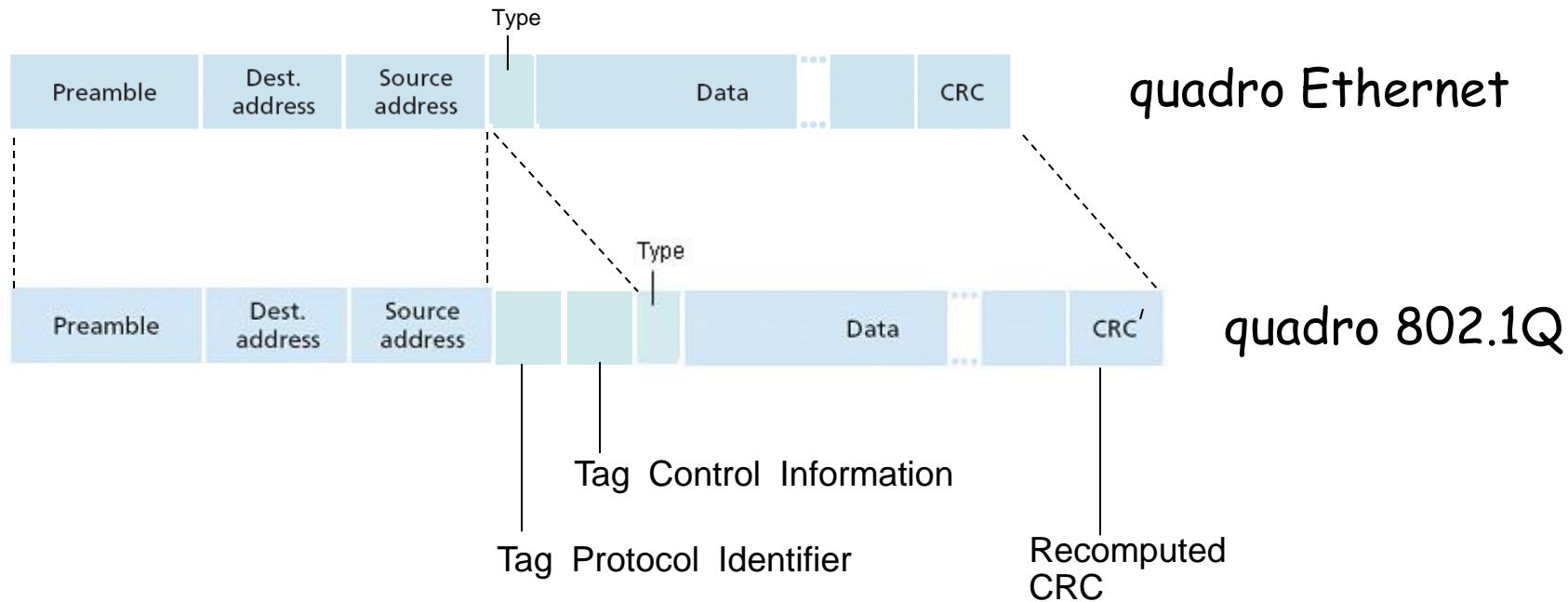
Exemplo:



- As VLANs agrupam estações pertencentes a uma ou mais LANs físicas em **domínios de broadcast** comuns
- As estações em uma VLAN se comunicam entre si como se pertencessem a um mesmo segmento de LAN física

VLANs (Virtual Local Area Networks):

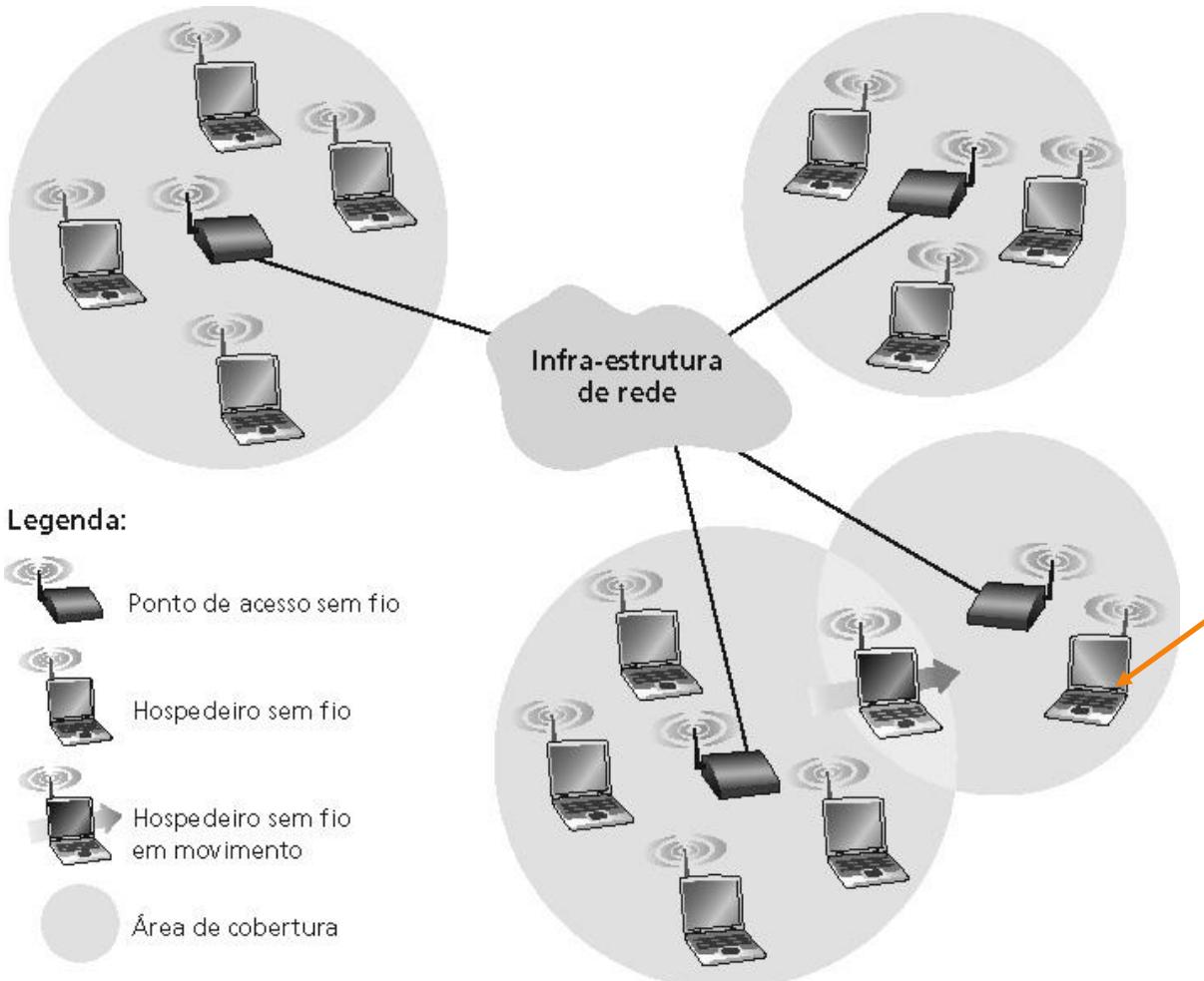
- Padrão IEEE 802.1Q define o formato de quadro VLAN:



VLANs - Vantagens:

- Redução de custos e de tempo de reconfiguração
- Criação de grupos de trabalho virtuais
 - Independentes da topologia física da rede
- Controle do tráfego de *broadcast*
 - Permite domínios de *broadcast* menores
- Segurança
 - VLANs limitam o tráfego a domínios específicos

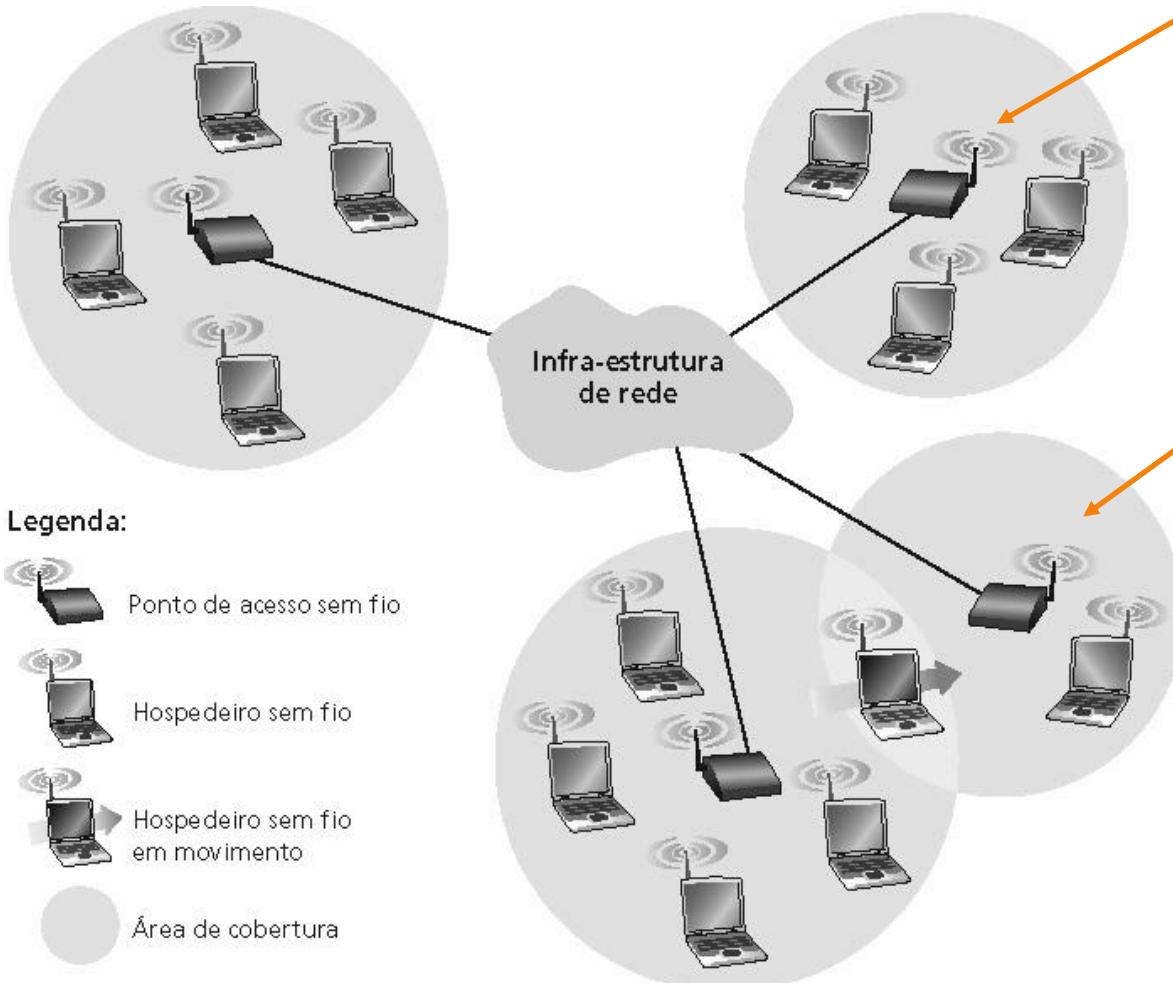
Rede sem fio (wireless network): elementos



Hospedeiros sem fio

- *Laptop, PDA, IP phone etc.*
- Executam aplicações
- Podem ser fixos ou móveis
 - “sem fio” nem sempre significa mobilidade

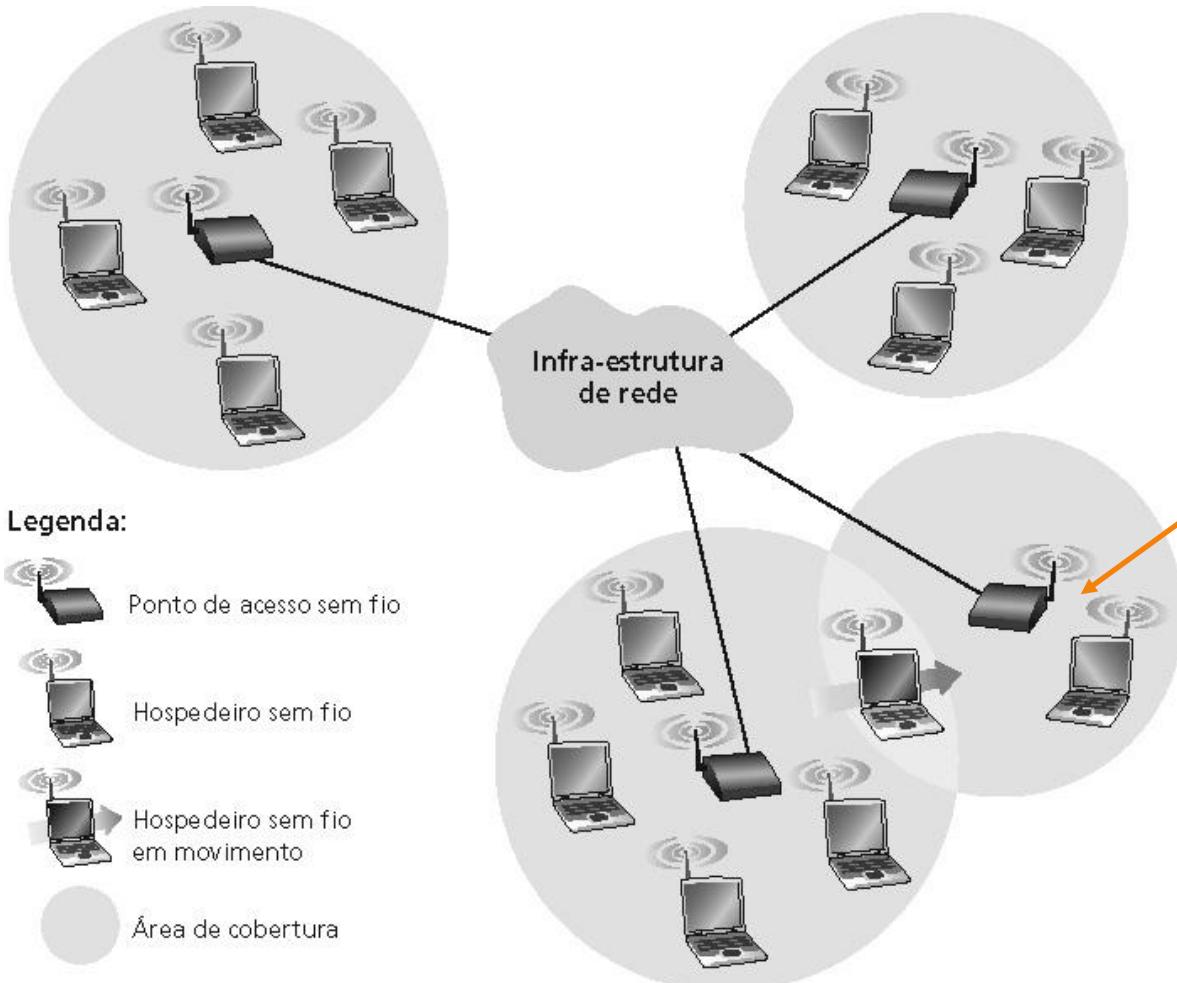
Rede sem fio (wireless network): elementos



Estação-base

- Tipicamente se conecta à rede cabeada
- Responsável pelo envio / recebimento de pacotes entre a rede cabeada e os hospedeiros sem fio na sua "área"
 - ex.: pontos de acesso em WLANs 802.11

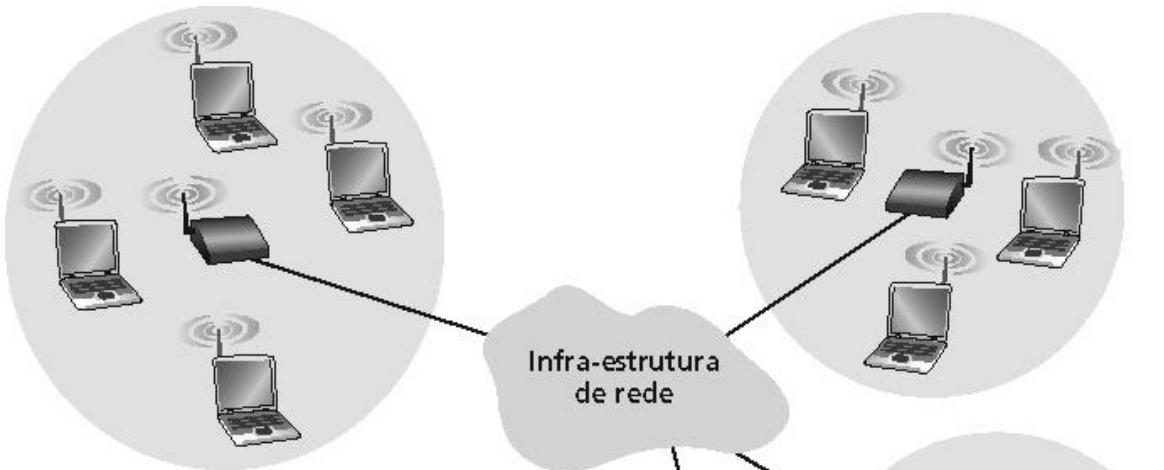
Rede sem fio (wireless network): elementos



Enlace sem fio

- Tipicamente usado para conectar os hospedeiros móveis à estação-base
- Também usado como enlace de rede backbone
- Protocolo de acesso múltiplo coordena o acesso ao enlace sem fio
- Várias taxas de dados e distâncias de transmissão

Rede sem fio (wireless network): modos de operação

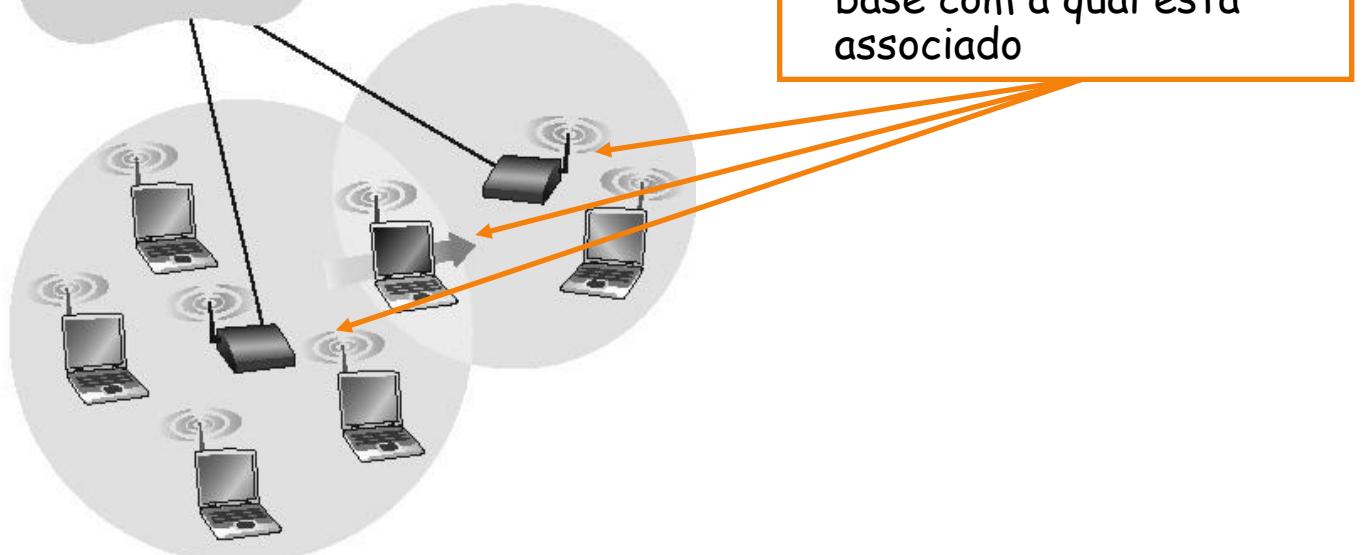


Legenda:

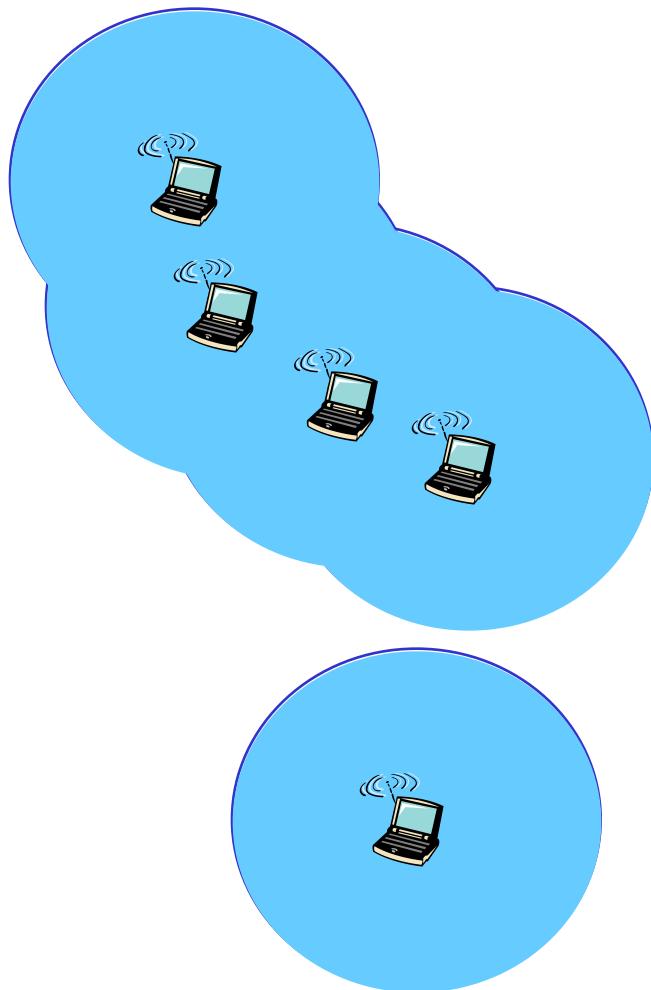
-  Ponto de acesso sem fio
-  Hospedeiro sem fio
-  Hospedeiro sem fio em movimento
-  Área de cobertura

Modo infraestrutura

- Os hospedeiros sem fio estão associados a uma estação-base
- *Handoff*: hospedeiro móvel muda a estação-base com a qual está associado



Rede sem fio (wireless network): modos de operação



Modo Ad hoc

- Não há estações-base
- Os nós podem transmitir somente para outros nós dentro do alcance do enlace sem fio
- Os nós se organizam numa rede: roteiam entre eles próprios

Características do enlace sem fio

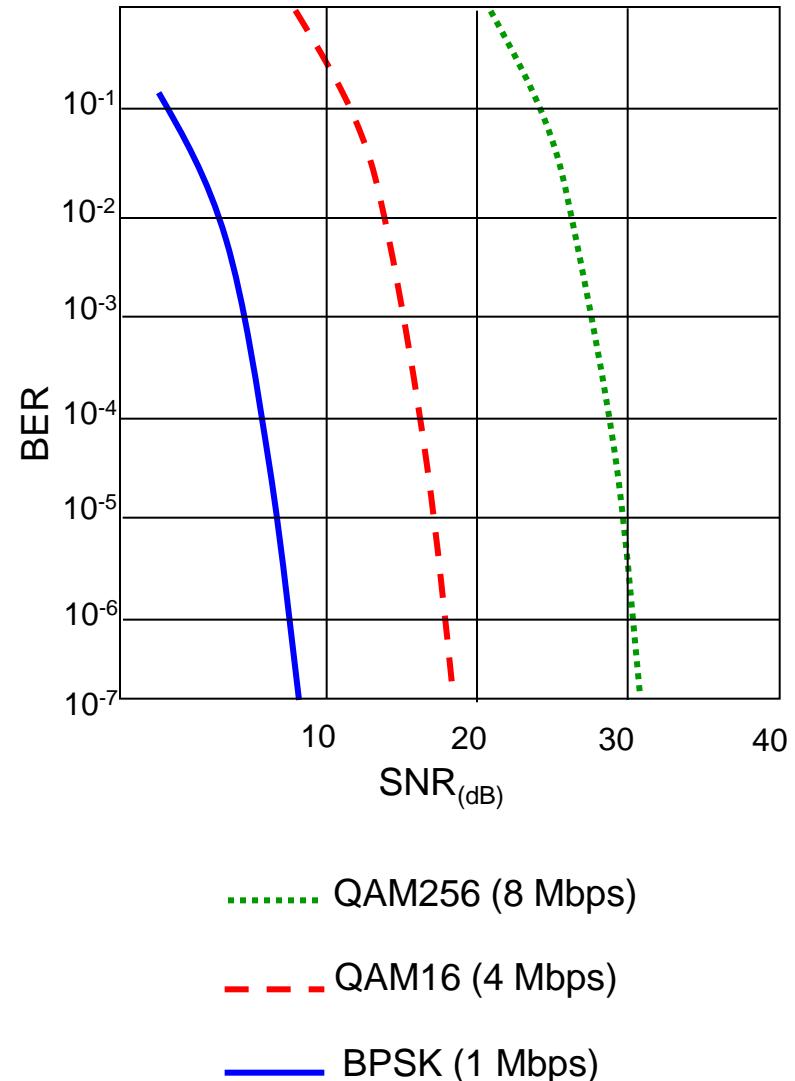
Diferenças do enlace cabeado...

- **Intensidade reduzida de sinal:** os sinais de rádio sofrem atenuação à medida que se propagam no meio físico (atenuação de percurso)
- **Interferência de outras fontes:** as frequências padronizadas para redes sem fio (ex.: 2,4 GHz) são compartilhadas por outros equipamentos (ex., telefone sem fio); o ruído eletromagnético presente no ambiente (motores, equipamentos de micro-ondas, etc. que produzem interferência)
- **Propagação por múltiplos caminhos:** o sinal de rádio se reflete no solo e em objetos. O sinal principal e os refletidos chegam ao destino em instantes ligeiramente diferentes (IES). Desvanecimento de Rayleigh

... tornam a comunicação através de enlaces sem fio (mesmo no caso ponto-a-ponto) muito mais "difícil"

SNR, Taxa de erro de bit (BER) e Taxa de transmissão

- SNR: relação sinal-ruído
 - Medida relativa da potência de sinal recebido e de ruído
- ***SNR versus BER***
 - Se aumenta a potência de sinal recebido -> aumenta SNR -> diminui BER (*Bit Error Ratio*)
 - A técnica de modulação utilizada na camada física é selecionada em função da SNR disponível
 - Adapta dinamicamente a camada física (técnica de modulação, taxa) às condições do canal



LANs sem fio IEEE 802.11

802.11b

- 2,401 - 2,485 GHz
- até 11 Mbps
- DSSS (direct sequence spread spectrum) na camada física
 - todos os nós usam o mesmo "chip code"

OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*): é semelhante ao FDM, porém, todas as subfaixas são usadas simultaneamente por um mesmo nó, em um dado instante.

802.11a

- 5,7 - 5,8 GHz
- até 54 Mbps
- OFDM

802.11g

- 2,401 - 2,485 GHz
- até 54 Mbps
- OFDM

802.11n

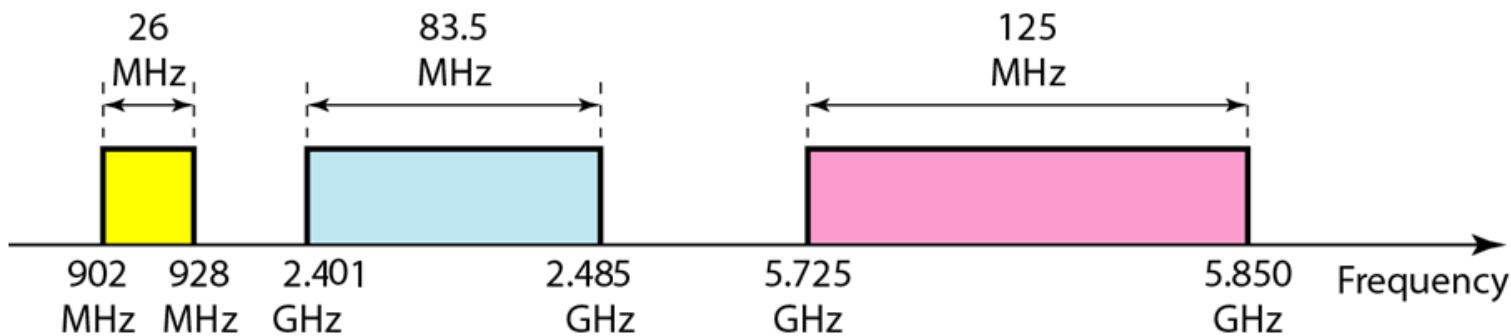
- 2,401 - 2,485 GHz
- até 200 Mbps
- OFDM
- MIMO



-
- Todas as implementações usam CSMA/CA
 - Todas têm versões modo ad-hoc e modo infraestrutura

LANs sem fio IEEE 802.11

- Faixas de frequências ISM (Industrial, Scientific and Medical)



IEEE 802.11 - camada física

□ DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*):

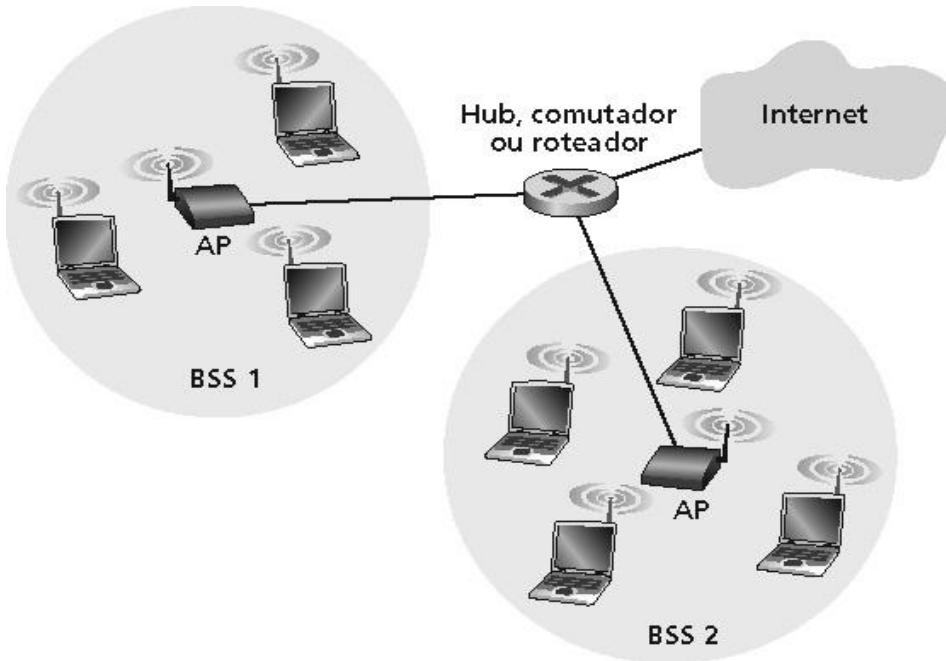
Chip code for 0: 110011



Chip code for 1: 000111

110011 110011 000111 000111 110011 

A Arquitetura 802.11



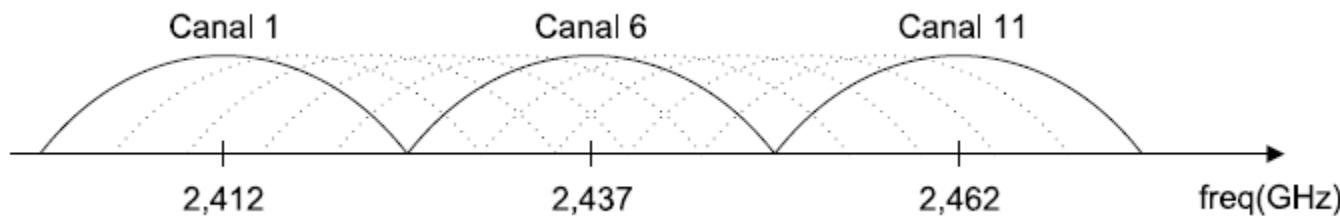
- **BSS (Basic Service Set)** (ou "célula") é o bloco construtivo fundamental.
- No modo **infraestrutura**, contém:
 - hospedeiros sem fio
 - AP (Access Point) = estação-base
- No modo **ad hoc**, a BSS contém somente hospedeiros sem fio

IEEE 802.11: canais e associação

- ❑ O padrão IEEE 802.11b define a faixa de 2,401 GHz a 2,473 GHz e a divide em 11 canais de 22 MHz cada, que se sobrepõem parcialmente
 - o administrador do AP escolhe um canal para o AP
 - possível interferência com o canal de um AP vizinho!
 - dois canais não se sobrepõem se, e somente se, eles estiverem separados por quatro ou mais canais
- ❑ Para um nó sem fio se **associar** com um AP:
 - o nó faz uma varredura de canais, buscando **quadros de sinalização** (*beacon frames*) que contêm o **SSID** (*Service Set Identifier*) e o endereço MAC do AP
 - escolhe um AP para se associar
 - pode realizar, em seguida, a autenticação [capítulo 8]
 - usa tipicamente o DHCP para obter um endereço IP na sub-rede do AP

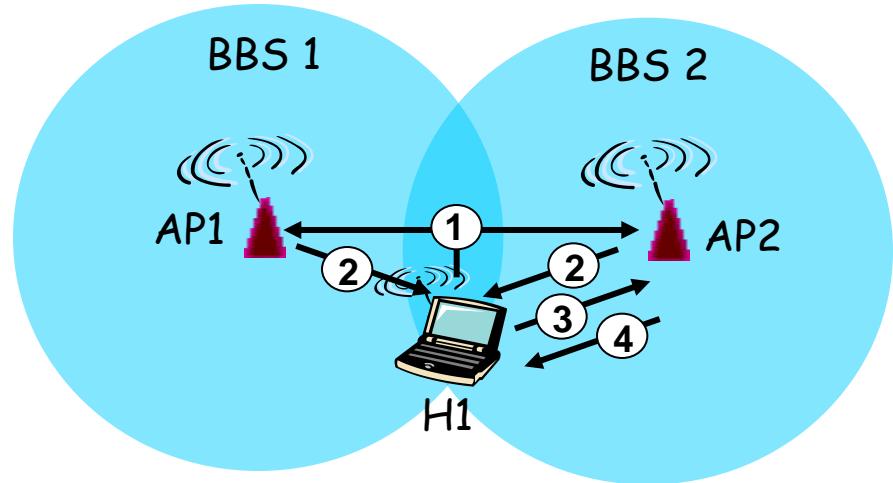
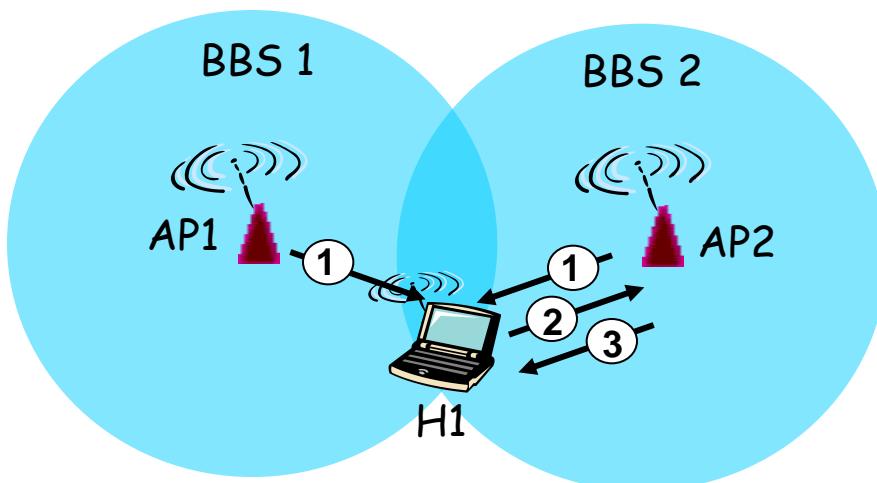
IEEE 802.11: canais e associação

- Único conjunto de três canais não sobrepostos:



Channel	Lower Frequency	Center Frequency	Upper Frequency
1	2.401	2.412	2.423
2	2.404	2.417	2.428
3	2.411	2.422	2.433
4	2.416	2.427	2.438
5	2.421	2.432	2.443
6	2.426	2.437	2.448
7	2.431	2.442	2.453
8	2.436	2.447	2.458
9	2.441	2.452	2.463
10	2.451	2.457	2.468
11	2.451	2.462	2.473

802.11: varredura passiva/ativa



Varredura passiva:

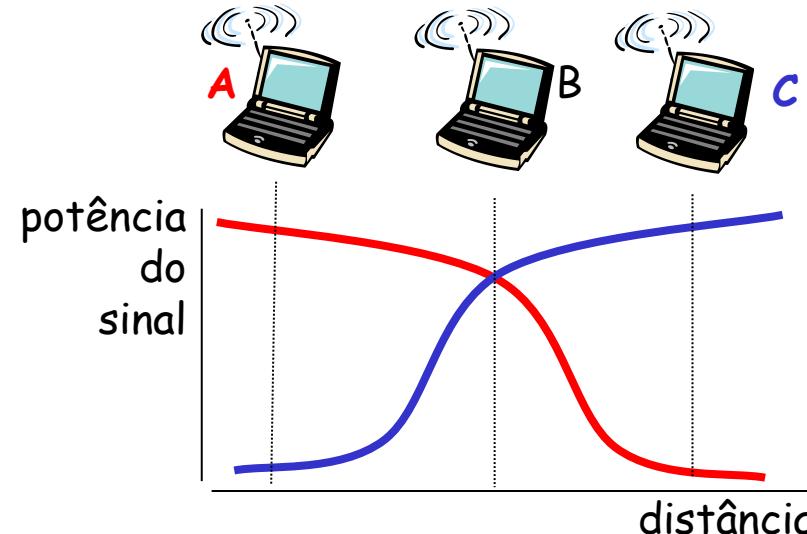
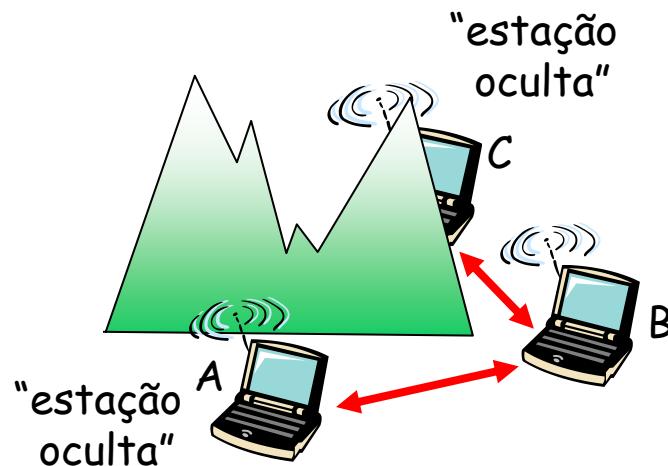
- (1) Quadros de sinalização (*beacon frames*) enviados pelos APs
- (2) Quadro de pedido de associação enviado por H1 para o AP selecionado
- (3) Quadro de resposta de associação enviado pelo AP selecionado para H1

Varredura ativa:

- (1) *Broadcast* de quadro de investigação feito por H1
- (2) Quadros de resposta de investigação enviados pelos APs
- (3) Quadro de pedido de associação enviado por H1 ao AP selecionado (AP2)
- (4) Quadro de resposta de associação enviado pelo AP selecionado (AP2) para H1

IEEE 802.11: protocolo de acesso múltiplo

- As WLANs não podem utilizar o CSMA/CD devido às dificuldades para implementar a detecção de colisão, bem como devido ao:
 - Efeito “estação oculta” causado por obstáculos
 - Desvanecimento do sinal ou *fading* causado pela distância entre estações
- As estações A e C não conseguem “ouvir” uma a outra e seus pacotes **colidem** na estação B
- Solução: protocolo **CSMA/CA** (CSMA with Collision Avoidance)
 - CSMA com **prevenção de colisão**
 - Usa ACKs na camada de enlace e “reserva” de acesso ao canal
 - Meta: reduzir a probabilidade de colisão de quadros longos



CSMA/CA: esquema de ACK / ARQ na camada de enlace

Remetente 802.11:

antes de iniciar a transmissão de um quadro, o remetente "ouve" o canal

(1) **Se permanecer ocioso** por **DIFS** (*Distributed Inter-Frame Space*) **então** o quadro inteiro é transmitido (sem detecção de colisão)

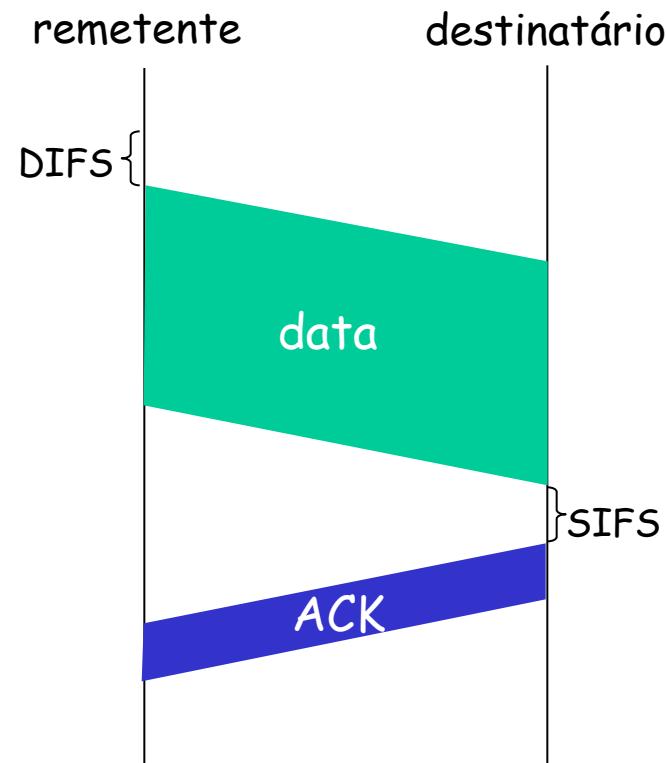
(2) **Se o canal é detectado ocupado, então**

- escolhe um valor aleatório de *backoff*
- inicia a contagem regressiva quando o canal ficar ocioso
- transmite quando o contador zerar.
Se não vem ACK, aumenta o intervalo aleatório de *backoff* e repete (2)

Destinatário 802.11:

Se o quadro é recebido OK, então

- envia o ACK após esperar por **SIFS** (*Short Inter-Frame Space*) segundos.
- Se o remetente não receber o ACK dentro de um dado intervalo de tempo, ele retransmitirá o quadro de dados.

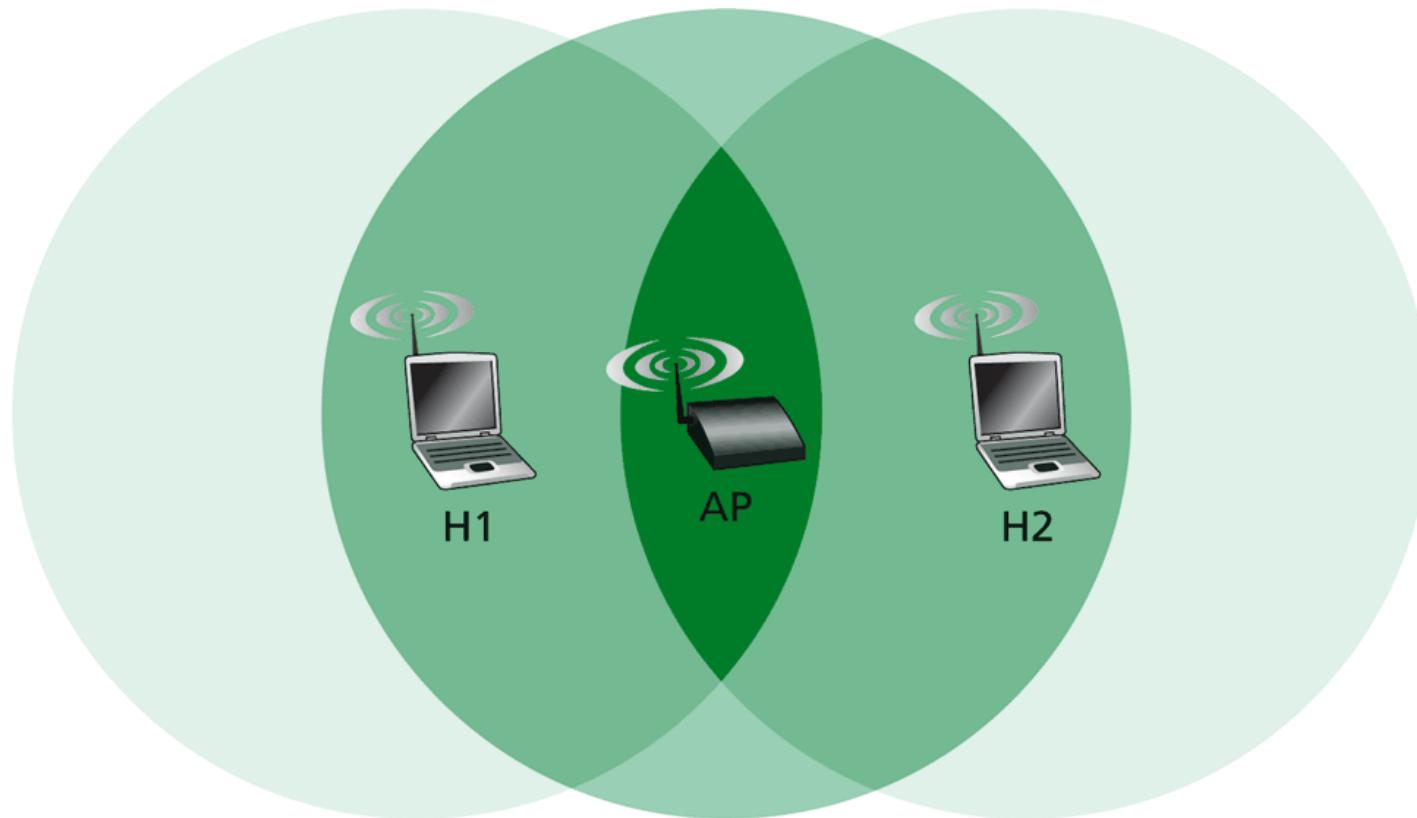


CSMA/CA: prevenção de colisão

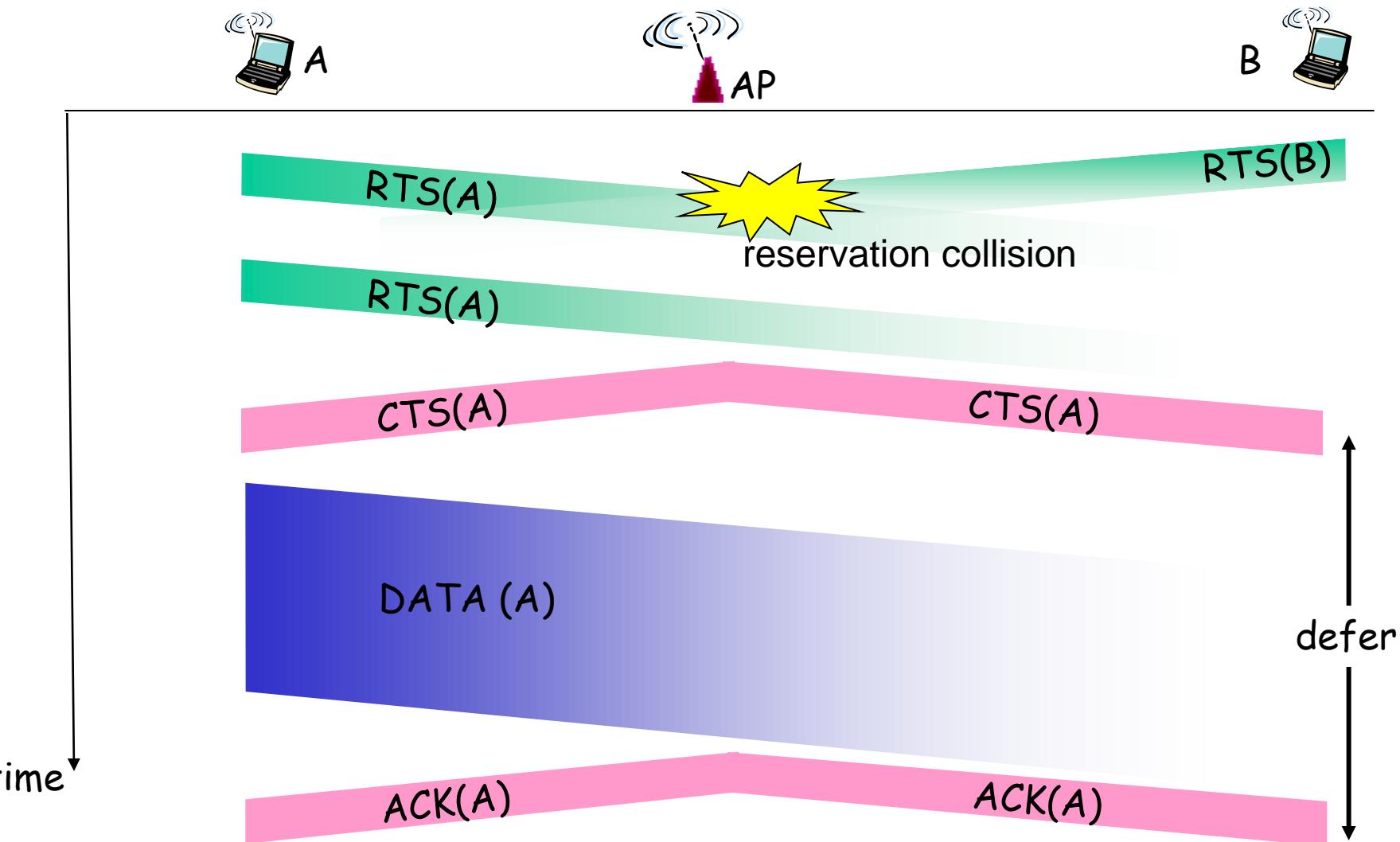
Idéia básica: na presença de estações ocultas, permitir ao nó remetente "reservar" o canal, ao contrário de acessá-lo aleatoriamente → evita a colisão de quadros longos

- O nó remetente faz, primeiramente, uma transmissão *broadcast* de um pequeno quadro de "reserva" chamado RTS (request-to-send)
 - o quadro RTS pode sofrer colisão, porém, ele é de curta duração
- O AP difunde (via *broadcast*) um quadro de controle CTS (clear-to-send) em resposta ao quadro RTS recebido
- O CTS é recebido por todos os nós ativos
 - somente o nó que gerou o RTS transmitido com sucesso pode enviar o quadro de dados
 - os outros nós adiam suas transmissões pelo tempo especificado no quadro CTS

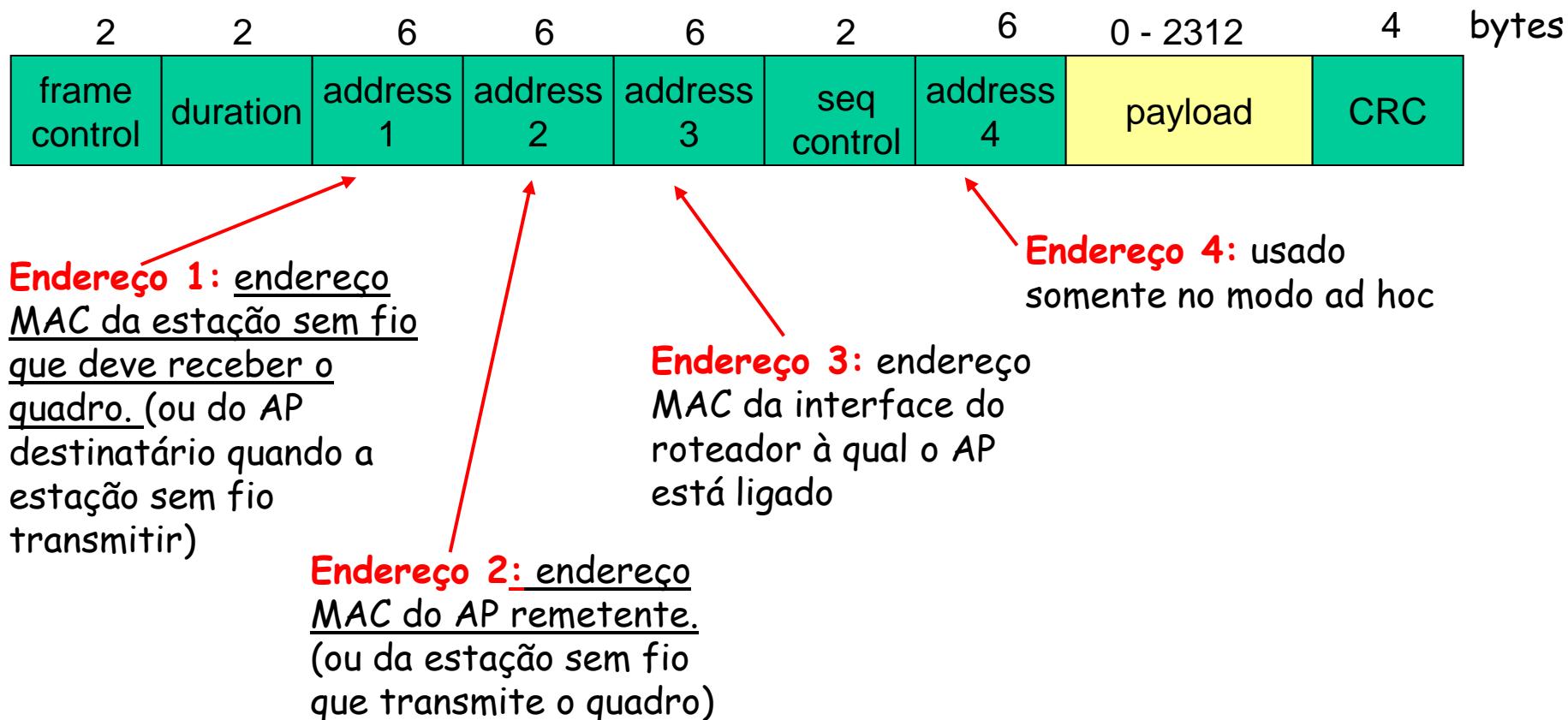
CSMA/CA: prevenção de colisão



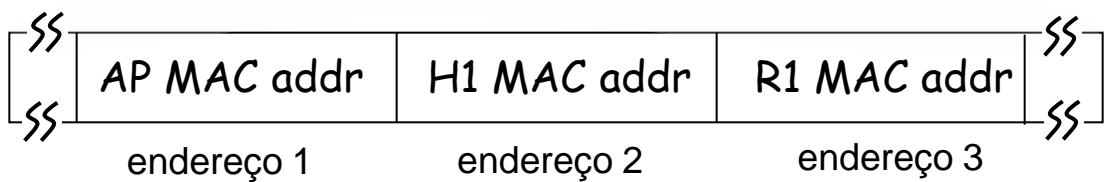
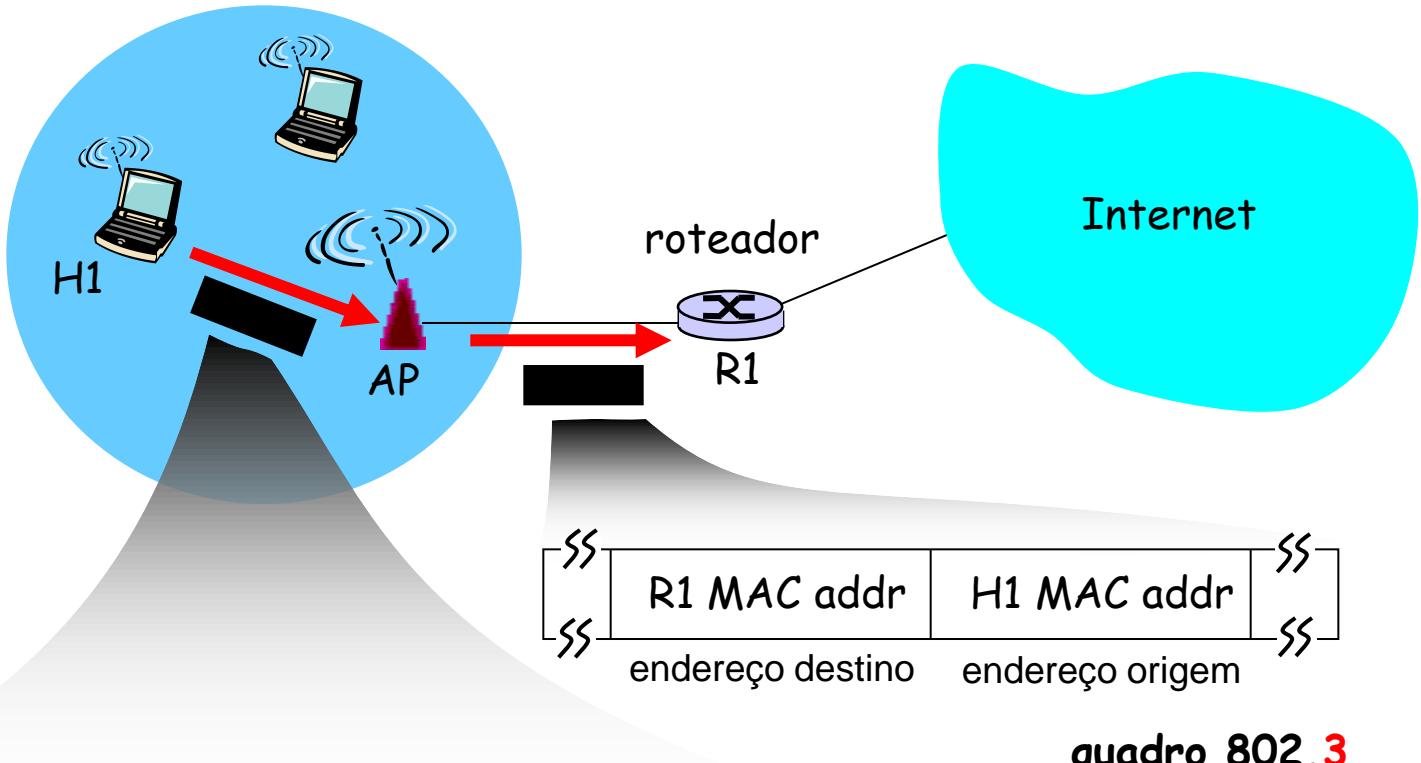
Prevenção de colisão usando quadros RTS e CTS



Quadro IEEE 802.11: endereçamento

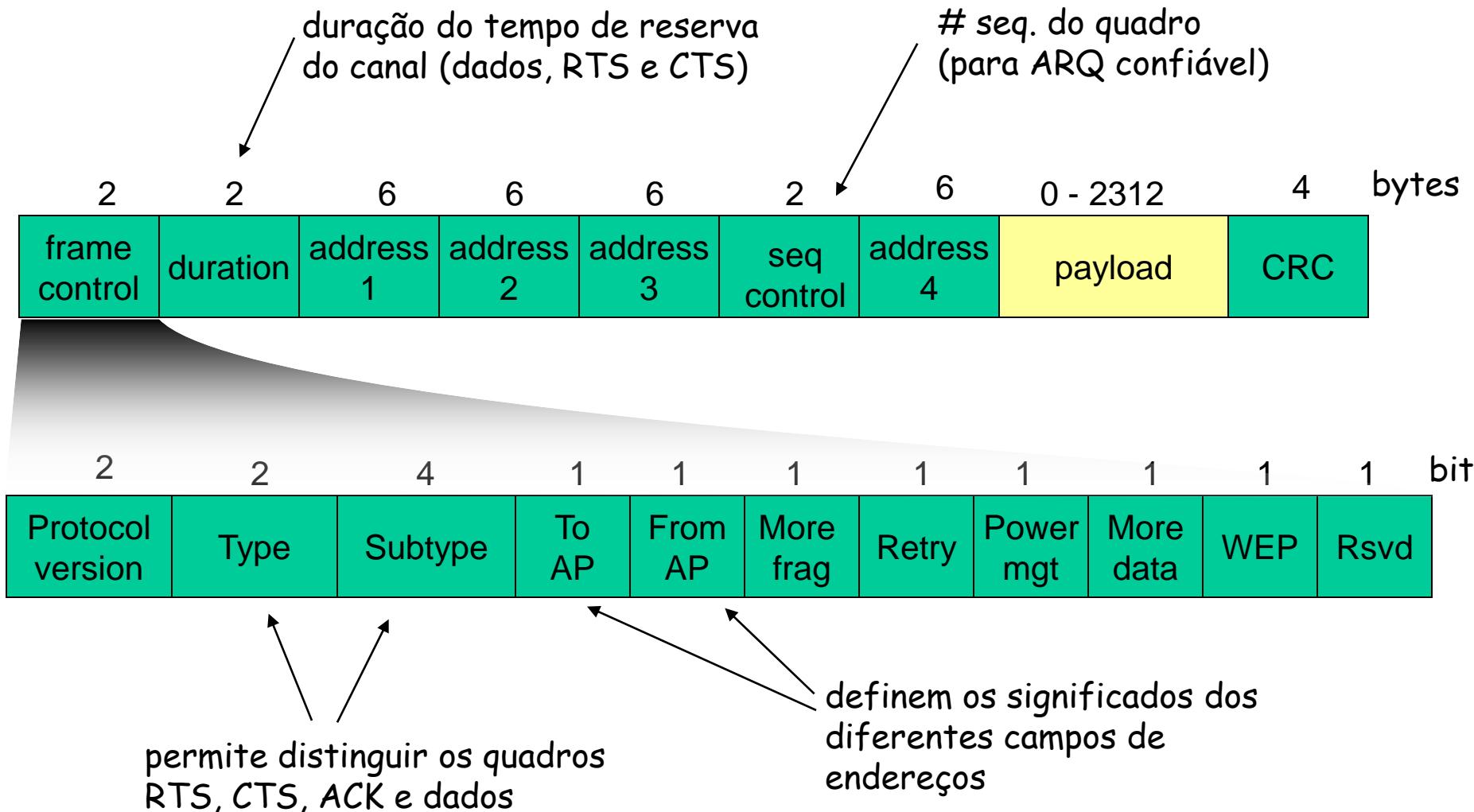


Quadro IEEE 802.11: endereçamento - exemplo



quadro 802.11

Quadro IEEE 802.11: campo de controle



Protocolo Ponto-a-Ponto (PPP)

- PPP (*Point to Point Protocol*) é muito popular: usado em conexões discadas (*dialup*) entre PCs domésticos e ISPs; tb. usado sobre enlaces SONET/SDH etc.
- Protocolo do nível de enlace para operar sobre enlaces ponto a ponto (não requer controle de acesso ao meio)
- Existem vários protocolos de enlace de dados: PPP, HDLC, SDLC etc.

Requisitos a serem atendidos pelo PPP [RFC 1547]

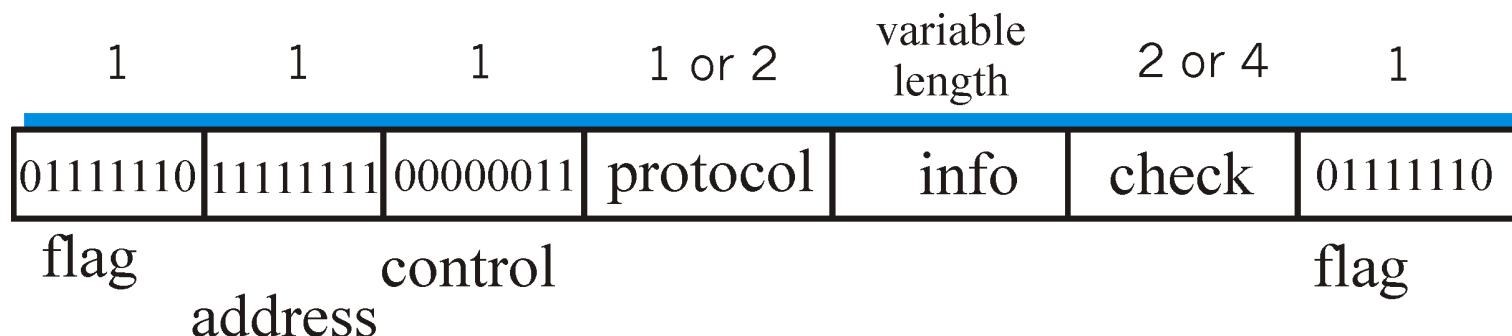
- montagem de quadros: encapsulamento de pacotes
- transparência de bits: deve possibilitar o transporte de qualquer padrão de bits no campo de dados
- detecção de erros (porém, sem correção)
- suporte para múltiplos protocolos da camada de rede
- manutenção da conexão: capacidade de detectar falhas no enlace
- capacidade de negociação do endereço da camada de rede
- simplicidade

Serviços não providos pelo PPP

- correção de erros
- controle de fluxo
- sequenciamento
- enlace multiponto

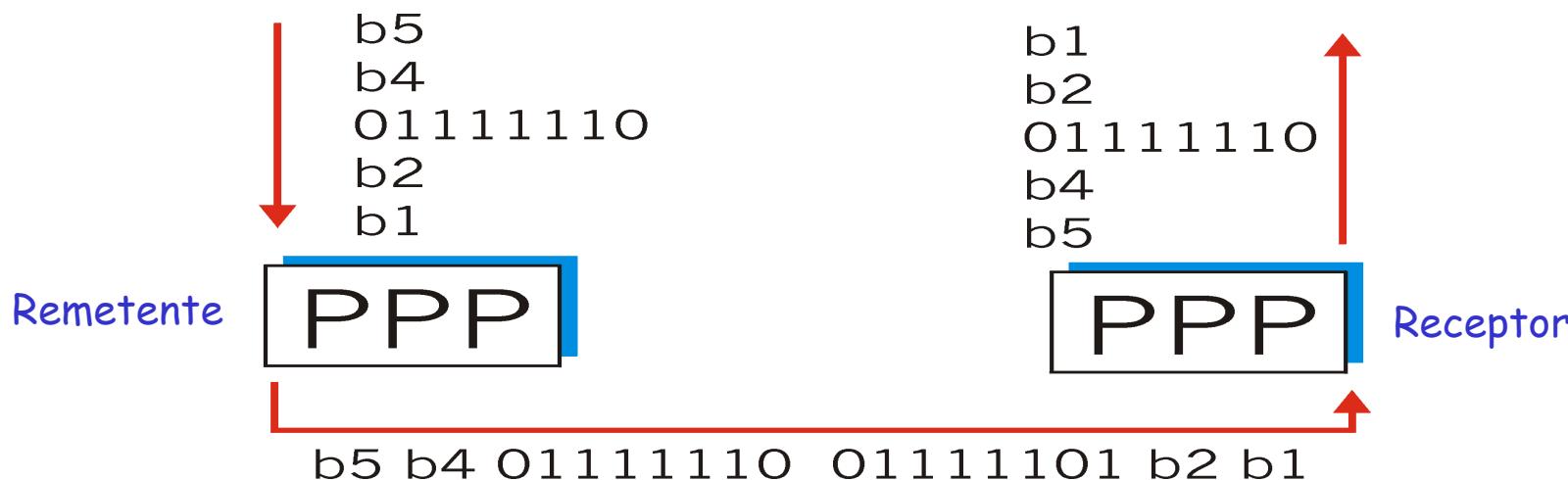
Quadro de dados PPP

- **flag**: delimitador de quadro (01111110)
- **endereço (address)**: o único valor possível é 11111111
- **controle**: atualmente não tem uso; no futuro possivelmente haverá múltiplos campos de controle.
- **protocolo**: diz ao receptor PPP a qual protocolo da camada superior pertencem os dados encapsulados recebidos (p.ex, PPP-LCP, IP, IPCP, AppleTalk, DECnet, etc.)
- **info**: pacote encapsulado (dados)
- **check**: detecção de erros de bits



Transparência dos Dados

- **transparência dos dados** : o campo de dados deve poder incluir o padrão 0111110 e não ser interpretado como um *flag*
- **Remetente:**
 - se 0111110 aparecer fora dos campos de *flag*, então a sequência 01111101 precederá cada **byte de dados** 0111110 (*byte stuffing*).
- **Receptor:**
 - todo byte 01111101 seguinte a um 01111110 será removido.
 - um byte único 01111110 será interpretado como *flag*.

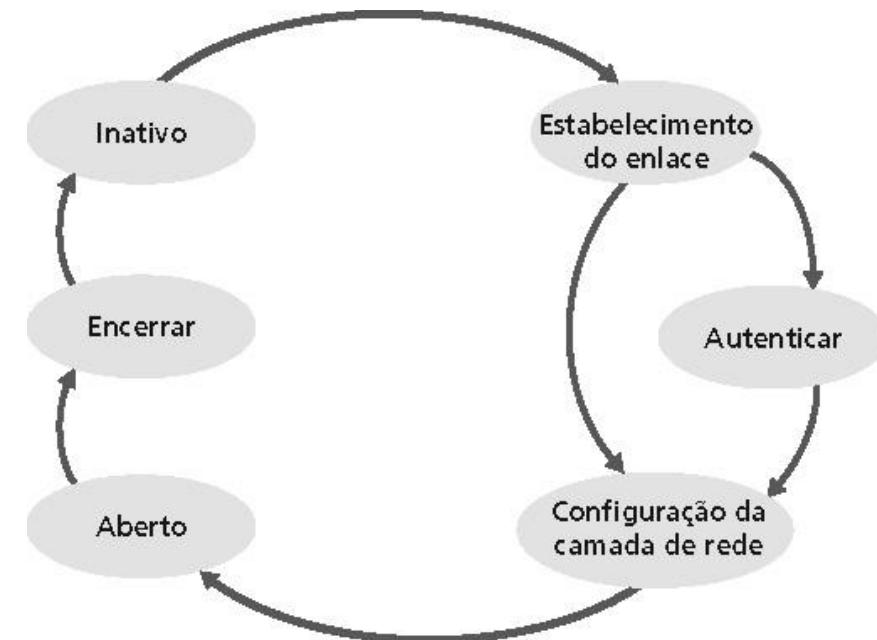


Protocolos de Controle de Enlace (LCP) e de Controle de Rede (NCP) do PPP

Antes de iniciar a transferência de dados, o PPP deve:

- **configurar o enlace PPP:**
 - o LCP (*Link Control Protocol*) estabelece, mantém, faz indicação de erro e o encerramento do enlace PPP
 - negocia opções (compr. máx. do quadro, autenticação etc.)

- **configurar o nível de rede:**
 - para o IP: usa-se o IPCP (*IP Control Protocol*) para configurar os módulos IP nas extremidades do enlace.

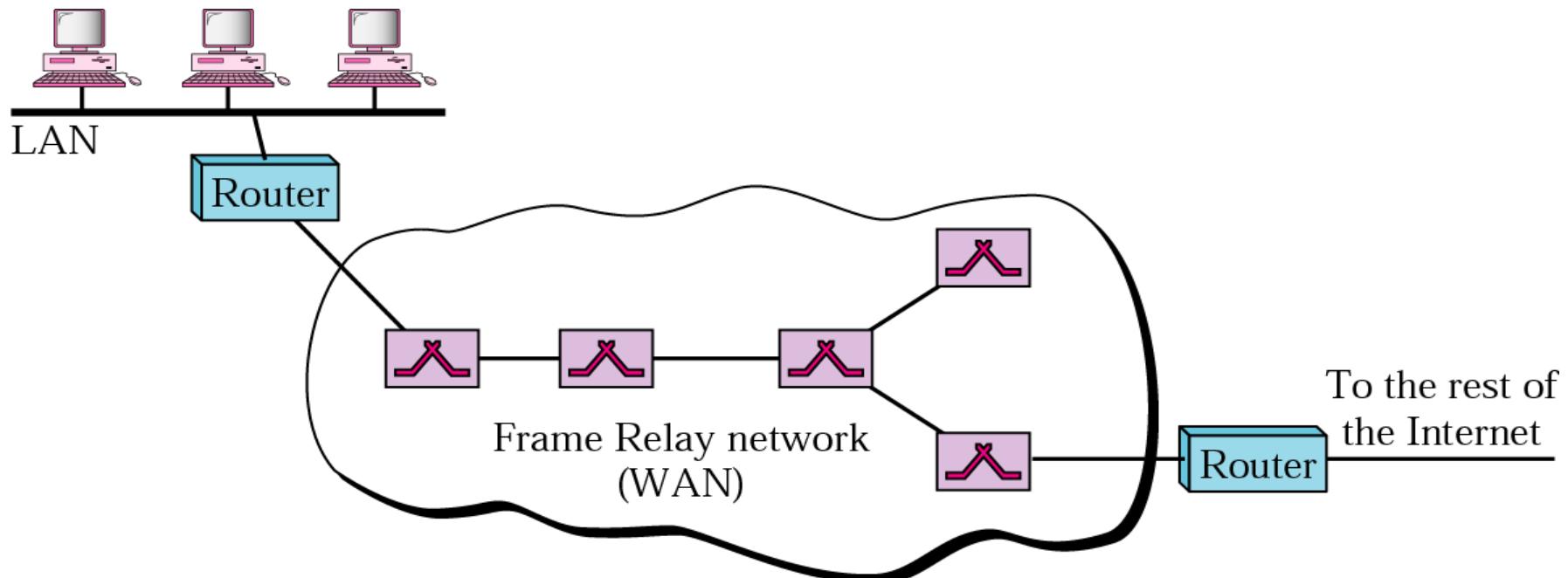


Virtualização de Enlace: uma rede como camada de enlace

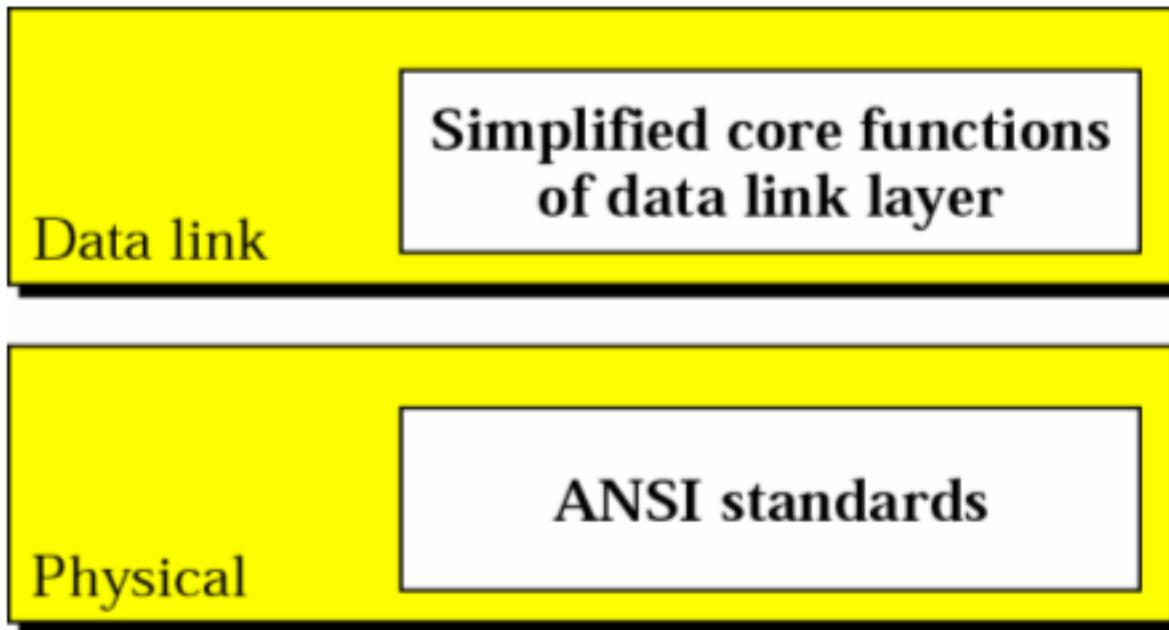
- A camada de rede (IP) torna tudo homogêneo
 - lembre-se da analogia com um sistema de transporte
- Da perspectiva da Internet, todas as tecnologias subjacentes à camada de rede são tecnologias de camada de enlace
 - enlaces de cabos metálicos e de fibra óptica
 - enlaces sem fio (microondas) e de satélite
 - Frame Relay
 - ATM e MPLS

Redes Frame Relay

- ❑ tecnologia para WANs (*Wide Area Networks*).
- ❑ orientação a VCs (*Virtual Circuits*).
- ❑ origem: telefonia.
- ❑ pode ser usado para transportar datagramas IP.
 - nível de enlace para o IP.



Camadas Frame Relay



American National Standards Institute (ANSI)

Redes ATM

Internet:

- ❑ Hoje é o padrão mundial *de facto* para redes de dados

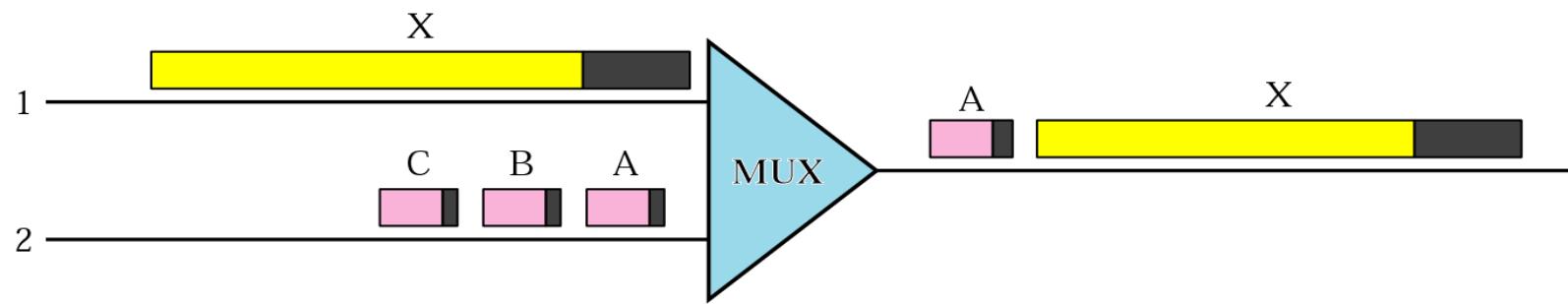
Final dos anos 80:

- ❑ ATM (*Asynchronous Transfer Mode*): padrão de rede para serviços integrados (voz, dados, vídeo etc.) em alta velocidade (RDSI-FL)
- ❑ Padronização:
 - ATM Forum
 - ITU-T

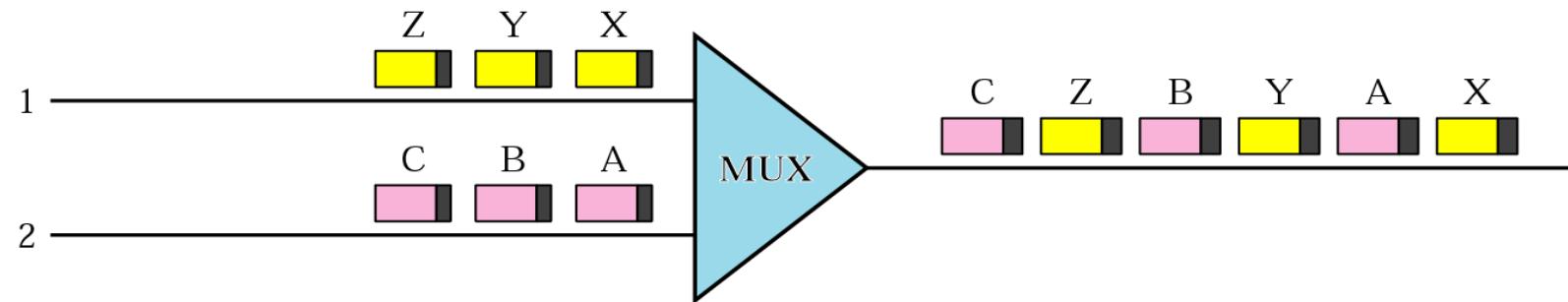
Princípios de ATM:

- ❑ Pacotes de tamanho fixo e reduzido: **células**
 - tamanho fixo: comutação rápida de pacotes
 - tamanho pequeno: bom para voz
- ❑ Rede de VPs (*Virtual Paths*) e VCs (*Virtual Channels*):
 - switches ATM mantêm "estado" para cada "chamada"
- ❑ Interface bem definida entre a "rede" e o "usuário": UNI (*User Network Interface*)

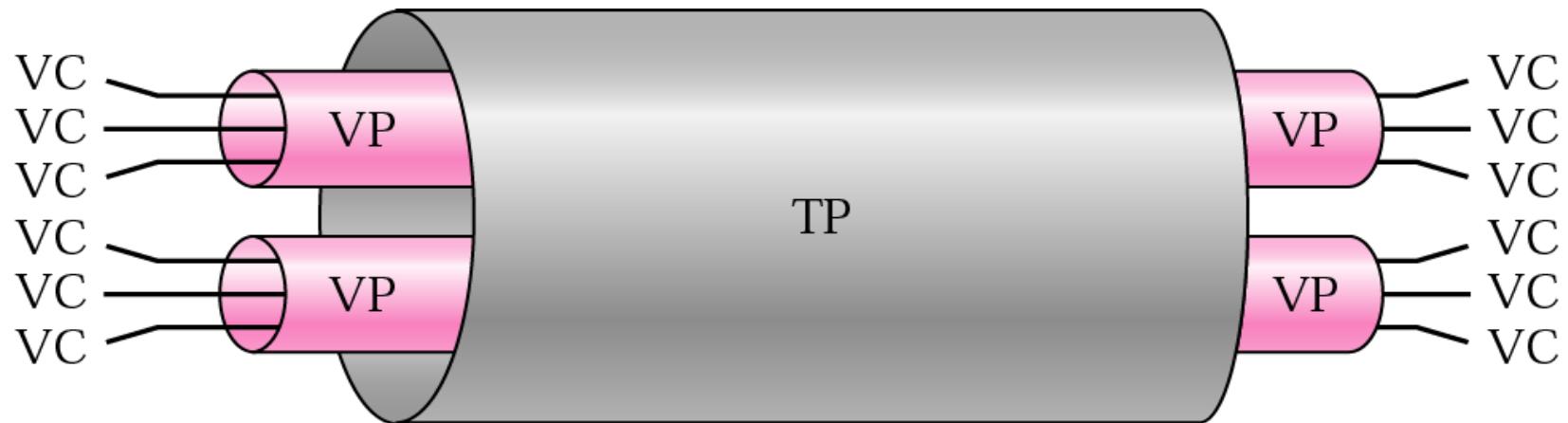
Multiplexação de quadros de tamanhos diferentes:



Multiplexação de células:

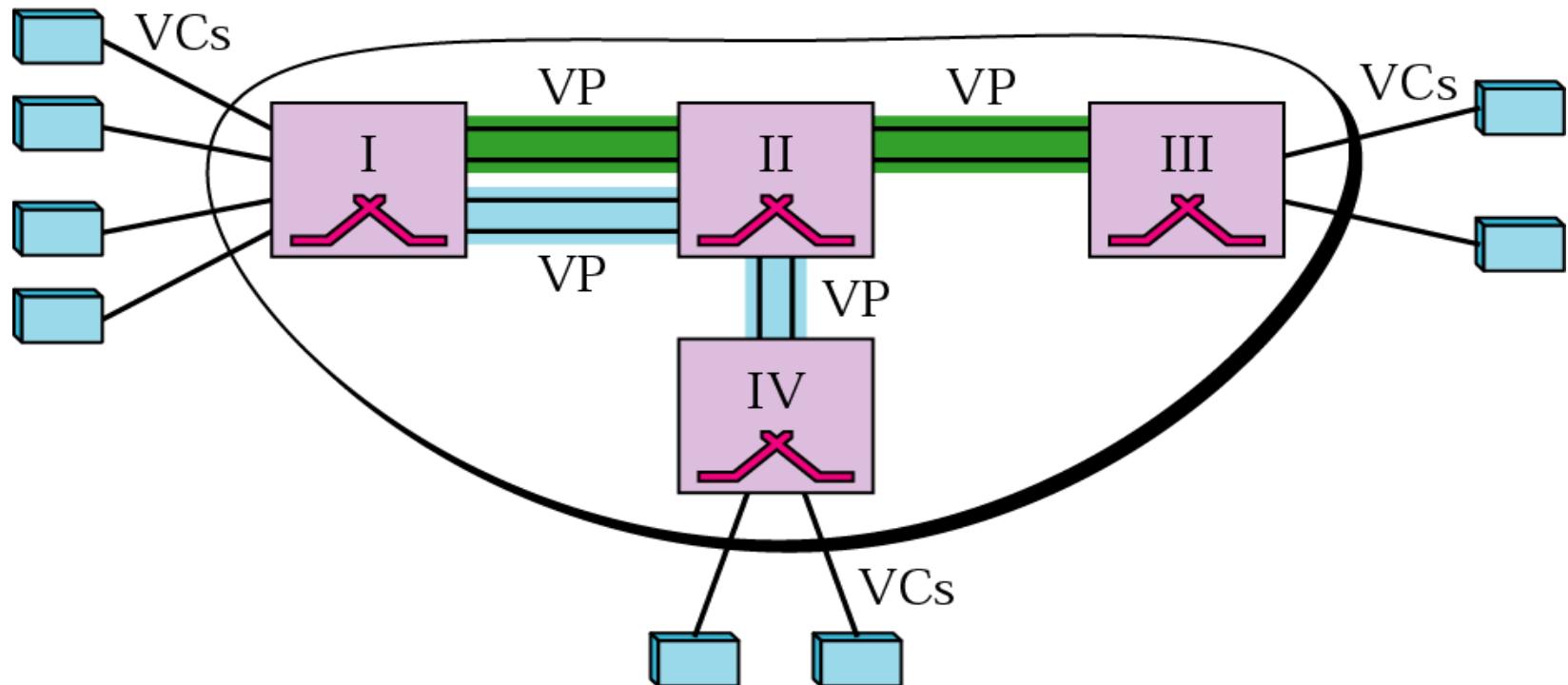


Rede de VPs (Virtual Paths) e VCs (Virtual Channels)

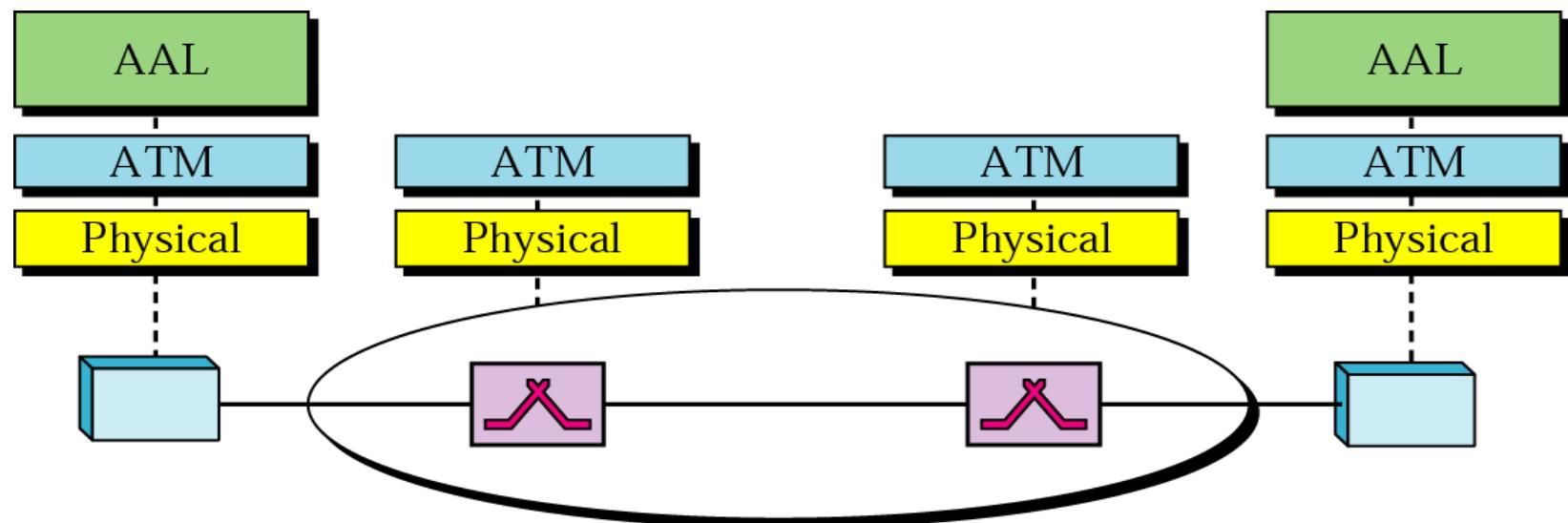


TP = *Transmission Path*

Rede de VPs (Virtual Paths) e VCs (Virtual Channels)



As camadas do ATM: sistemas finais e nós de comutação



Rede ATM

- **Camada de Adaptação ao ATM (AAL):**
 - interface com camadas superiores
 - presente **somente** nos sistemas finais
 - faz segmentação/remontagem
- **Camada ATM:**
 - comutação de células
- **Camada Física**

