

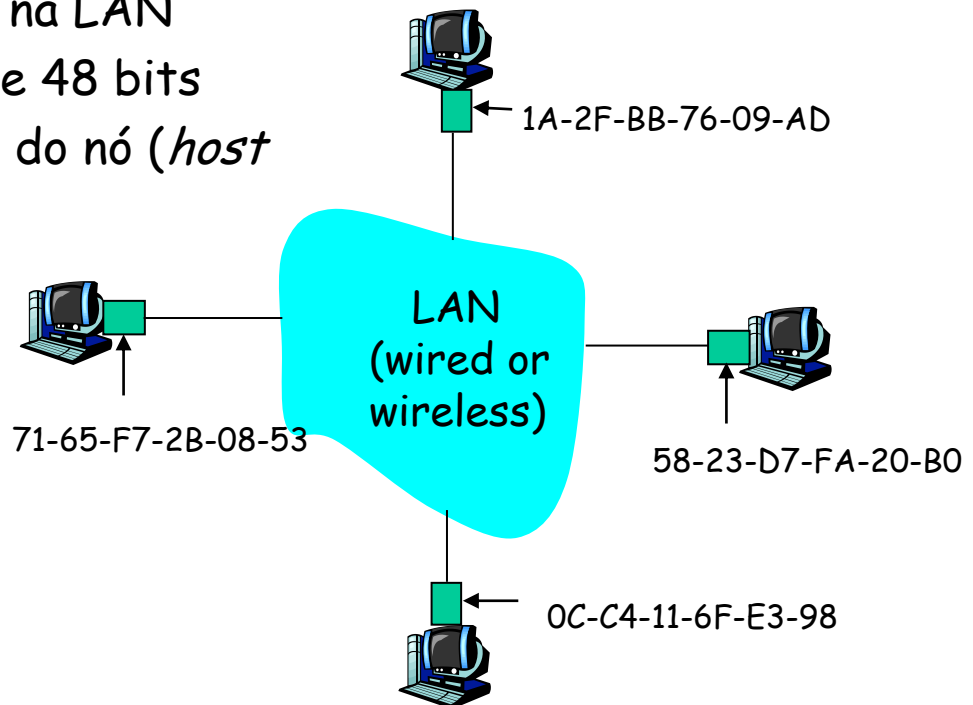
Endereço IP e Endereço Físico

❑ endereço IP:

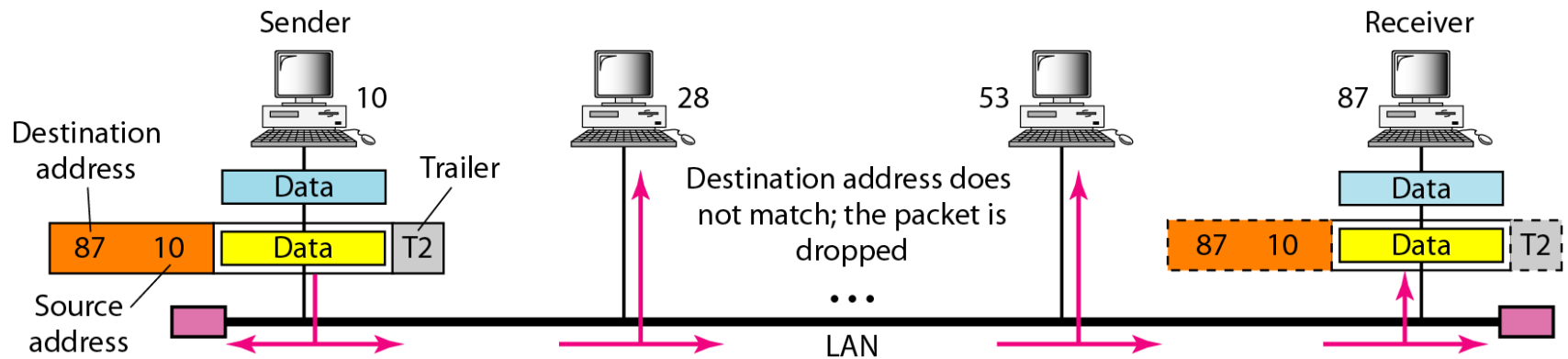
- endereço da camada de rede
- identifica cada *host* na internet

❑ 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

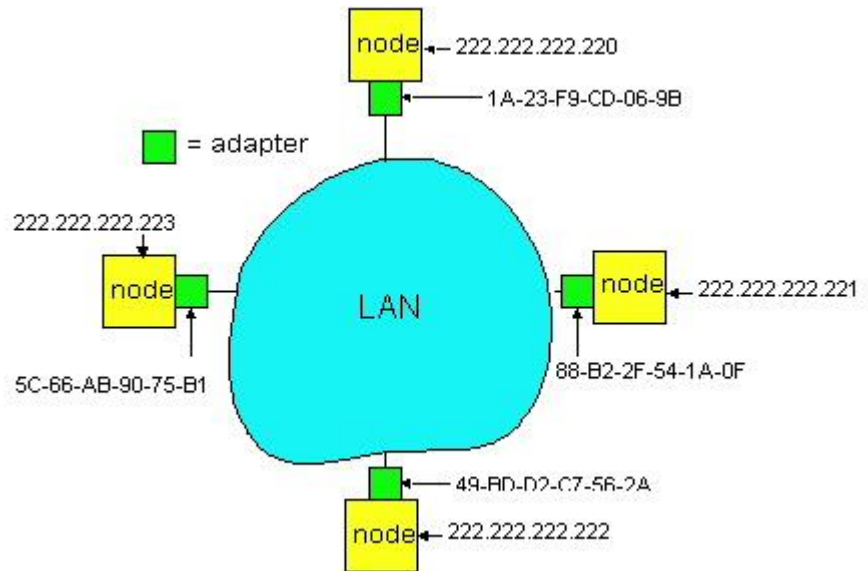


Endereço IP e Endereço Físico

- ❑ 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:

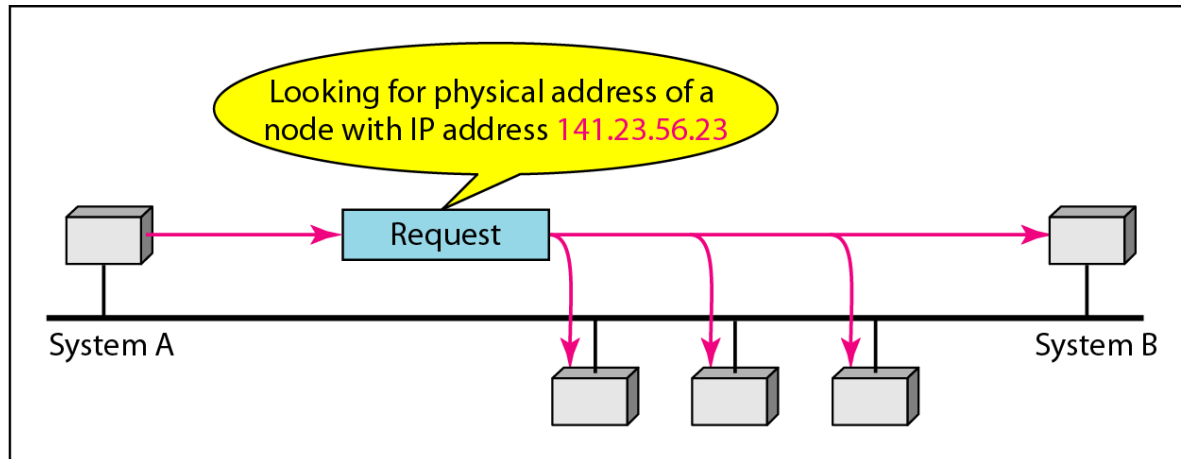
Uma possível tabela ARP do nó 222.222.222.220

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

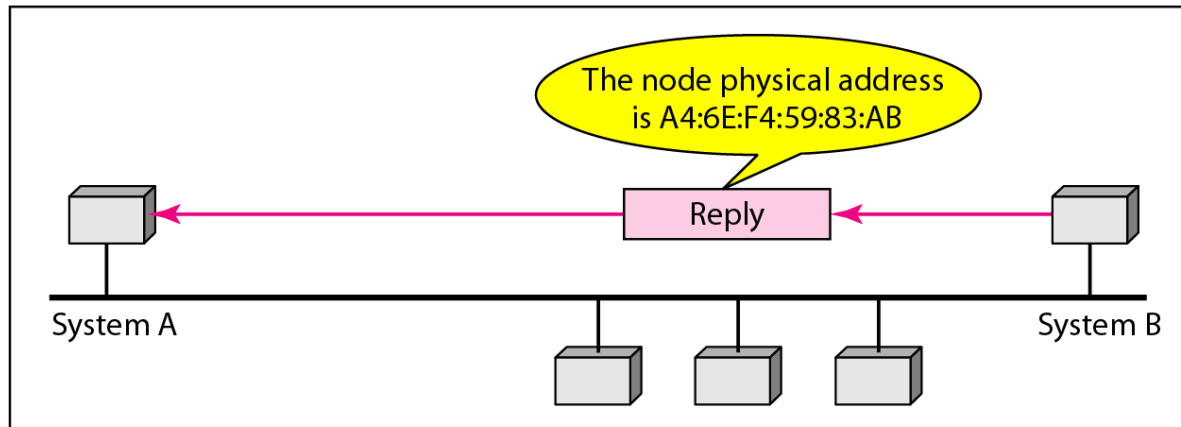
ARP: Address Resolution Protocol (cont.)

- ❑ 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:
$$\langle \text{XYZ}, \text{MAC} (?) \rangle$$
- ❑ 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 :
$$\langle \text{XYZ}, \text{MAC} (\text{XYZ}) \rangle$$
- ❑ Nó A armazena endereço MAC de XYZ na **tabela ARP** (*cache*).

ARP: Address Resolution Protocol (cont.)



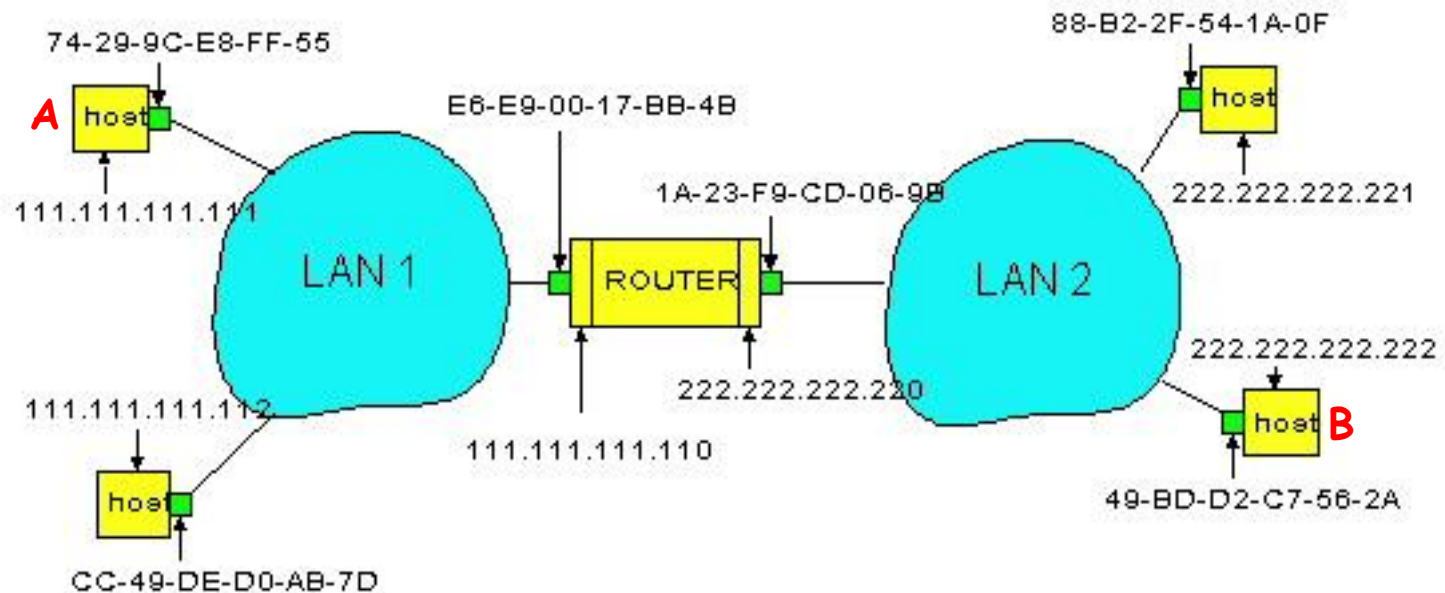
a. ARP request is broadcast



b. ARP reply is unicast

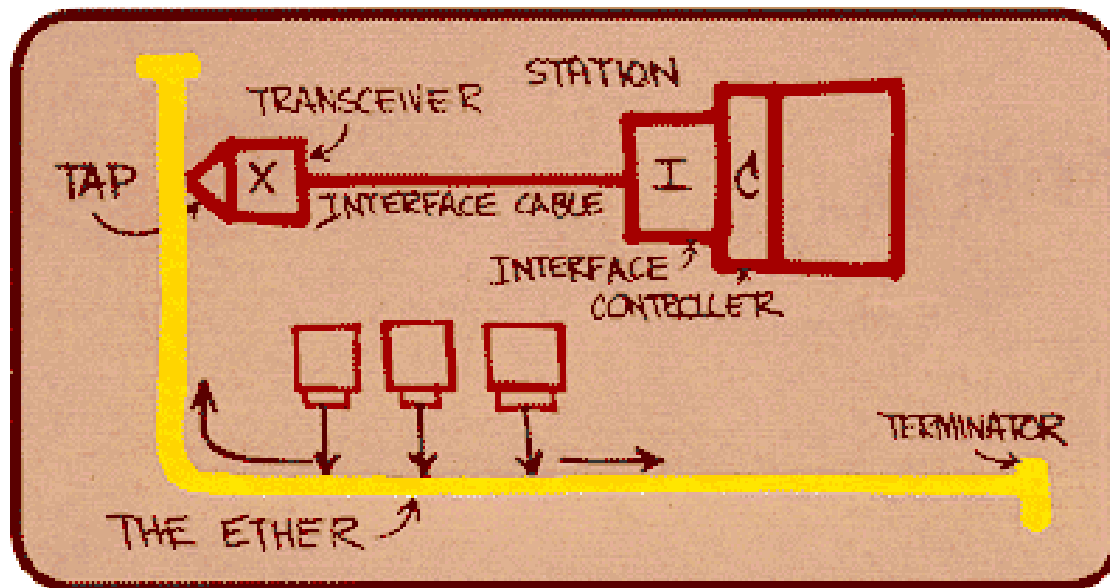
Exemplo

Transferência de datagramas entre nós em diferentes subredes



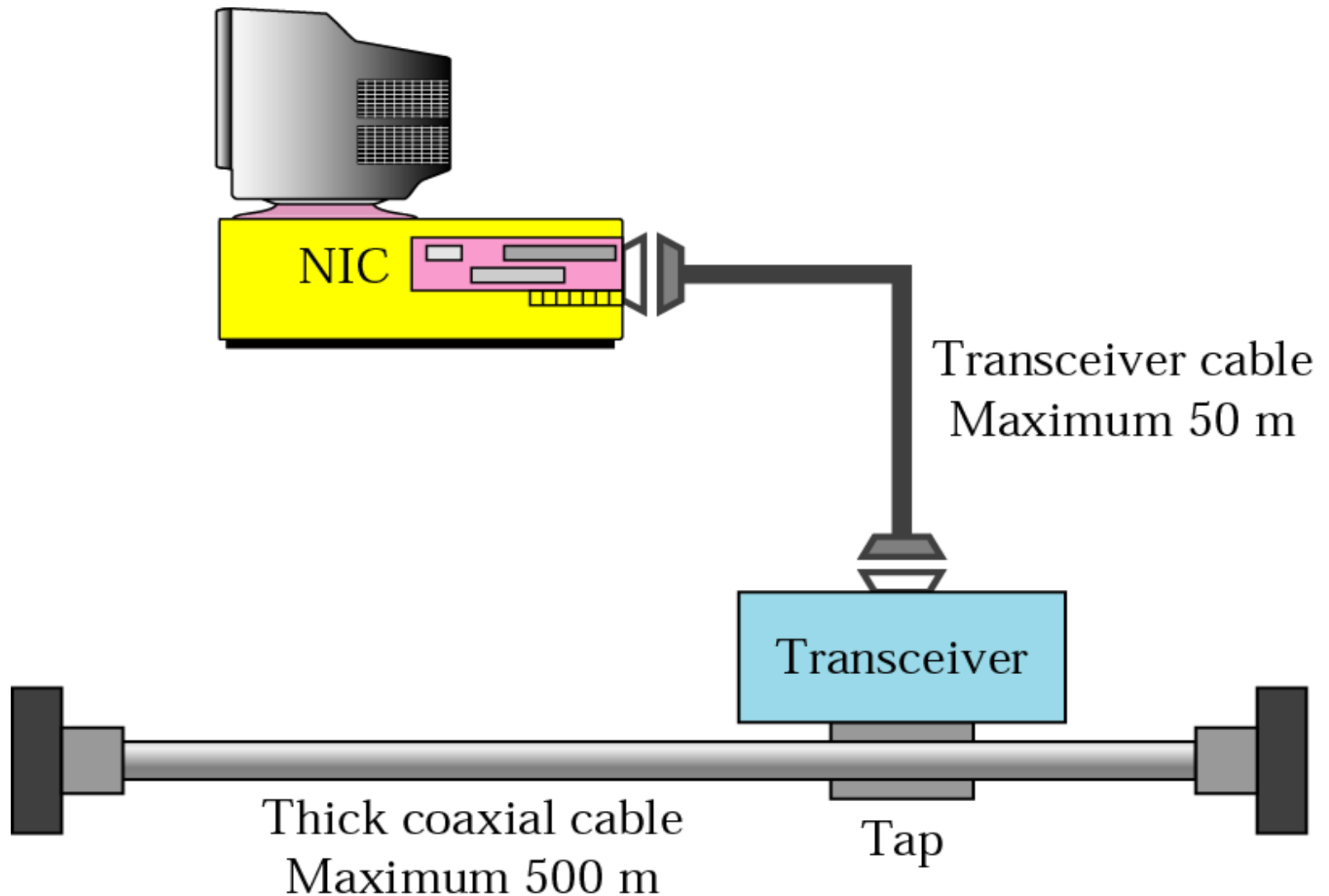
Ethernet

- ❑ 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

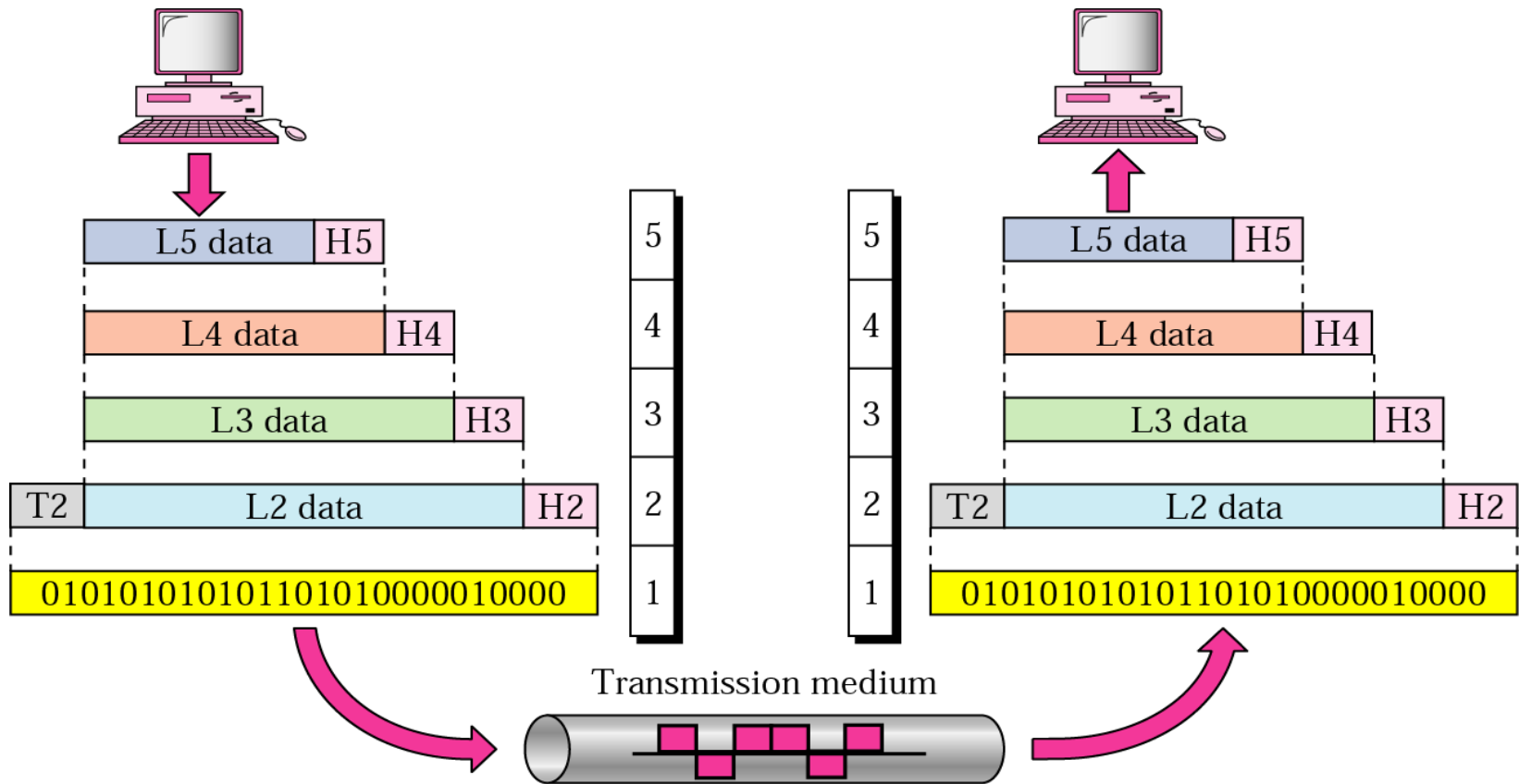


Esboço de
Metcalfe
para a
Ethernet
(IEEE 802.3
tipo
10Base5)

Ethernet (Cont.)

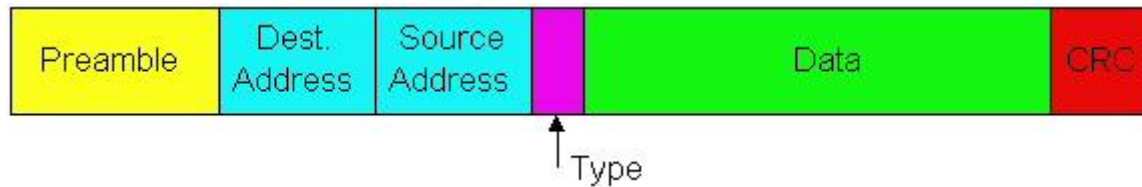


Estrutura de Quadro Ethernet



Estrutura de Quadro Ethernet

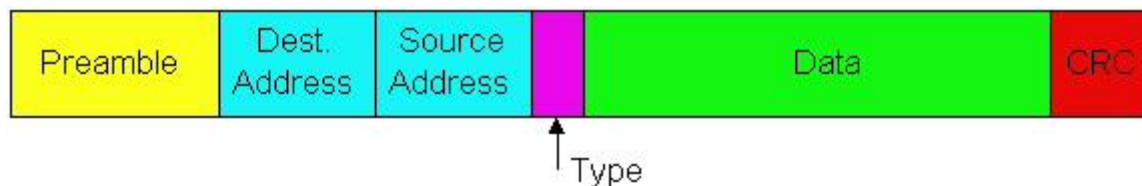
- ❑ Adaptador remetente encapsula um datagrama IP (ou pacote de outro protocolo da camada de rede) num **quadro Ethernet**:



- ❑ **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.)

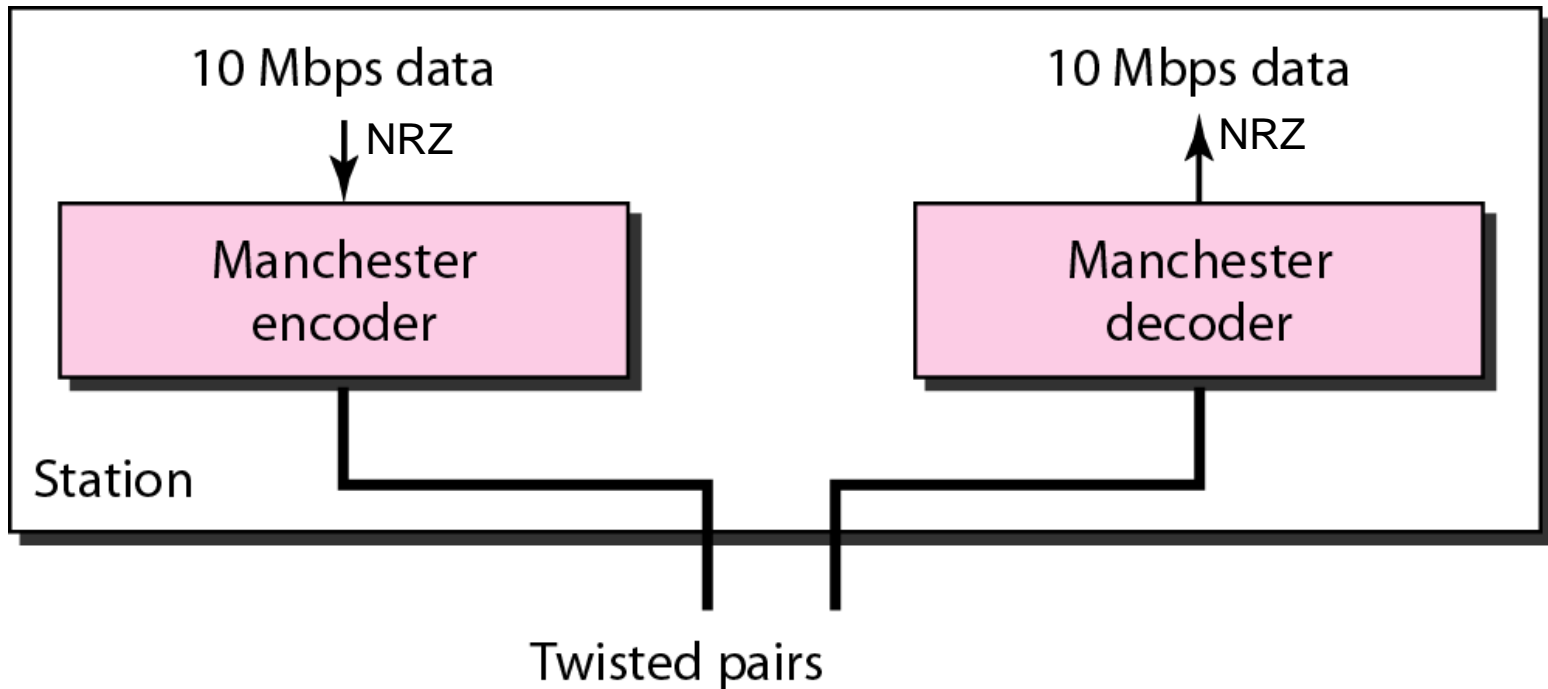
- ❑ **Cabeçalho** contém endereços de Destino e de Origem e um campo *Type*.
- ❑ **Endereço de Destino / Endereço de Origem** (6 bytes): podem ser administrados localmente ou globalmente.
- ❑ **Type** (2 bytes): indica o protocolo de camada superior, usualmente IP (0800), mas oferece suporte para outros, 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

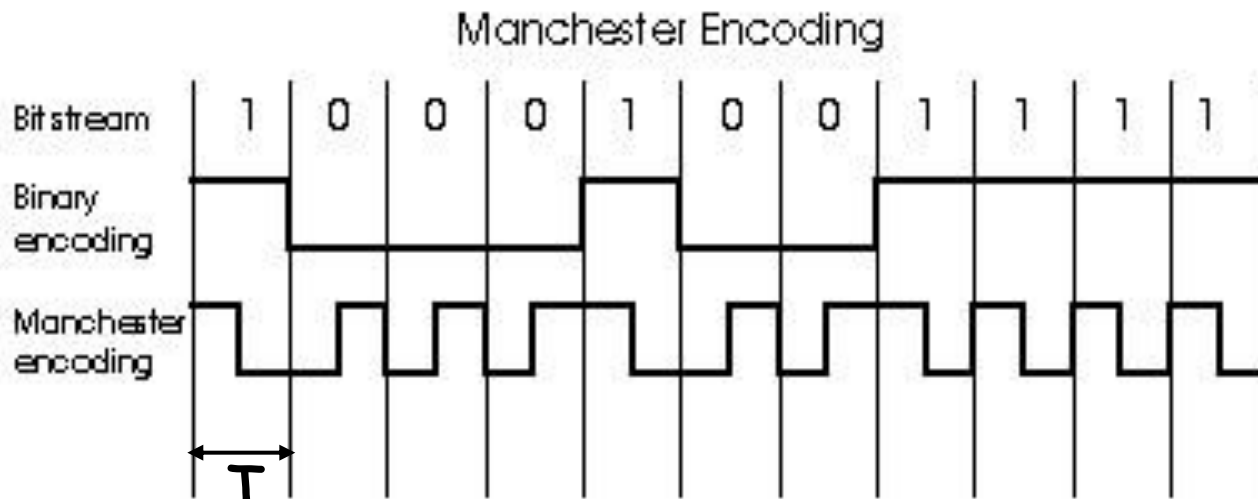
- ❑ Todas as tecnologias Ethernet fornecem **serviço não orientado à conexão** à camada de rede:
 - não há *handshaking* entre os adaptadores remetente e receptor.
- ❑ Todas as tecnologias Ethernet fornecem **serviço não confiável** à camada de rede:
 - o adaptador do receptor não envia ACKs ou NAKs.
 - 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



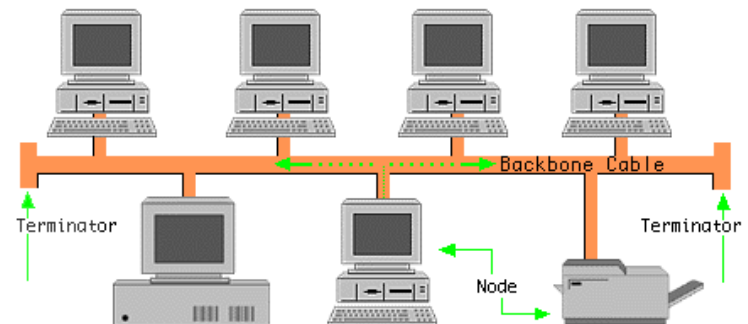
Codificação Manchester

- ❑ **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.



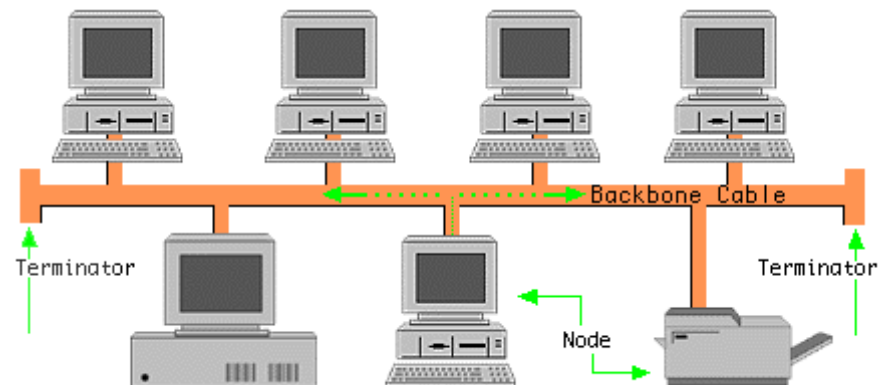
As Redes Ethernet usam o CSMA/CD

- ❑ 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):

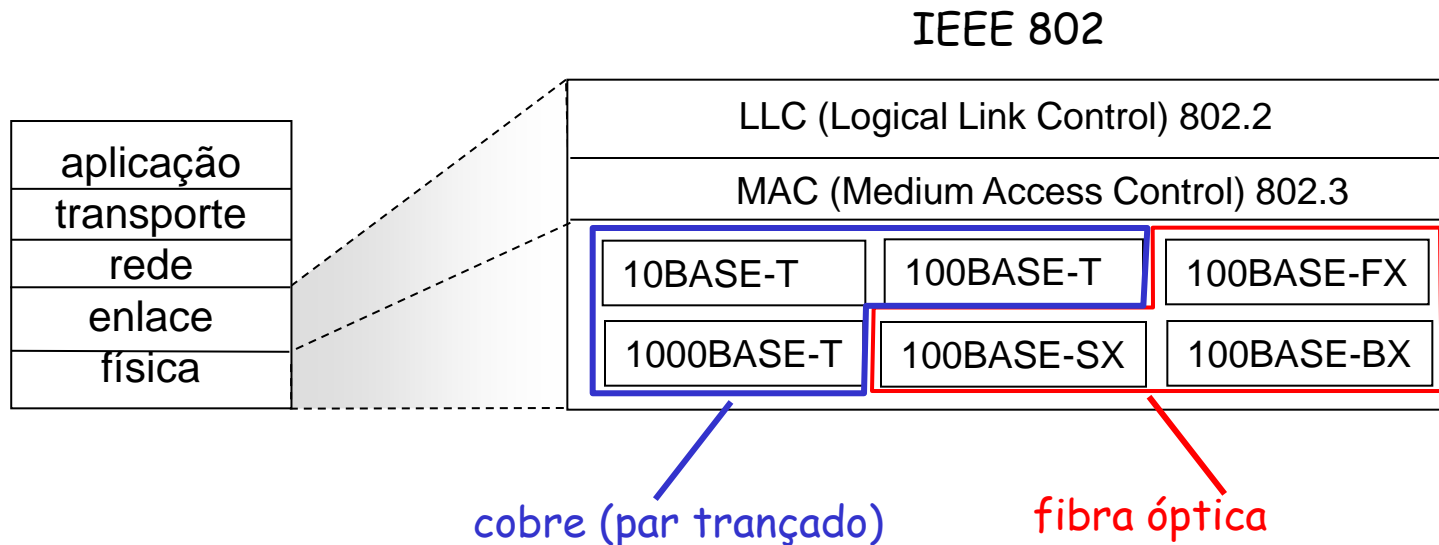
$$Efficiency = \frac{1}{1 + (5 * \frac{t_{prop}}{t_{trans}})}$$

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

Padrão IEEE 802.3: camadas física e enlace

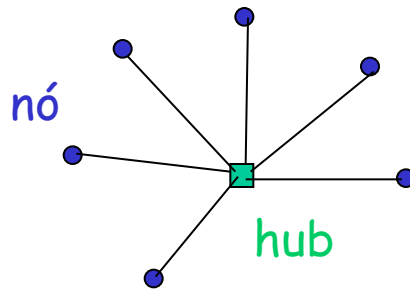
❑ **Vários** tipos IEEE 802.3 diferentes:

- 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.

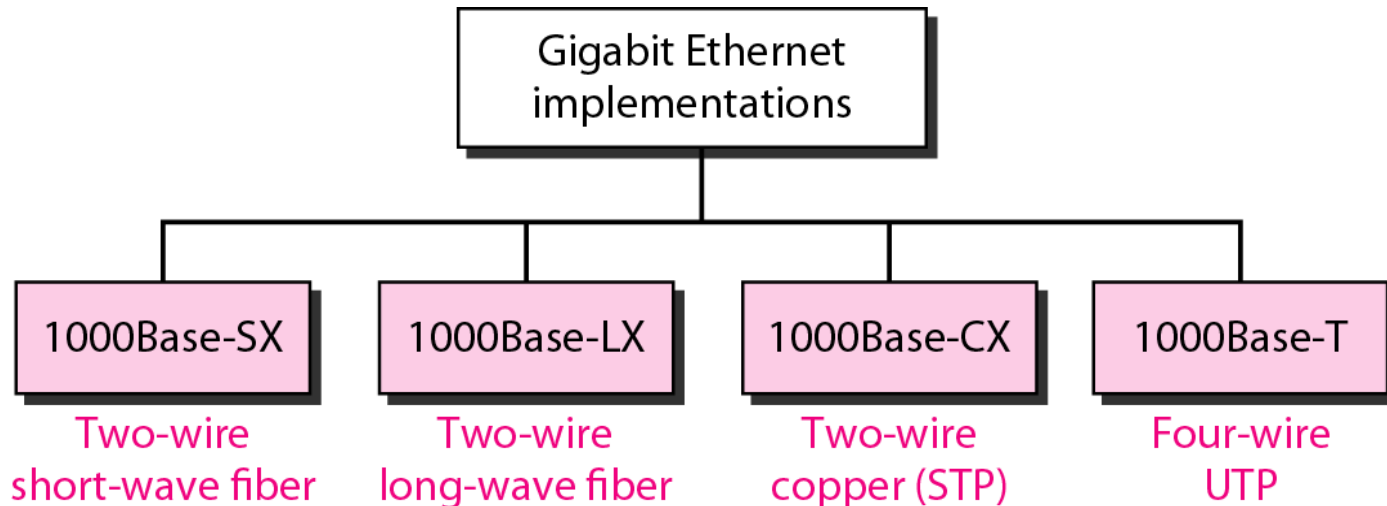
IEEE 802.3 tipo 10Base-T e 100Base-T (cont.)

❑ 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

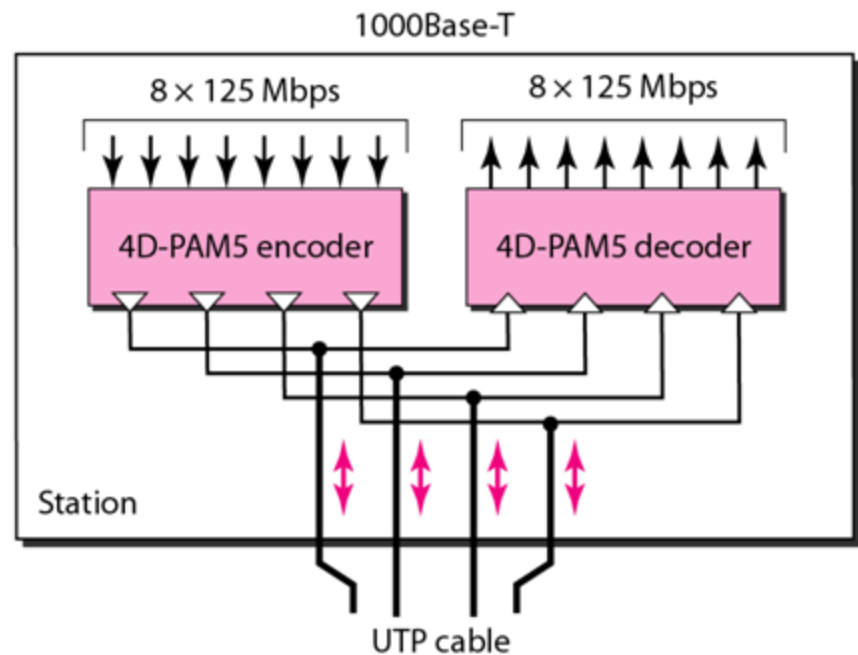
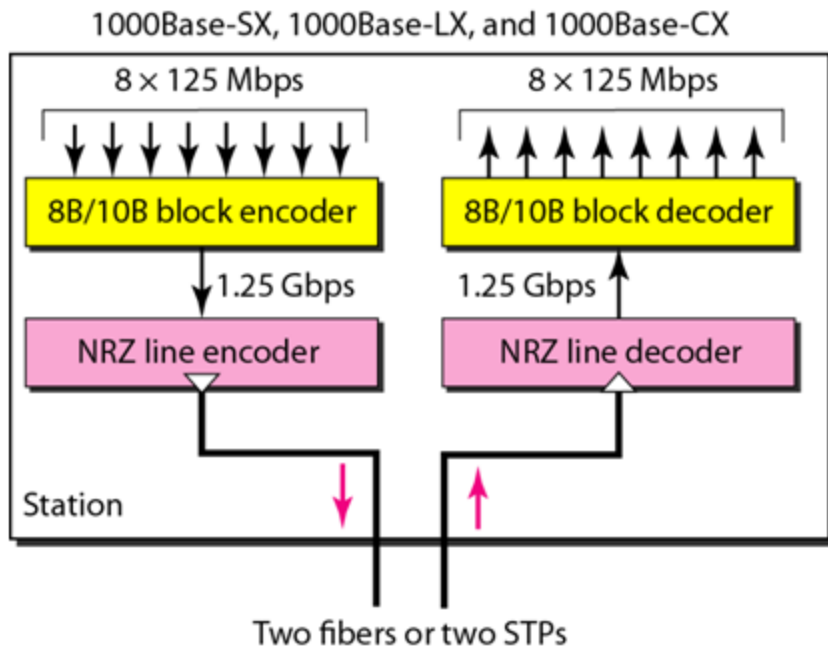
- ❑ Usa o mesmo formato de quadro e protocolo MAC das versões a 10 e 100 Mbps.



<i>Characteristics</i>	<i>1000Base-SX</i>	<i>1000Base-LX</i>	<i>1000Base-CX</i>	<i>1000Base-T</i>
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

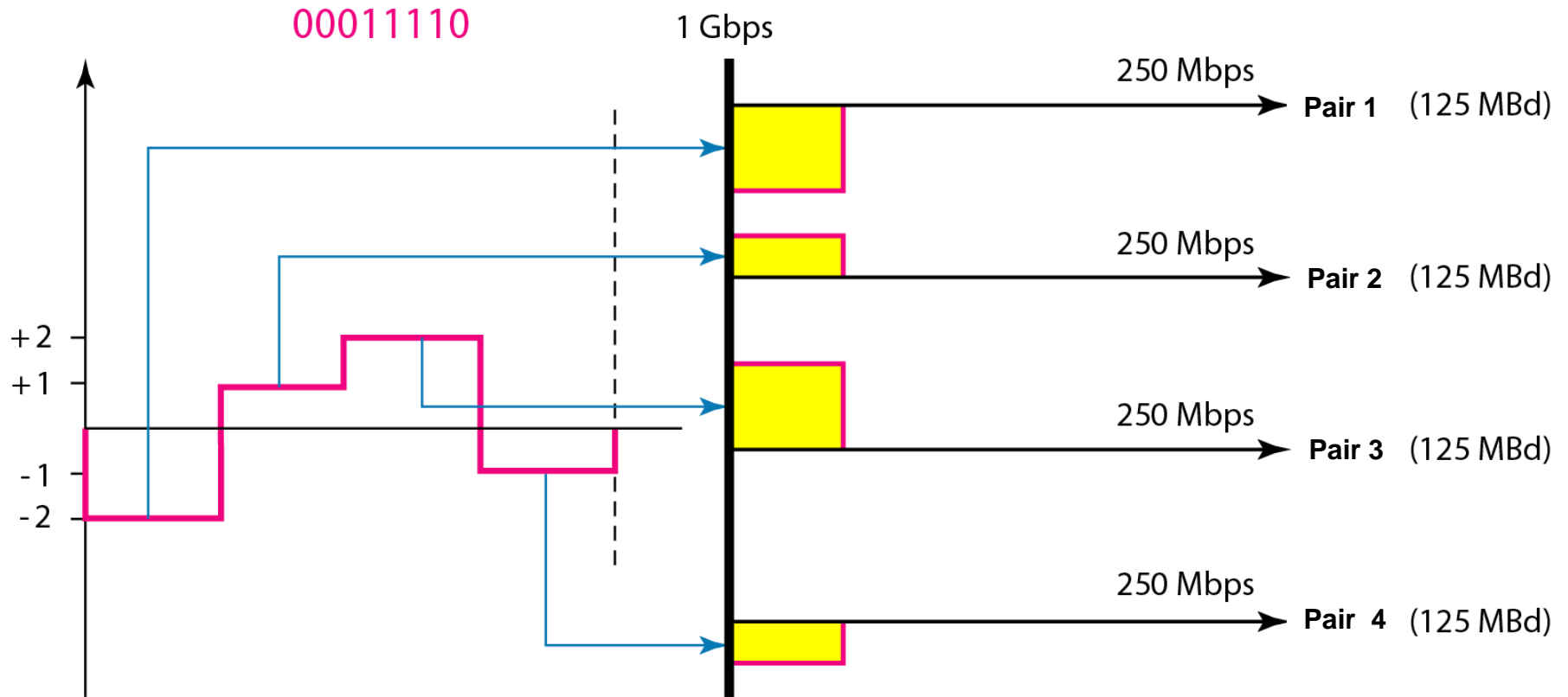
Gigabit Ethernet

❑ Métodos de codificação:



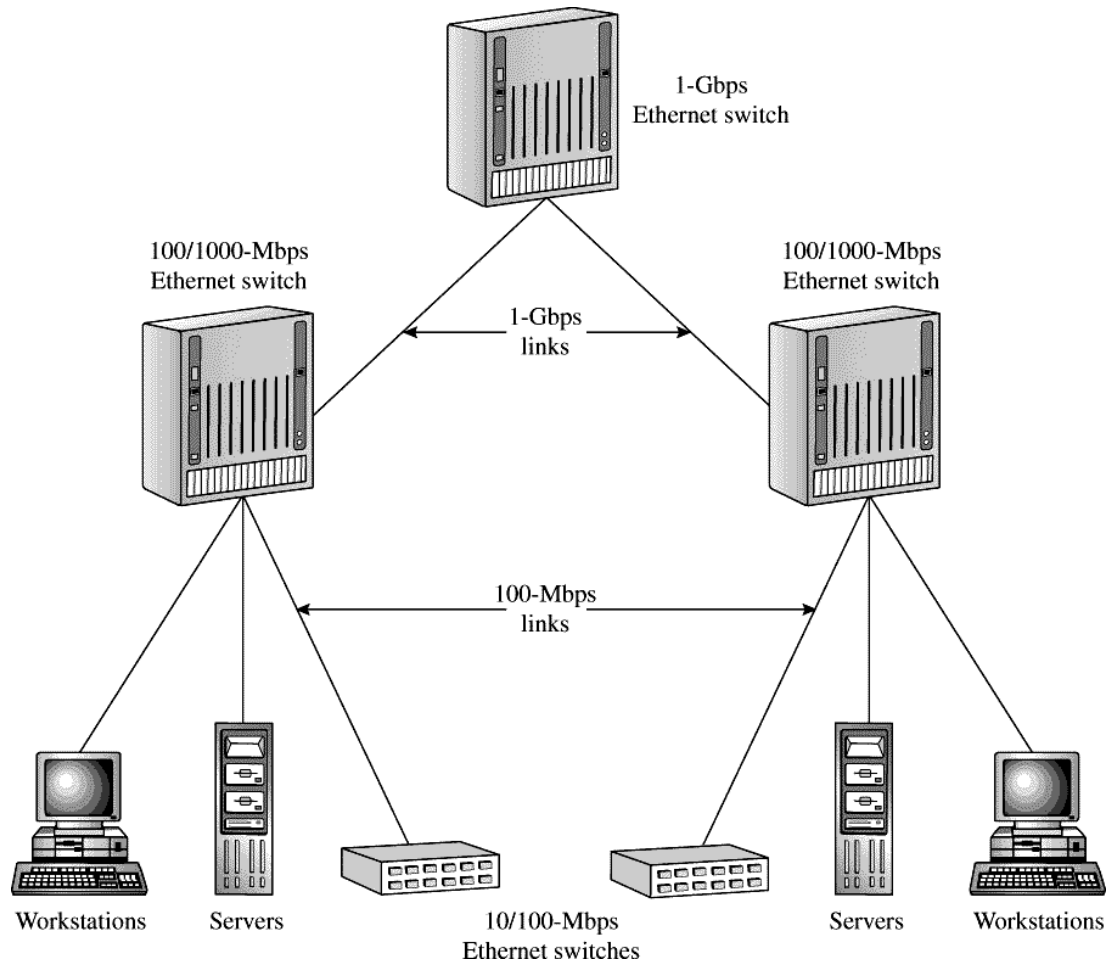
Gigabit Ethernet

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



Gigabit Ethernet

❑ Exemplo de aplicação



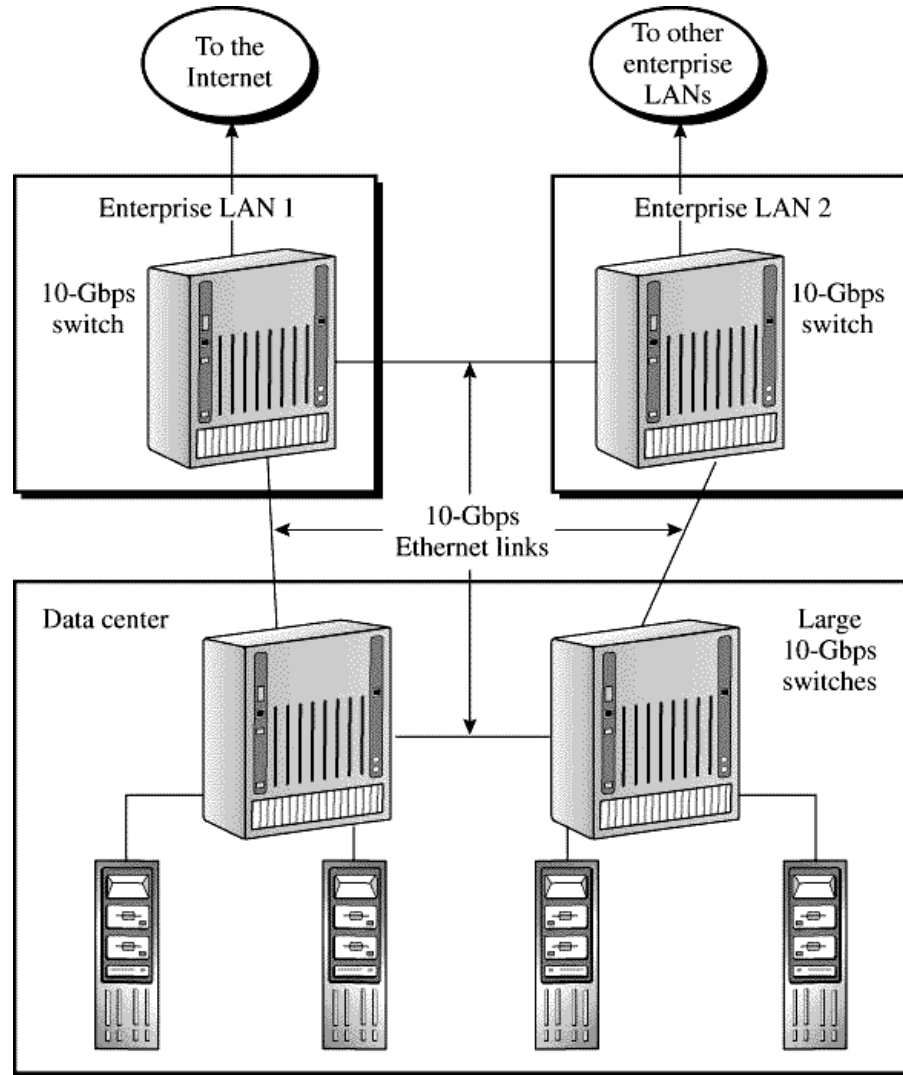
10-Gigabit Ethernet

- ❑ 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-nm single mode
Maximum length	300 m	10 km	40 km

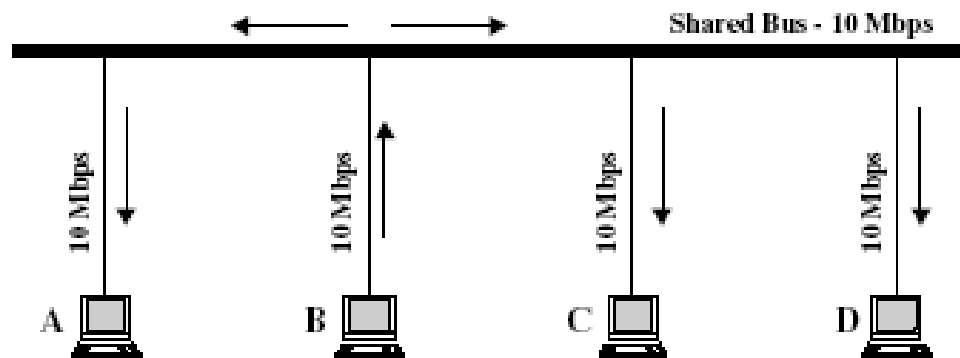
10-Gigabit Ethernet

❑ Exemplo de aplicação:

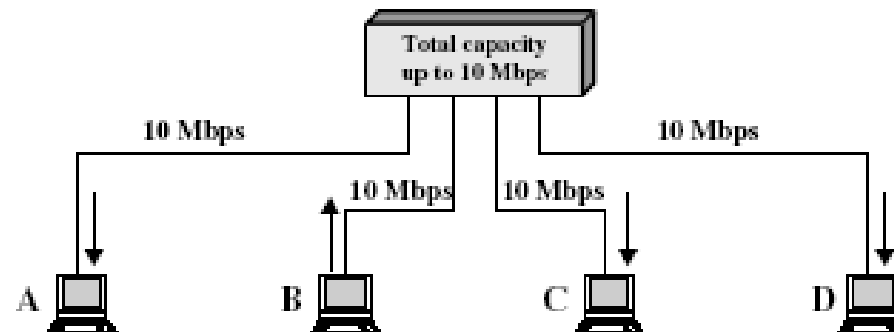


Interconexão de Segmentos de LANs

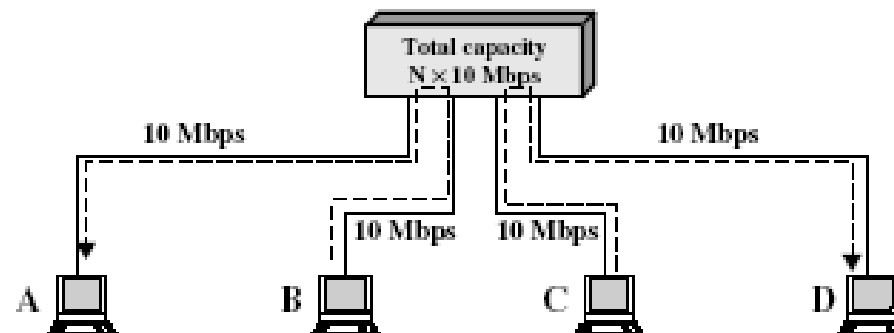
- ❑ Hub
- ❑ Switch (comutador)
- ❑ São usados para estender características das LANs: cobertura geográfica, número de nós, etc.
- ❑ Diferem entre si em termos de:
 - isolamento de domínios de colisão.
 - camada em que operam.
- ❑ São diferentes dos roteadores:
 - não provêem roteamento ótimo de pacotes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



(a) Shared medium bus



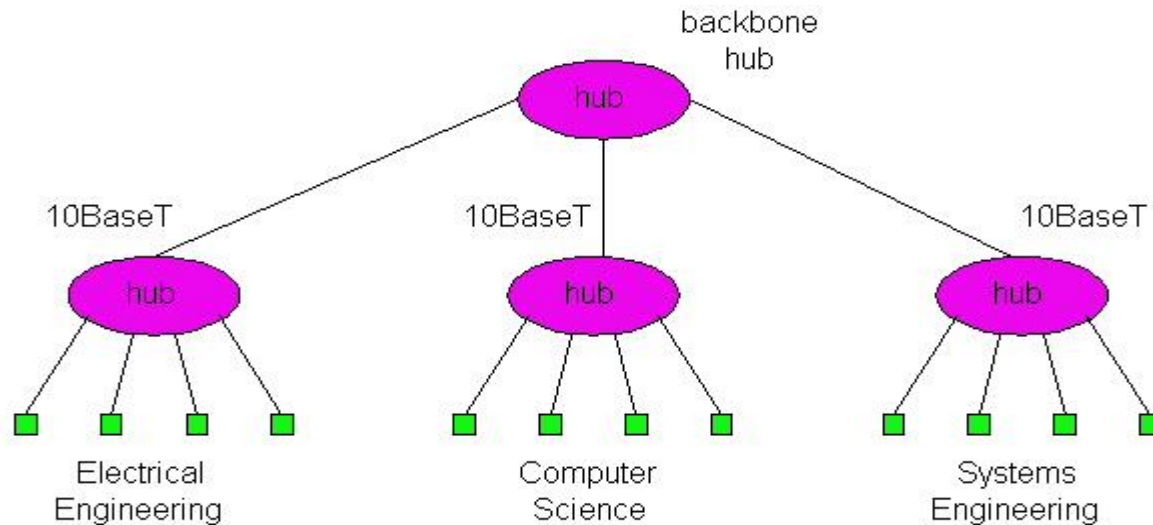
(b) Shared medium hub



(c) Layer 2 switch

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.)

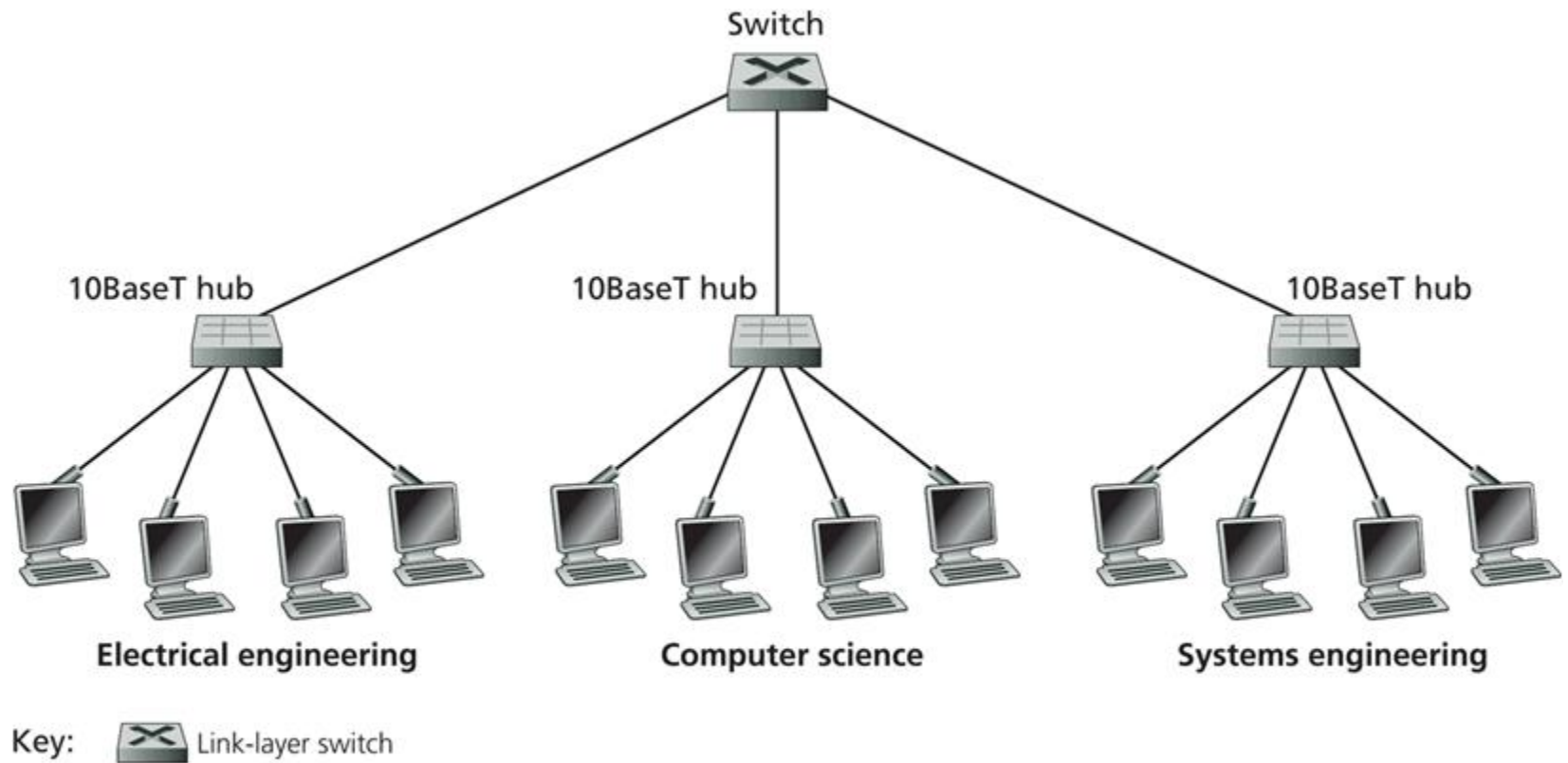
□ Limitações dos hubs :

- **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

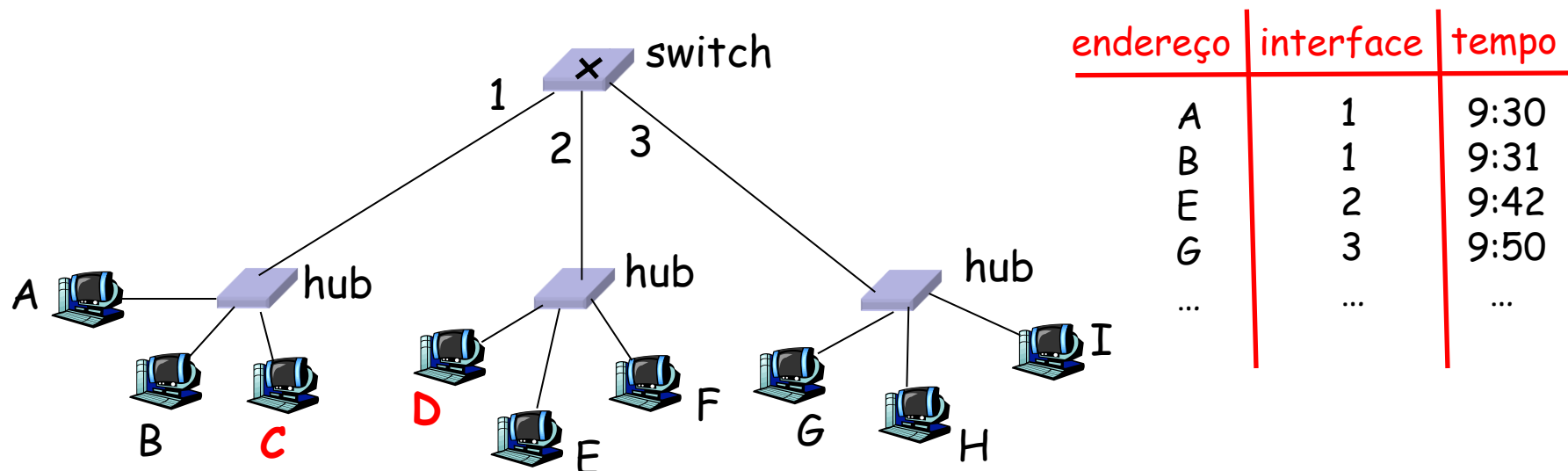


Como determinar o segmento de LAN que deverá receber o quadro?

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)

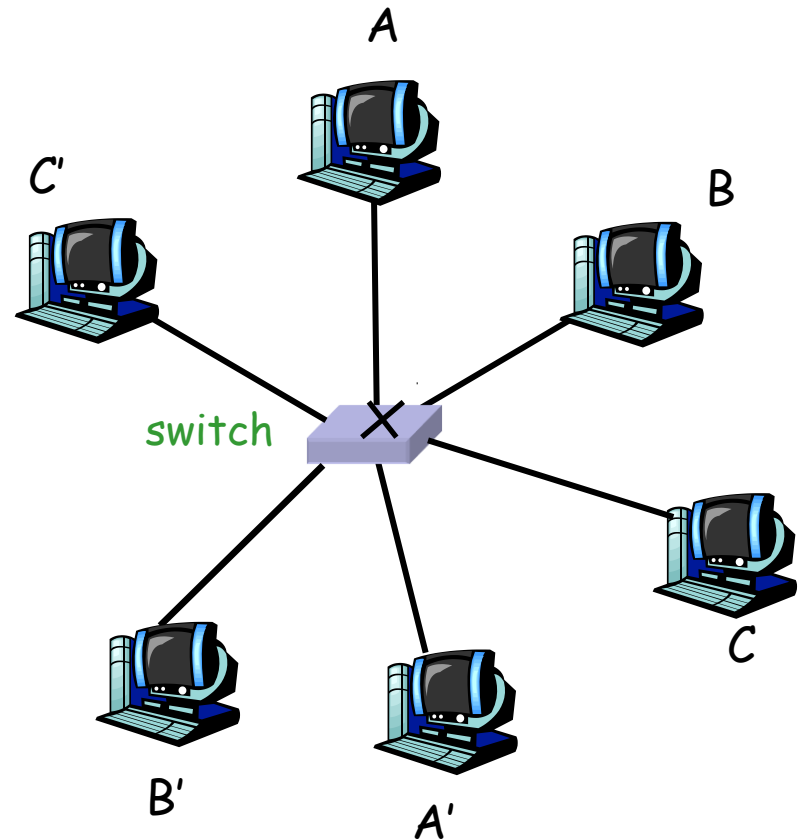
Método de "aprendizado" nos switches: exemplo



- ❑ 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.

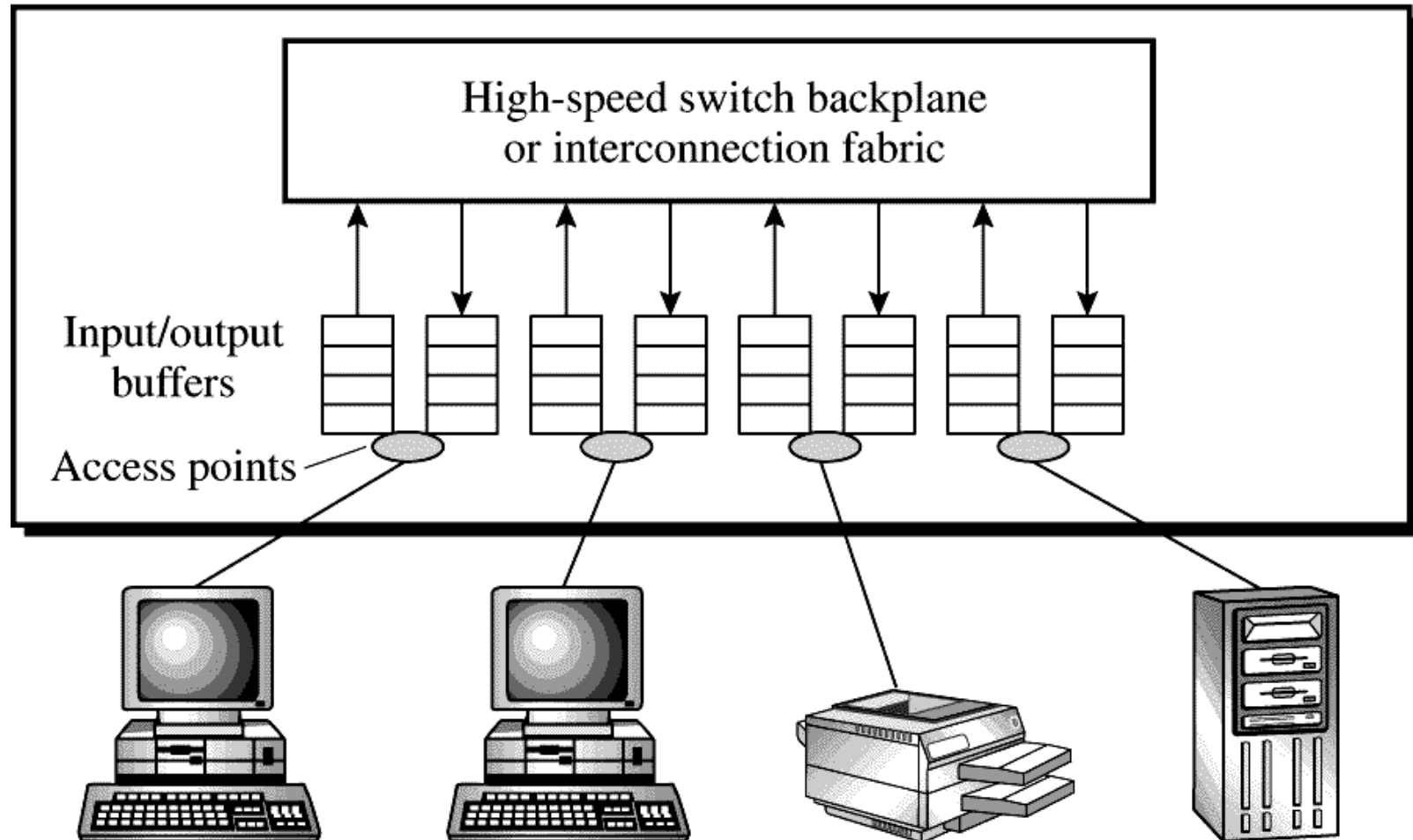
Switch: acesso dedicado

- ❑ 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!



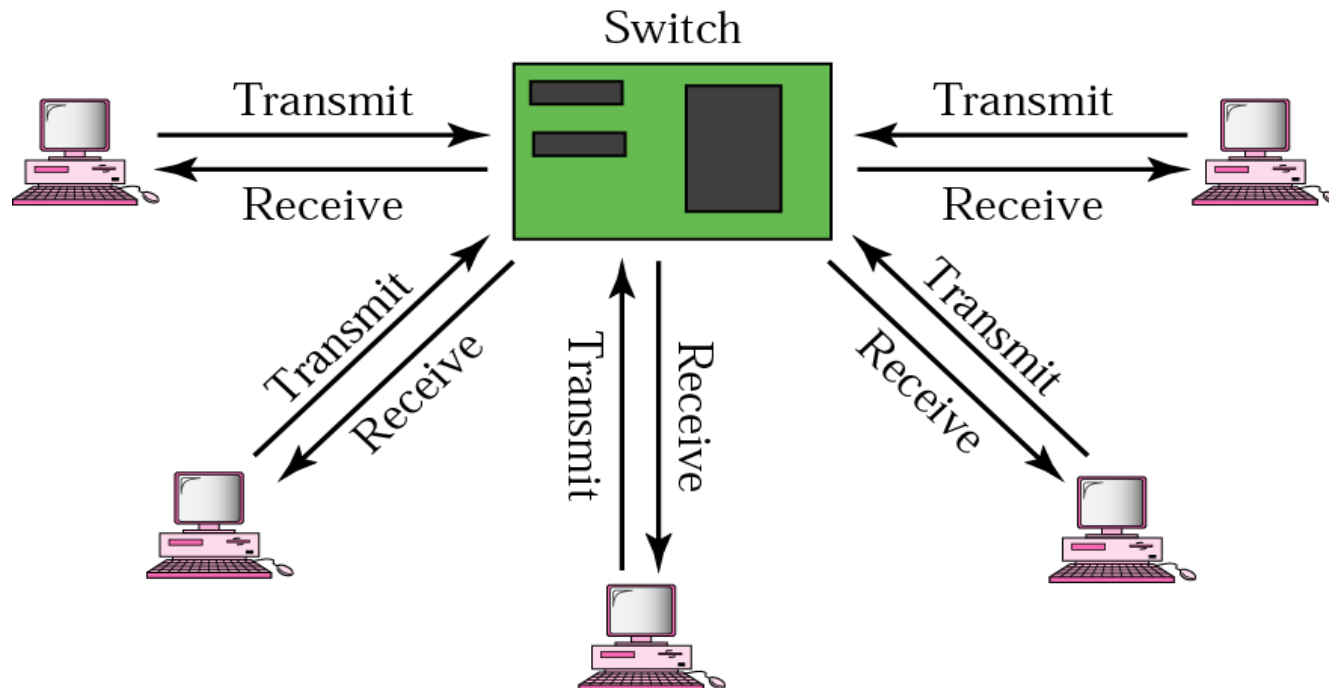
Switch Ethernet

Basic Ethernet Switch

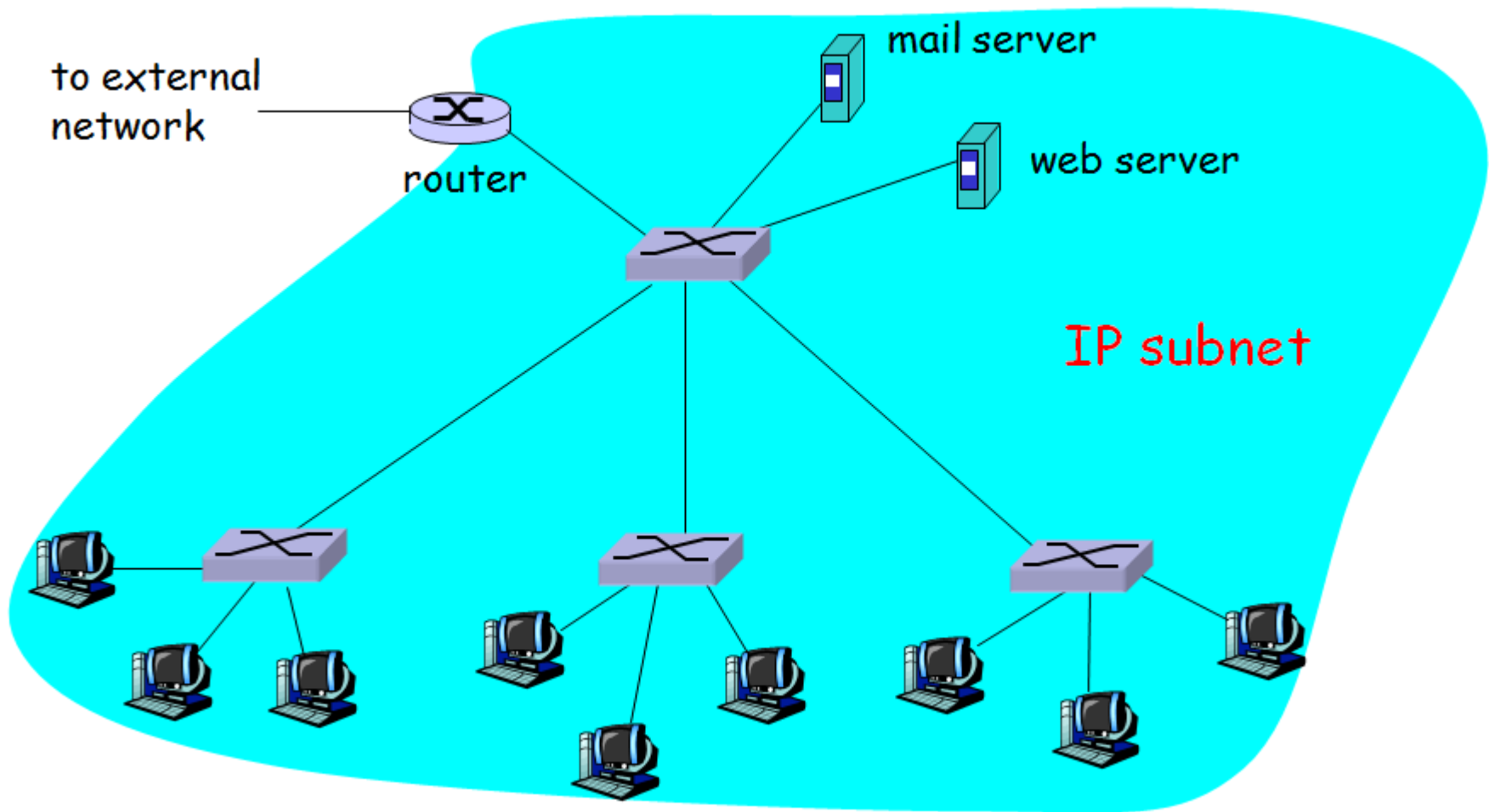


Switch Ethernet (cont.)

- ❑ 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

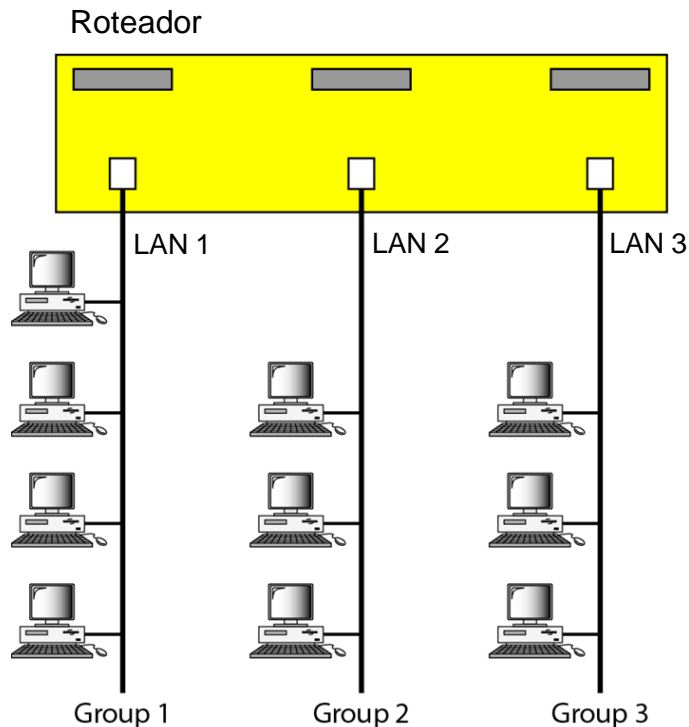


Comparação

	<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

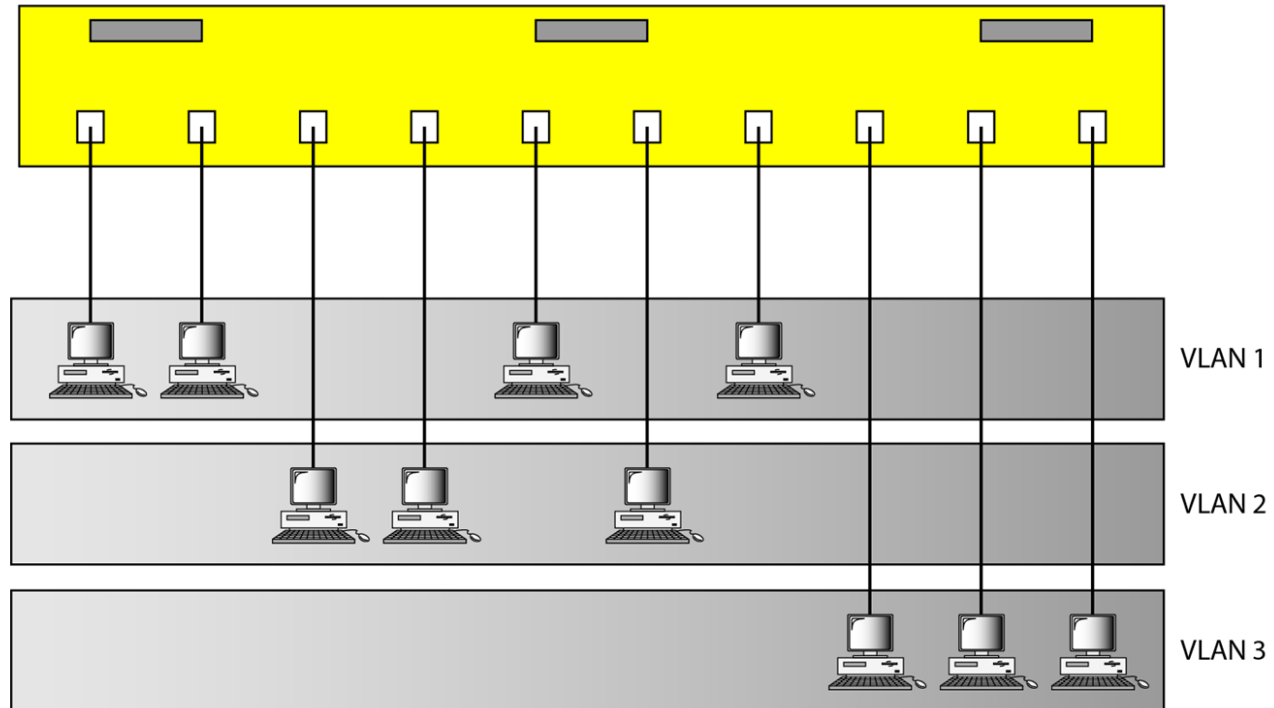


Mudanças de grupo de trabalho significam mudanças físicas na configuração da rede.

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

Switch with VLAN software

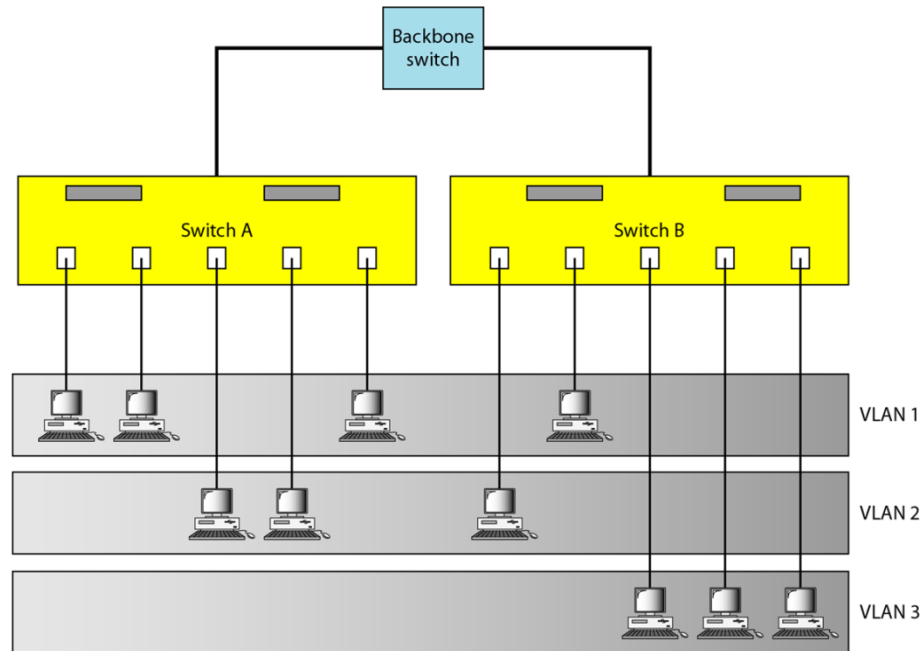


Domínios de
broadcast
separados.

VLANs (Virtual Local Area Networks)

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

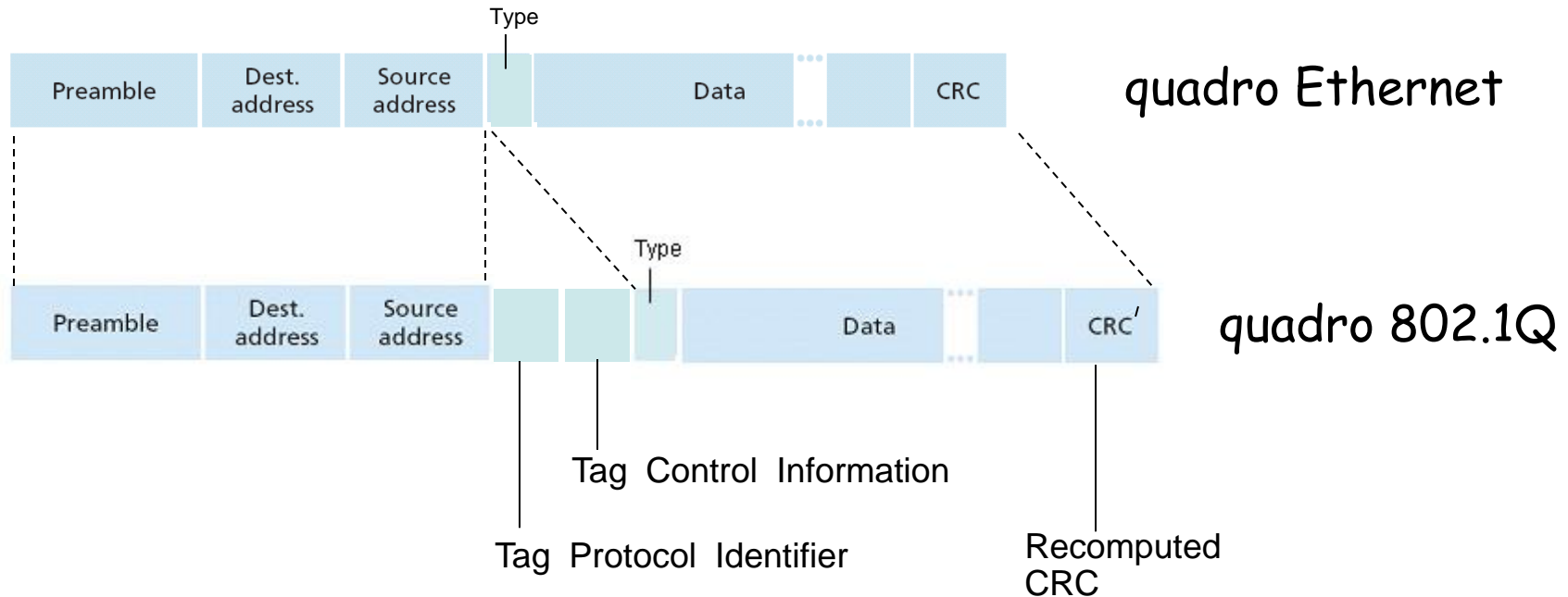
Exemplo:



- ❑ 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 físico

VLANs (Virtual Local Area Networks):

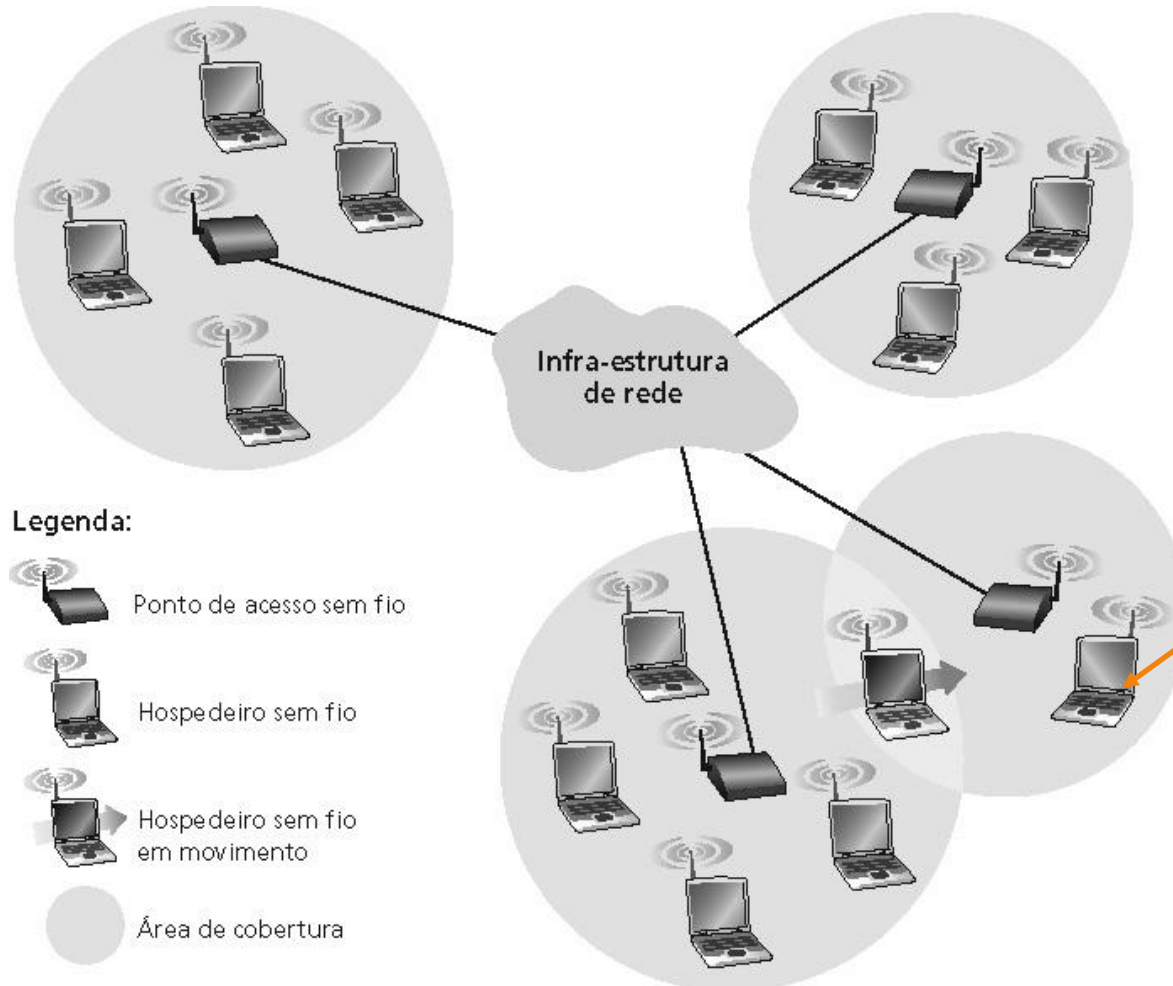
- ❑ Padrão IEEE 802.1Q define o formato de quadro VLAN:



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

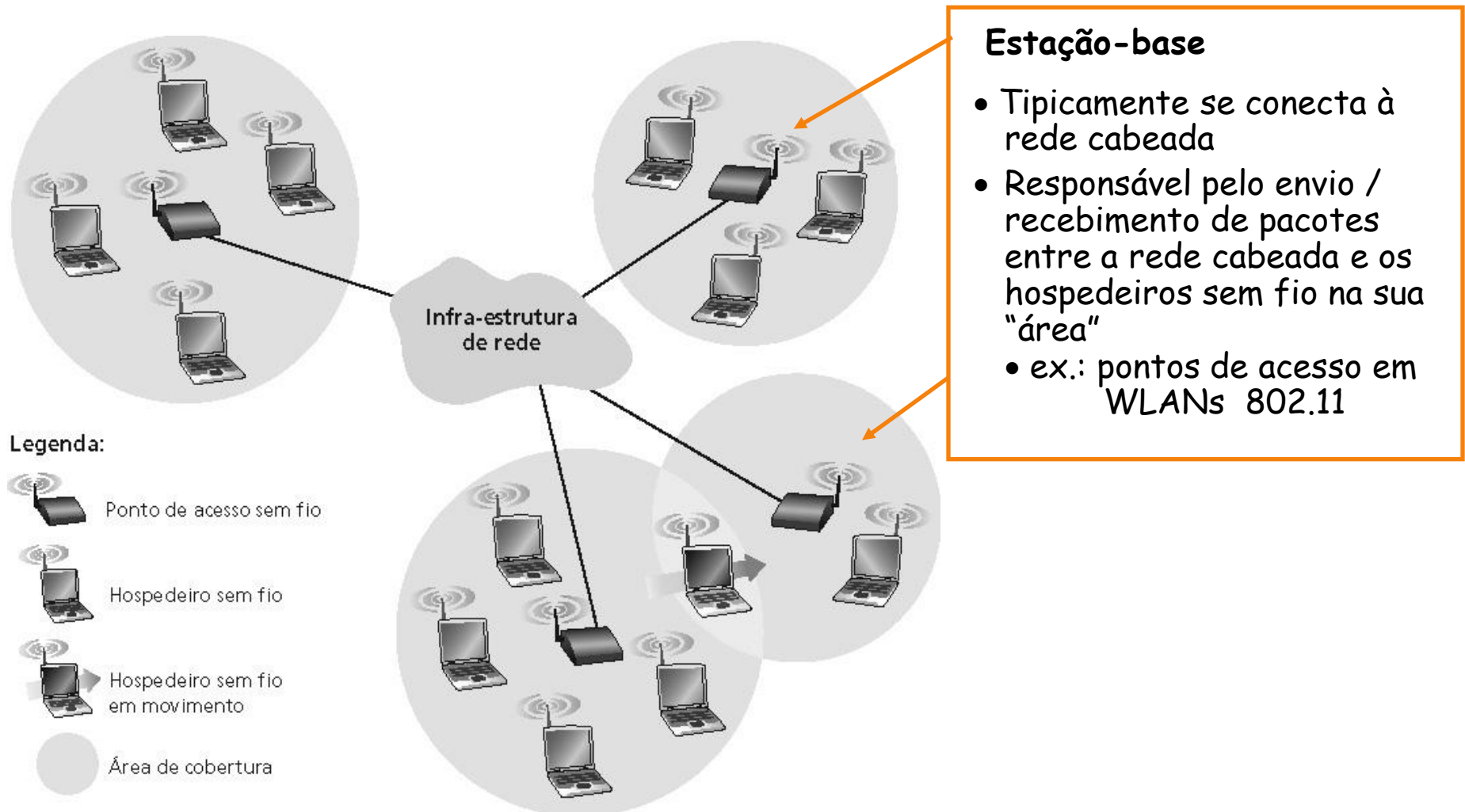
Rede sem fio (wireless network): elementos



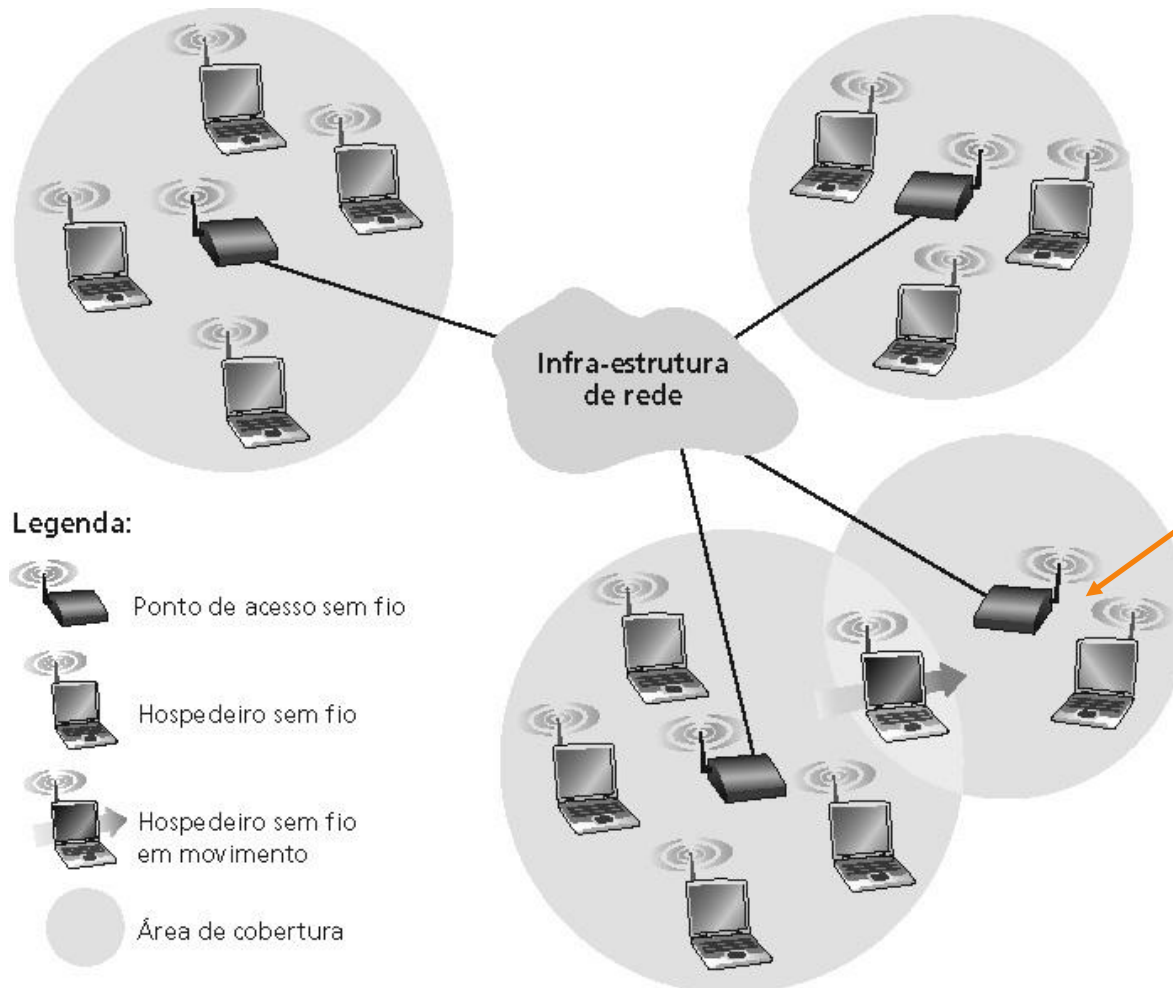
Hospedeiros sem fio

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

Rede sem fio (wireless network): elementos



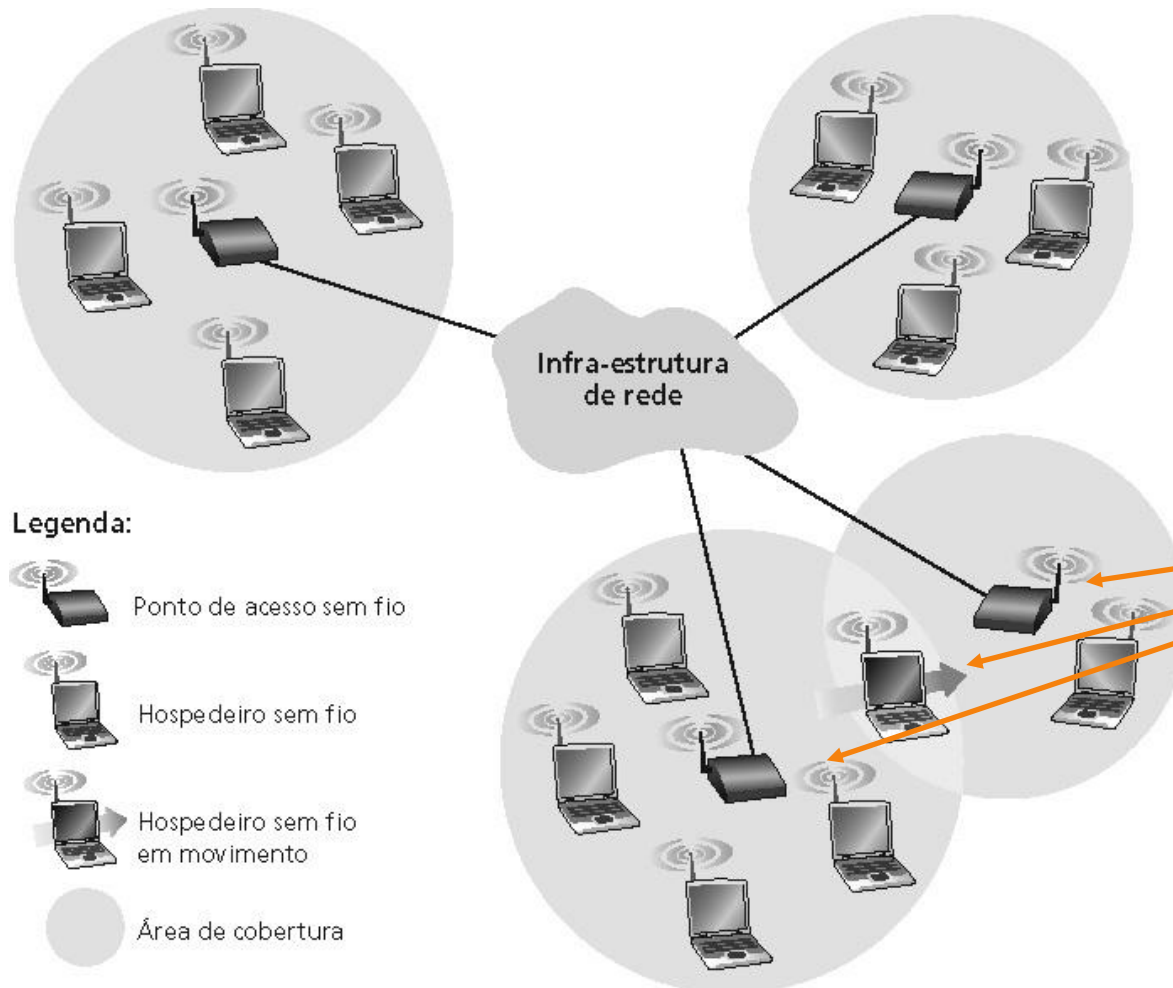
Rede sem fio (wireless network): elementos



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

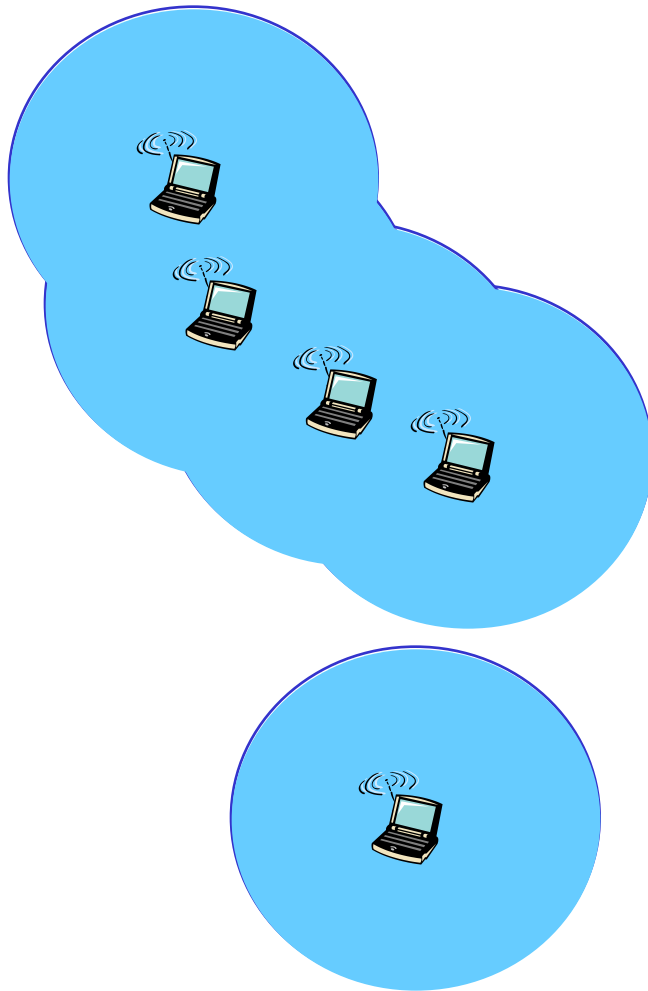
Rede sem fio (*wireless network*): modos de operação



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

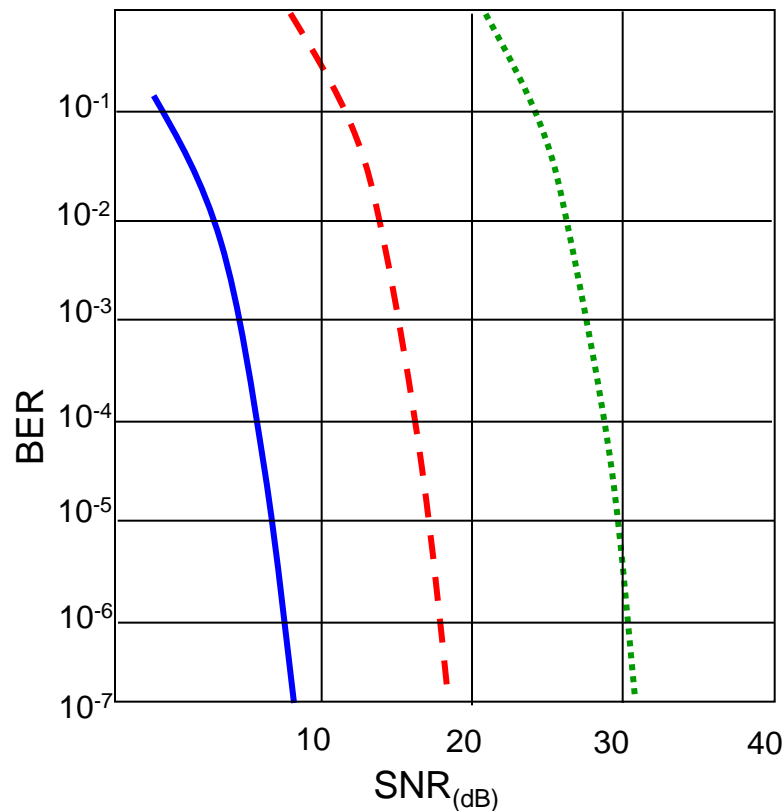
Características do enlace sem fio

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 \rightarrow aumenta SNR \rightarrow 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



..... QAM256 (8 Mbps)
- - - QAM16 (4 Mbps)
—— BPSK (1 Mbps)

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 (*Ortogonal 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

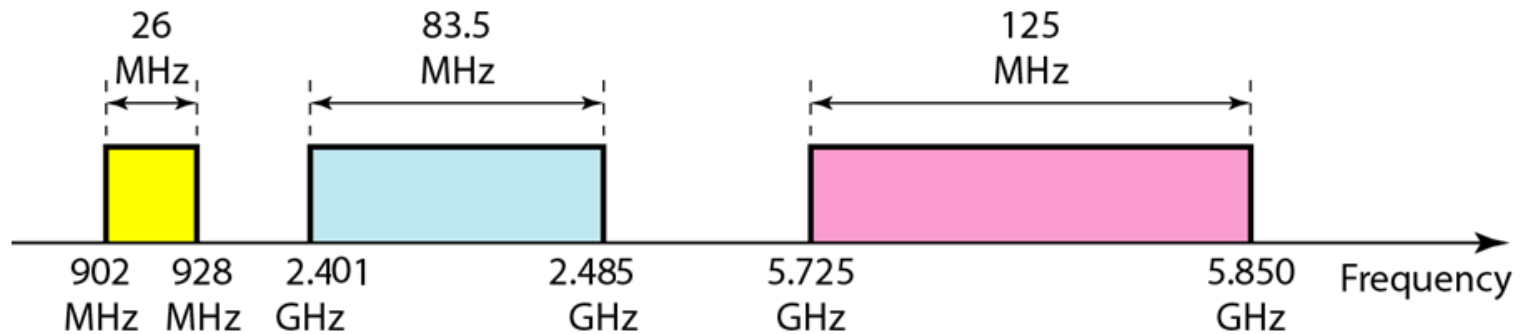
- 2,401 - 2,485 GHz
- até 200 Mbps
- OFDM
- MIMO



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

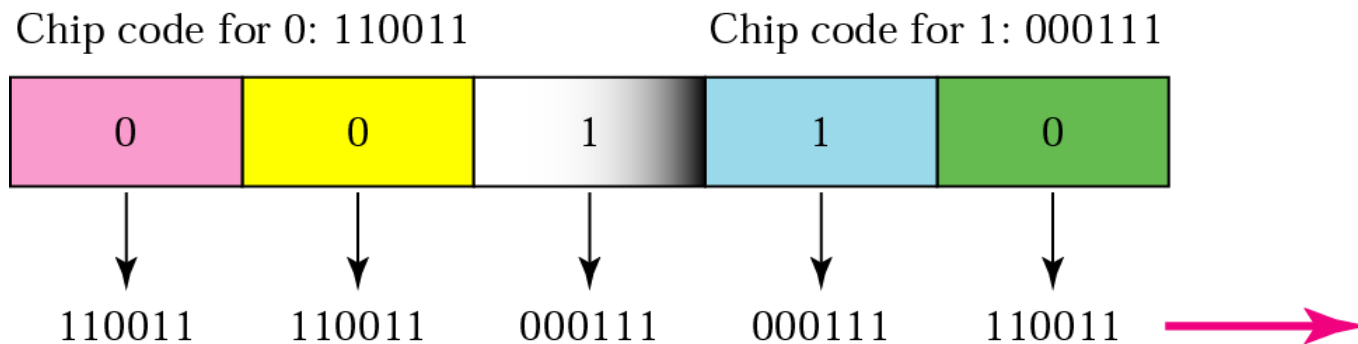
LANs sem fio IEEE 802.11

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

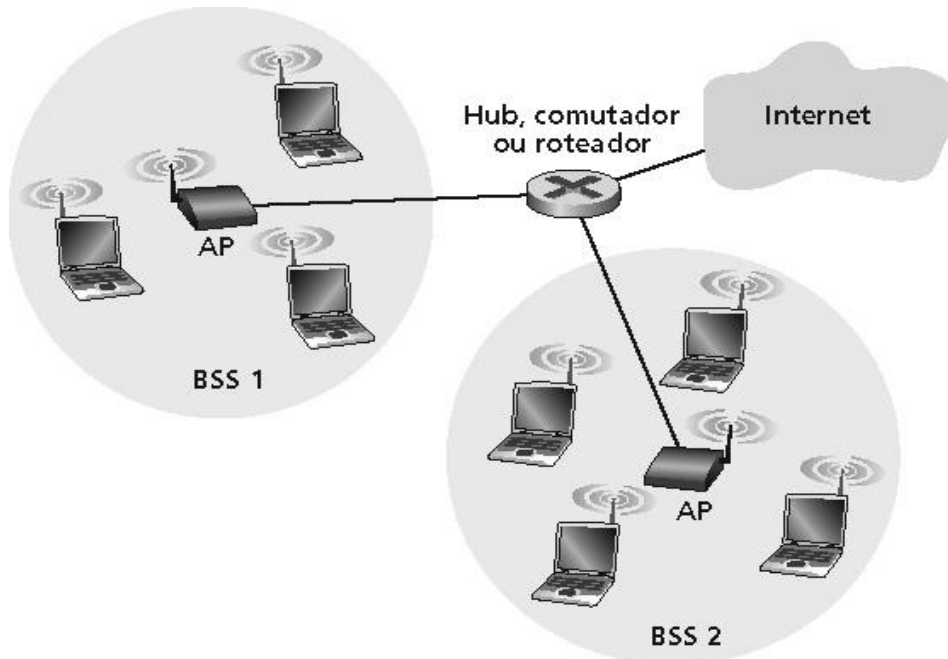


IEEE 802.11 - camada física

□ DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*):



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

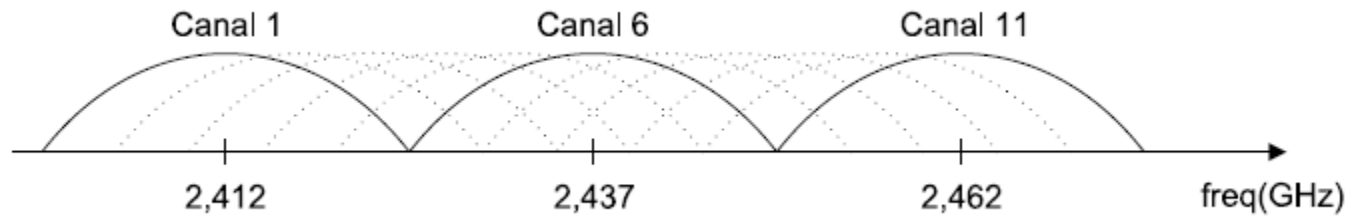
IEEE 802.11: canais e associação

- ❑ 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

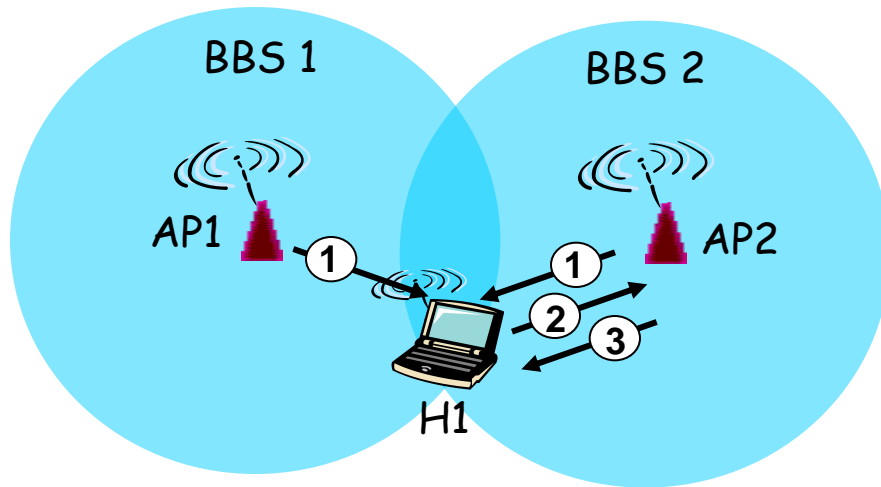
IEEE 802.11: canais e associação

- Único conjunto de três canais não sobrepostos:



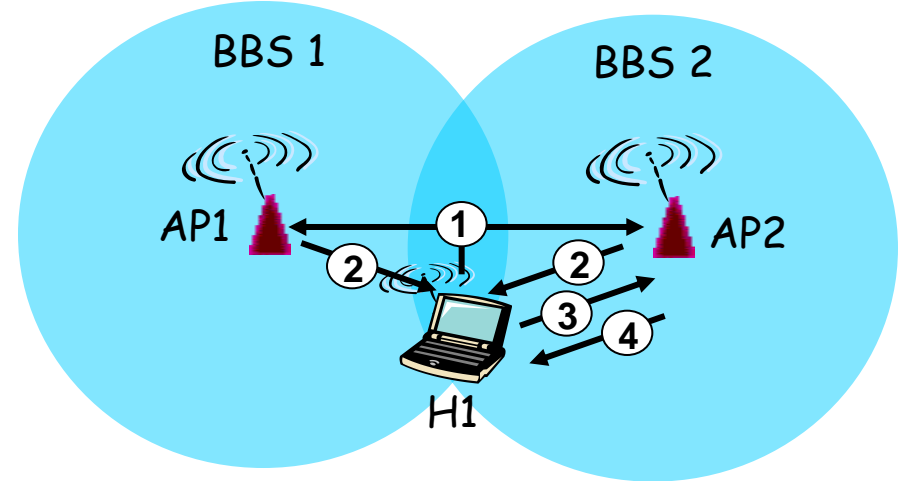
Channel	Lower Frequency	Center Frequency	Upper Frequency
1	2.401	2.412	2.423
2	2.404	2.417	2.428
3	2.411	2.422	2.433
4	2.416	2.427	2.438
5	2.421	2.432	2.443
6	2.426	2.437	2.448
7	2.431	2.442	2.453
8	2.436	2.447	2.458
9	2.441	2.452	2.463
10	2.451	2.457	2.468
11	2.451	2.462	2.473

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

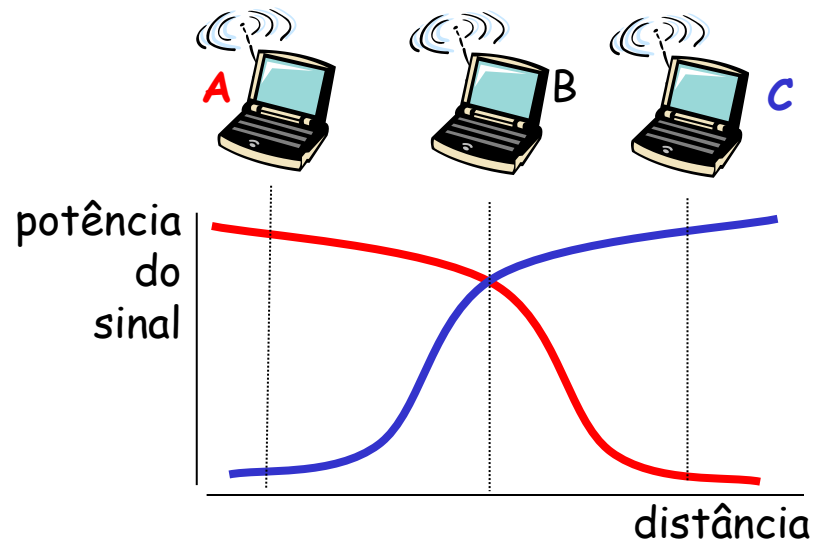
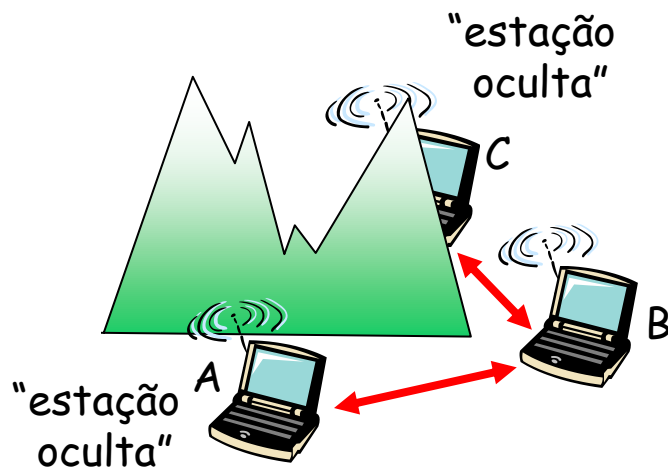


Varredura ativa:

- (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)

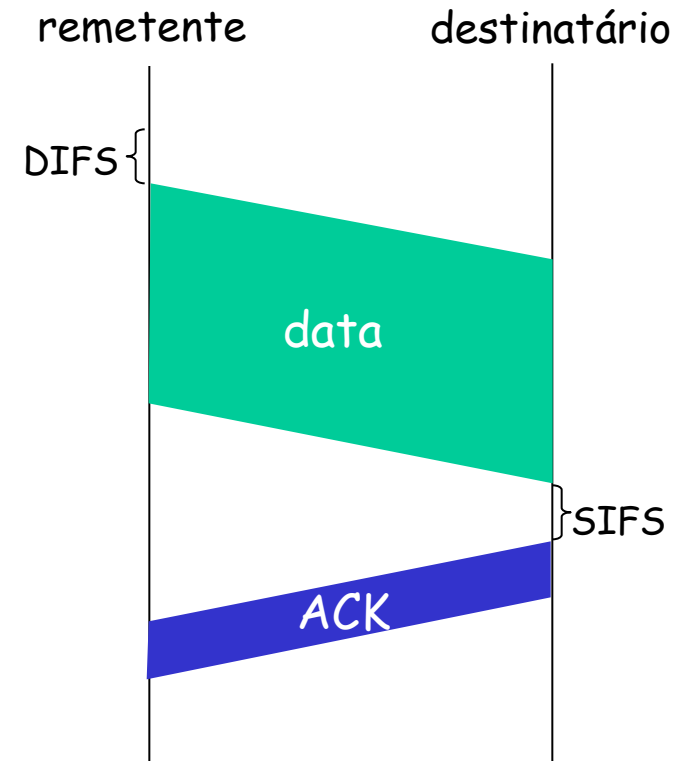
(2) **Se o canal é detectado ocupado, então**

- 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.

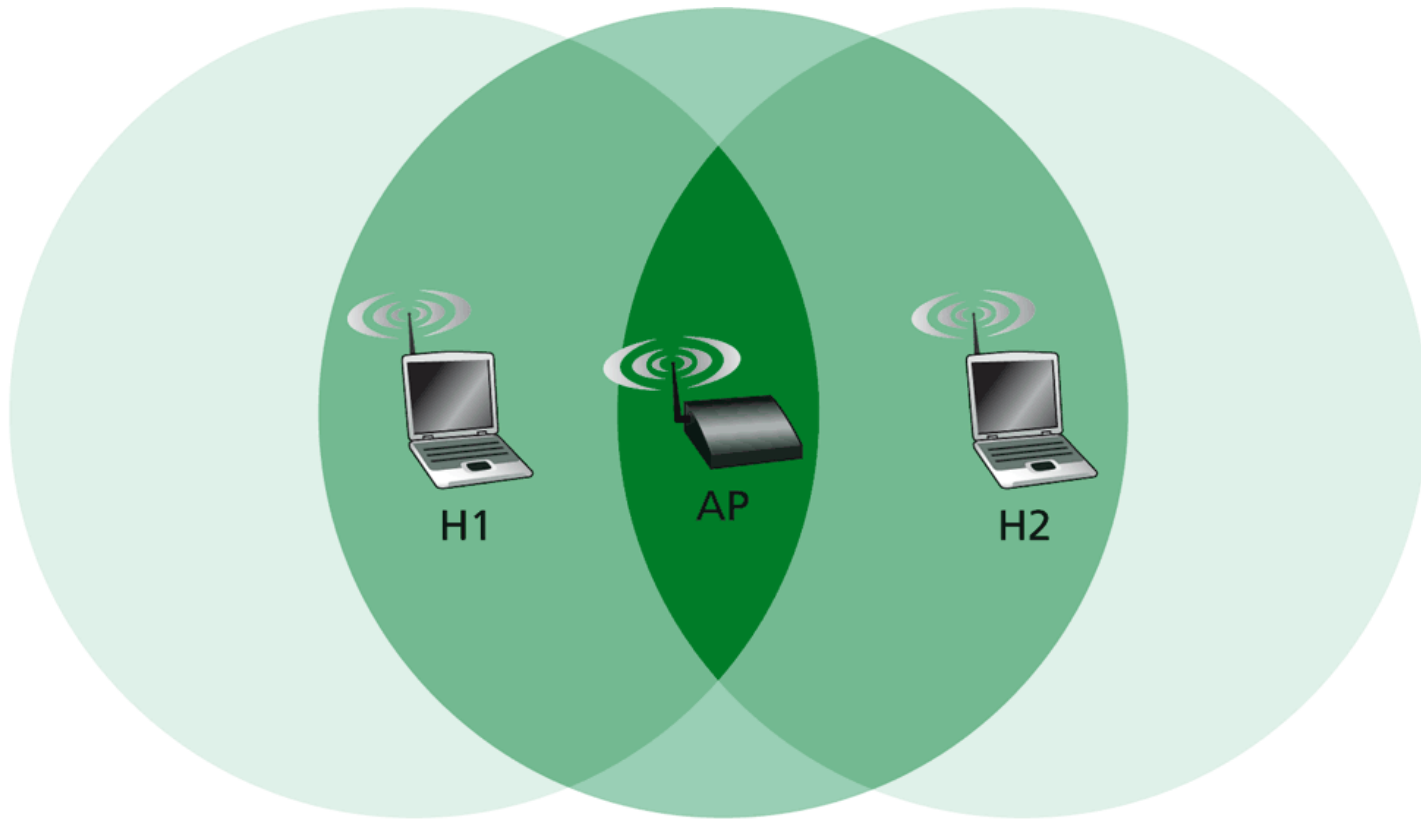


CSMA/CA: prevenção de colisão

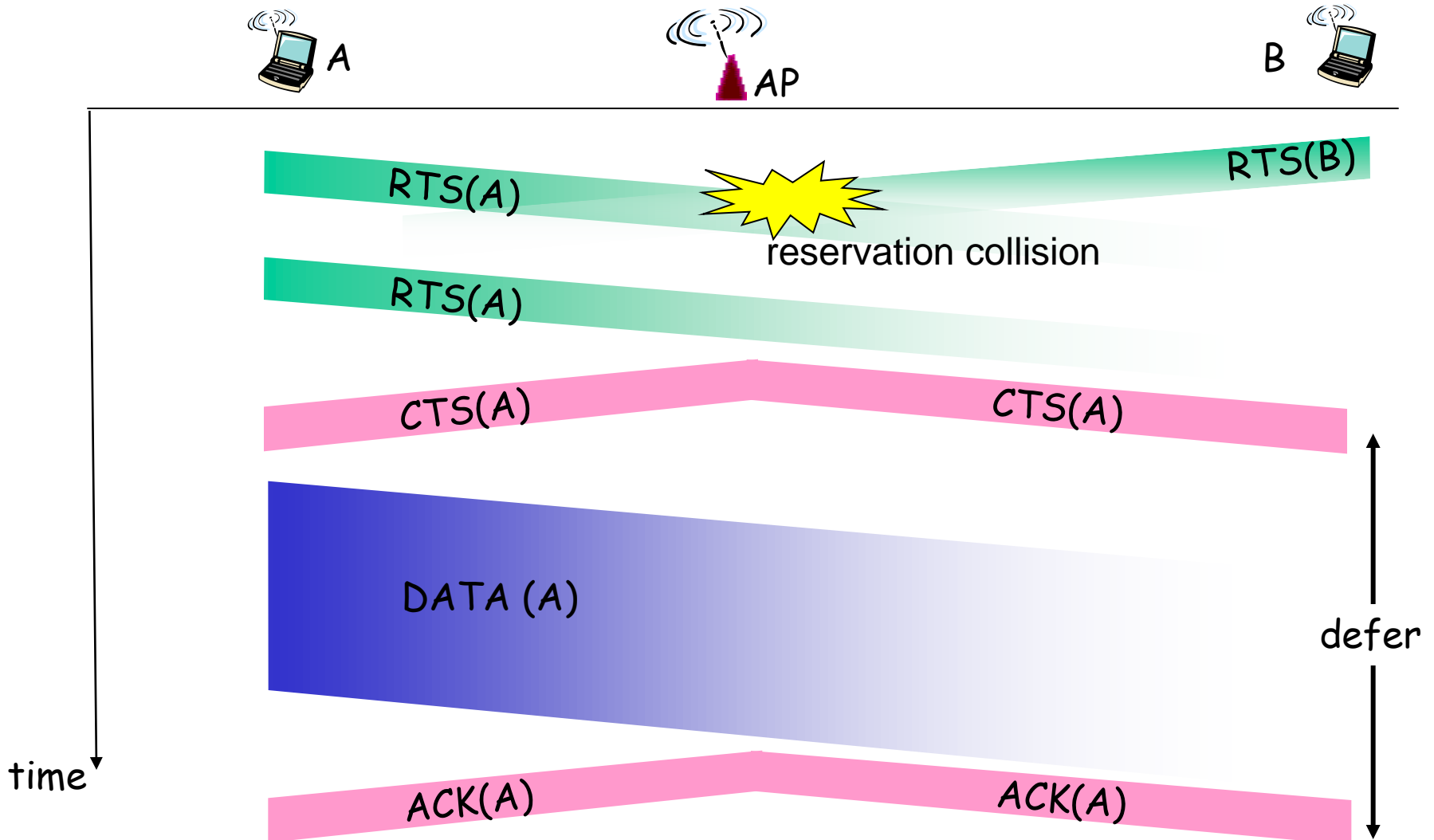
Idéia básica: na presença de estações ocultas, permitir ao nó remetente "reservar" o canal, ao contrário de acessá-lo aleatoriamente → **evita a colisão de quadros longos**

- ❑ 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

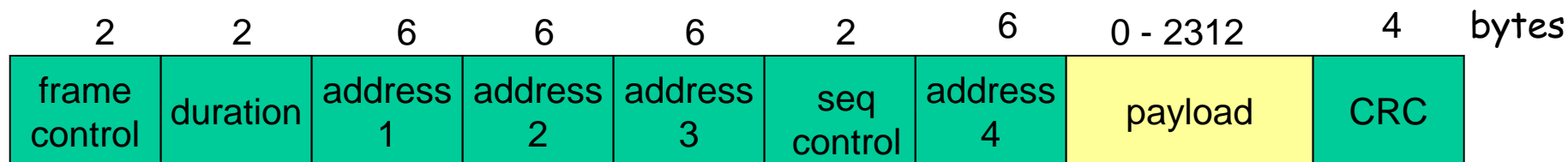
CSMA/CA: prevenção de colisão



Prevenção de colisão usando quadros RTS e CTS



Quadro IEEE 802.11: endereçamento



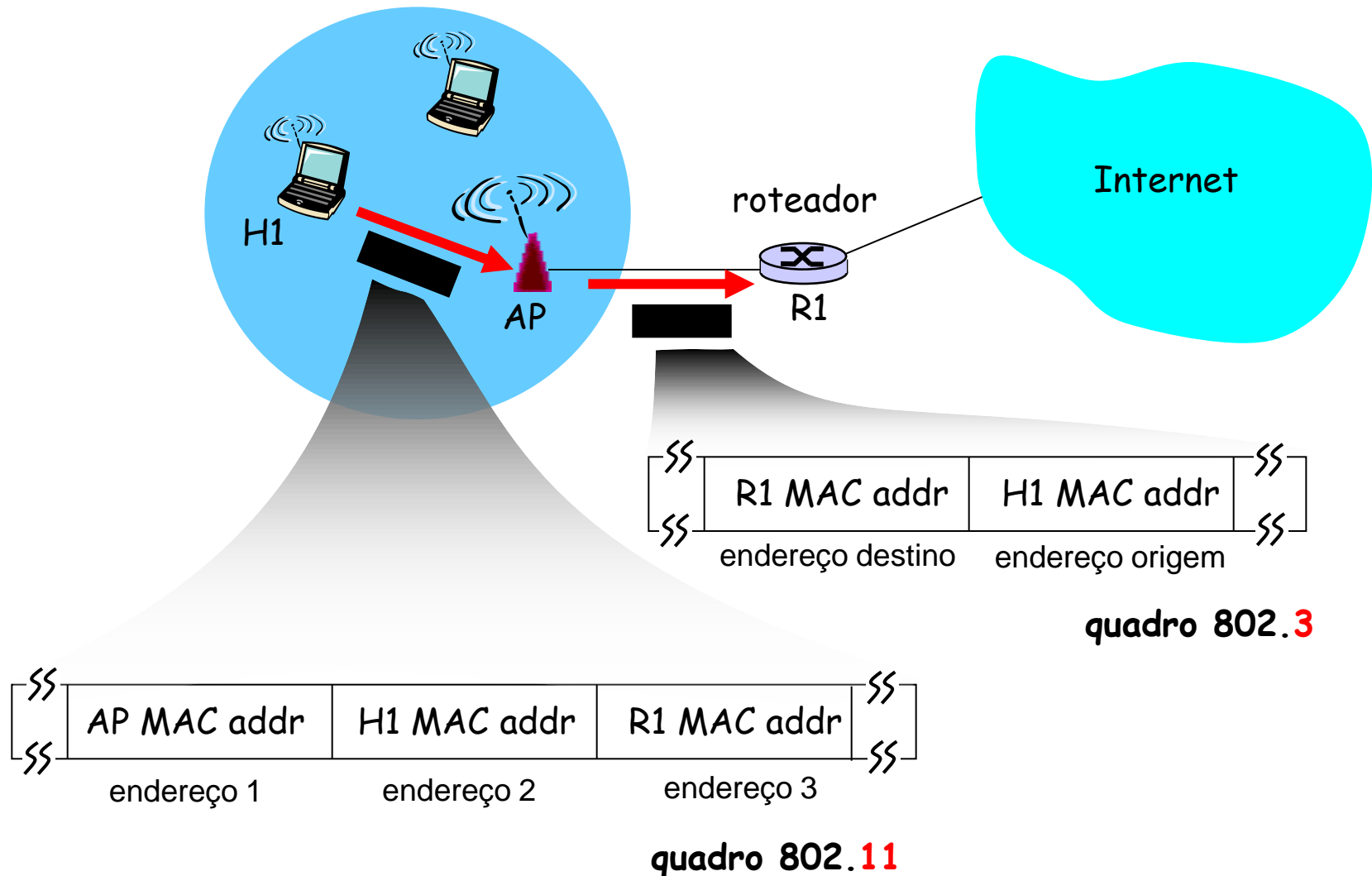
Endereço 1: endereço MAC da estação sem fio que deve receber o quadro. (ou do AP destinatário quando a estação sem fio transmitir)

Endereço 2: endereço MAC do AP remetente. (ou da estação sem fio que transmite o quadro)

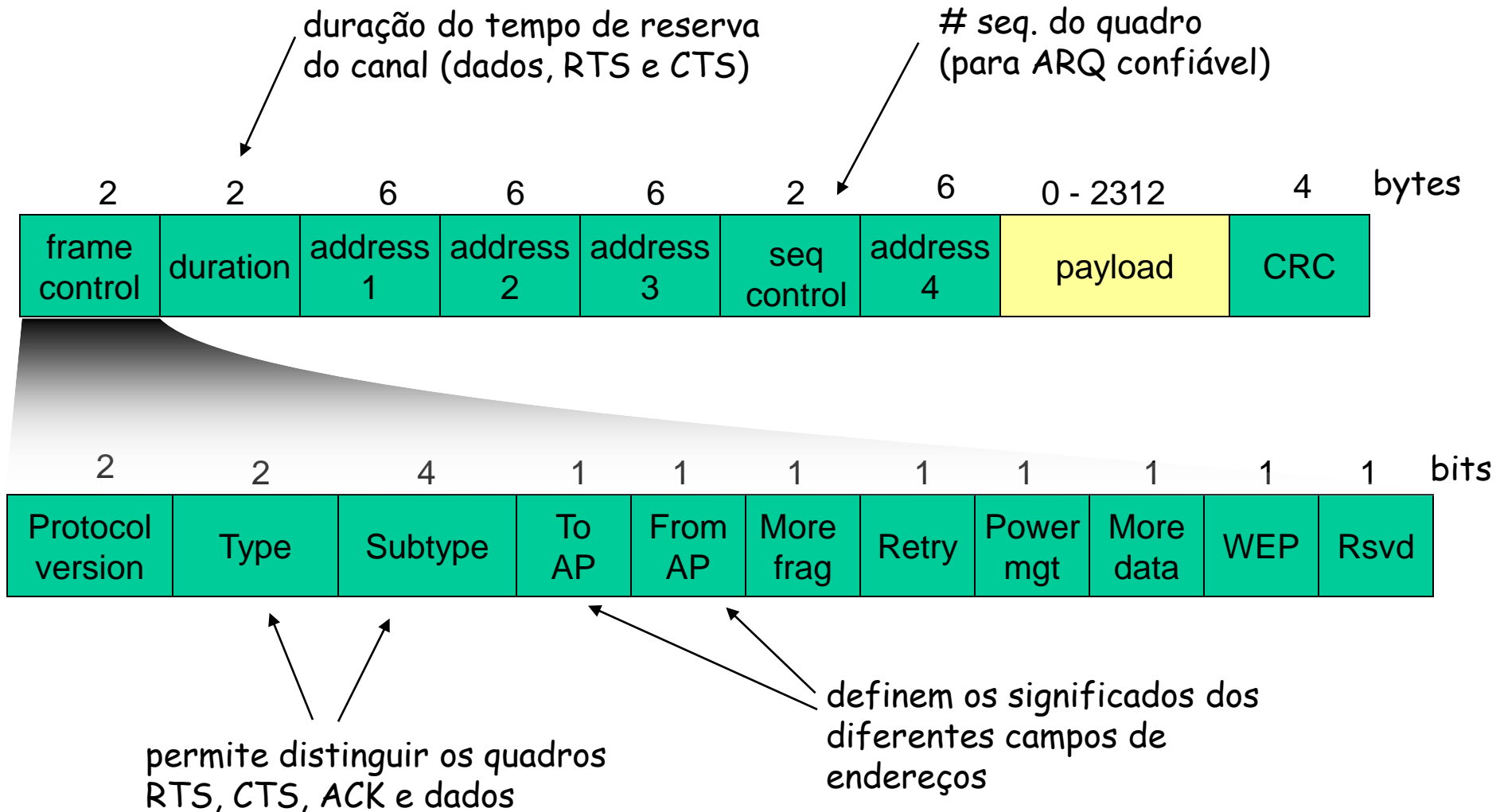
Endereço 3: endereço MAC da interface do roteador à qual o AP está ligado

Endereço 4: usado somente no modo ad hoc

Quadro IEEE 802.11: endereçamento - exemplo



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]

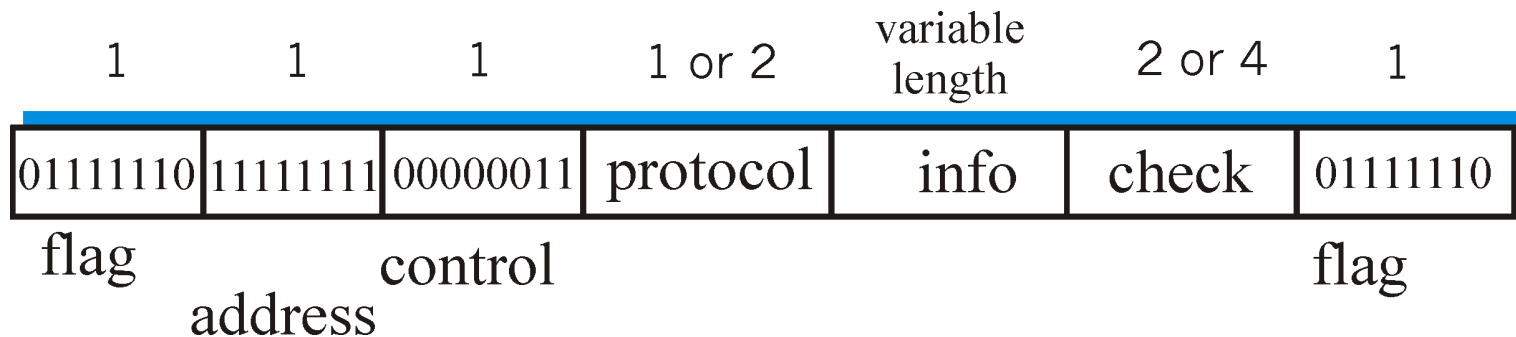
- ❑ montagem de quadros: encapsulamento de pacotes
- ❑ transparência de bits: deve possibilitar o transporte de qualquer padrão de bits no campo de dados
- ❑ detecção de erros (porém, sem correção)
- ❑ suporte para múltiplos protocolos da camada de rede
- ❑ manutenção da conexão: capacidade de detectar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

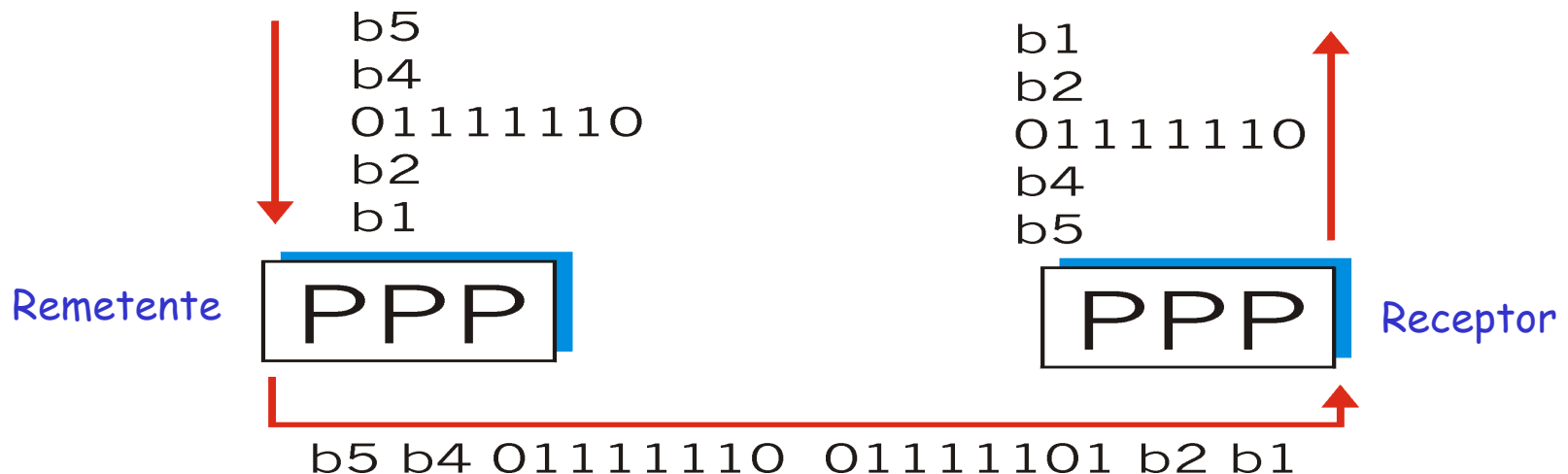
Quadro de dados PPP

- ❑ **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 01111110 e não ser interpretado como um *flag*
- ❑ **Remetente:**
 - se 01111110 aparecer fora dos campos de *flag*, então a sequência 01111101 precederá cada **byte de dados** 01111110 (*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

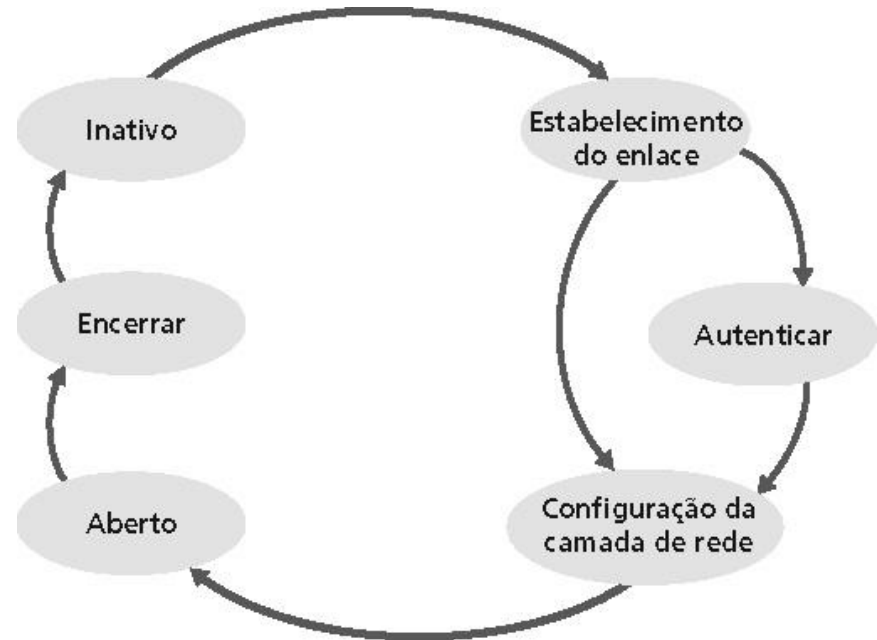
Antes de iniciar a transferência de dados, o PPP deve:

❑ 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.



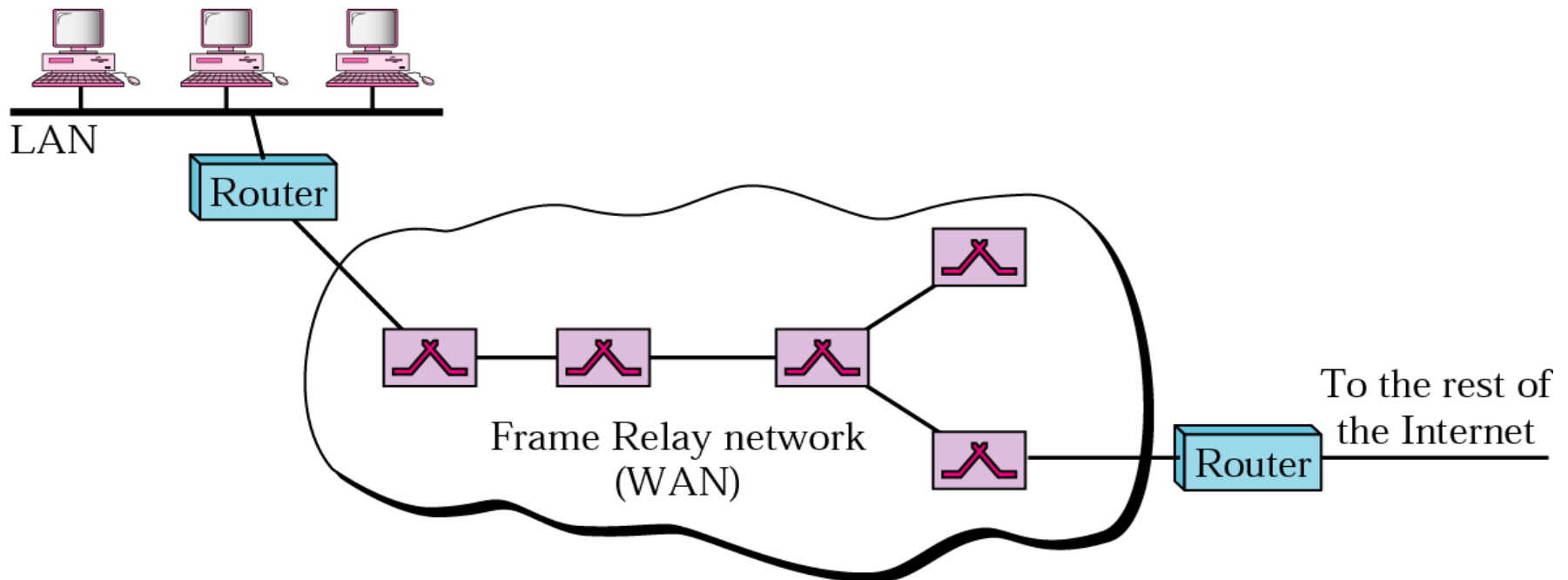
Virtualização de Enlace: uma rede como camada de enlace

- ❑ A camada de rede (IP) torna tudo homogêneo
 - lembre-se da analogia com um sistema de transporte

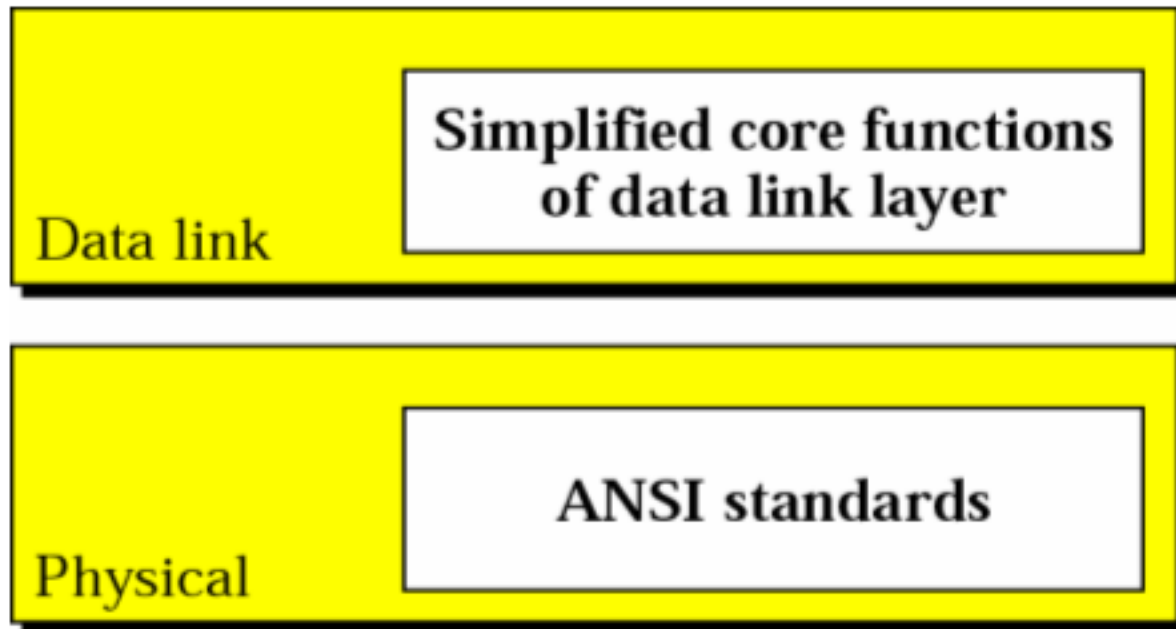
- ❑ Da perspectiva da Internet, todas as tecnologias subjacentes à camada de rede são tecnologias de camada de enlace
 - enlaces de cabos metálicos e de fibra óptica
 - enlaces sem fio (microondas) e de satélite
 - Frame Relay
 - ATM e MPLS

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

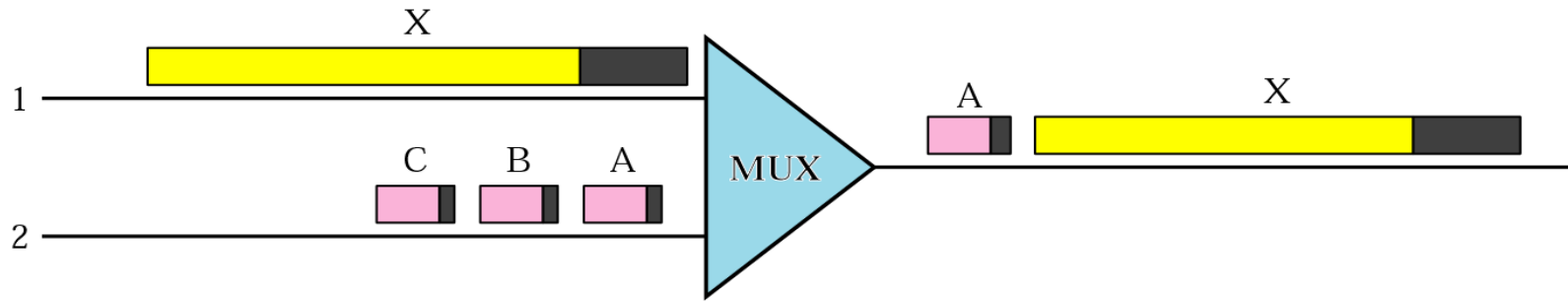
Final dos anos 80:

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

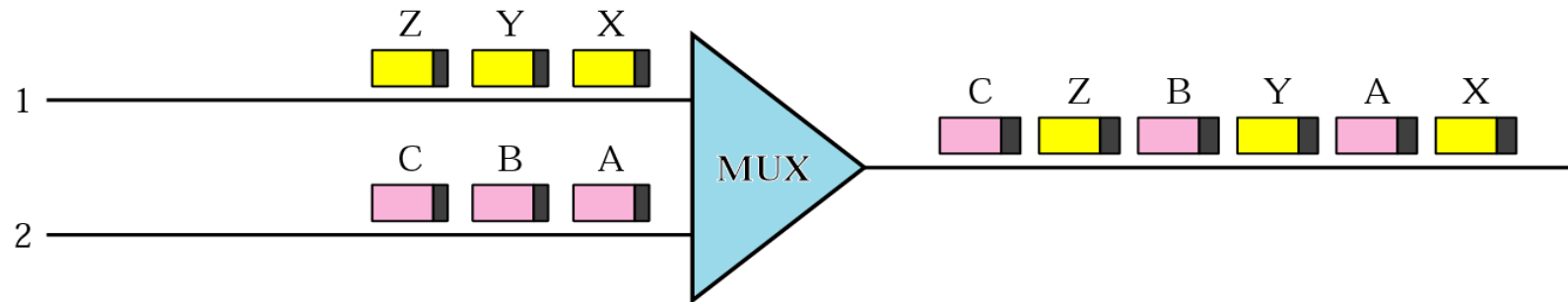
Princípios de ATM:

- ❑ 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*)

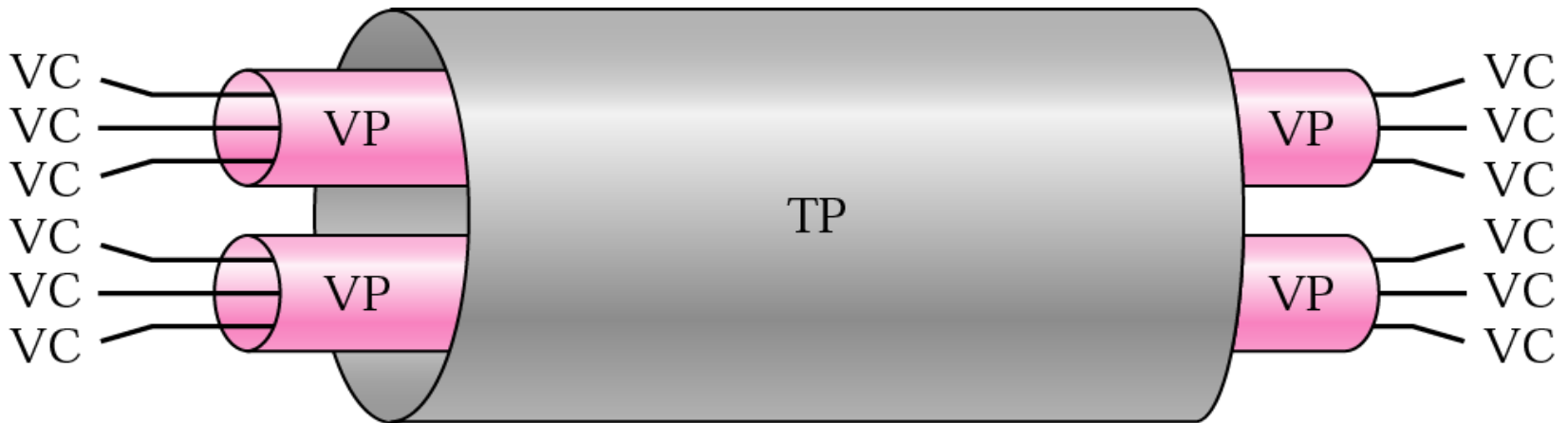
Multiplexação de quadros de tamanhos diferentes:



Multiplexação de células:

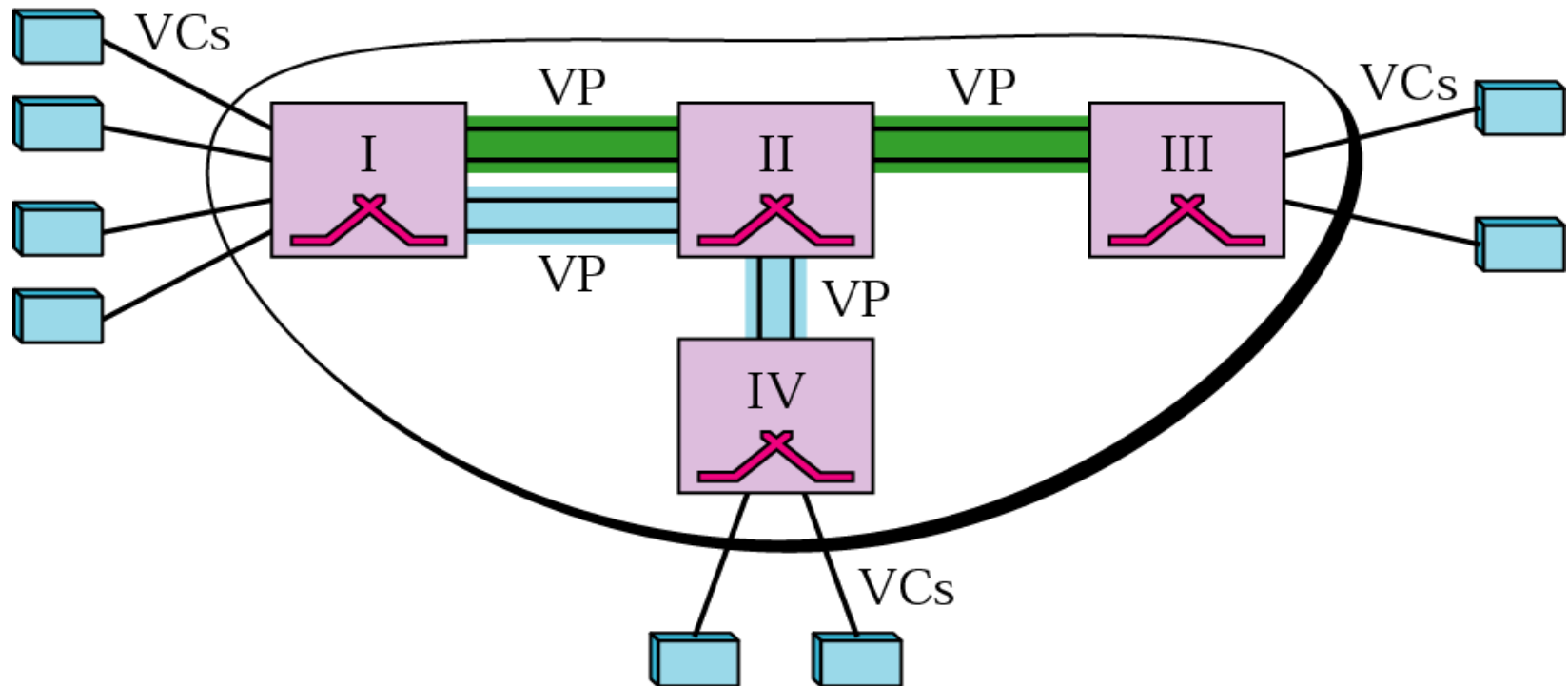


Rede de VPs (Virtual Paths) e VCs (Virtual Channels)

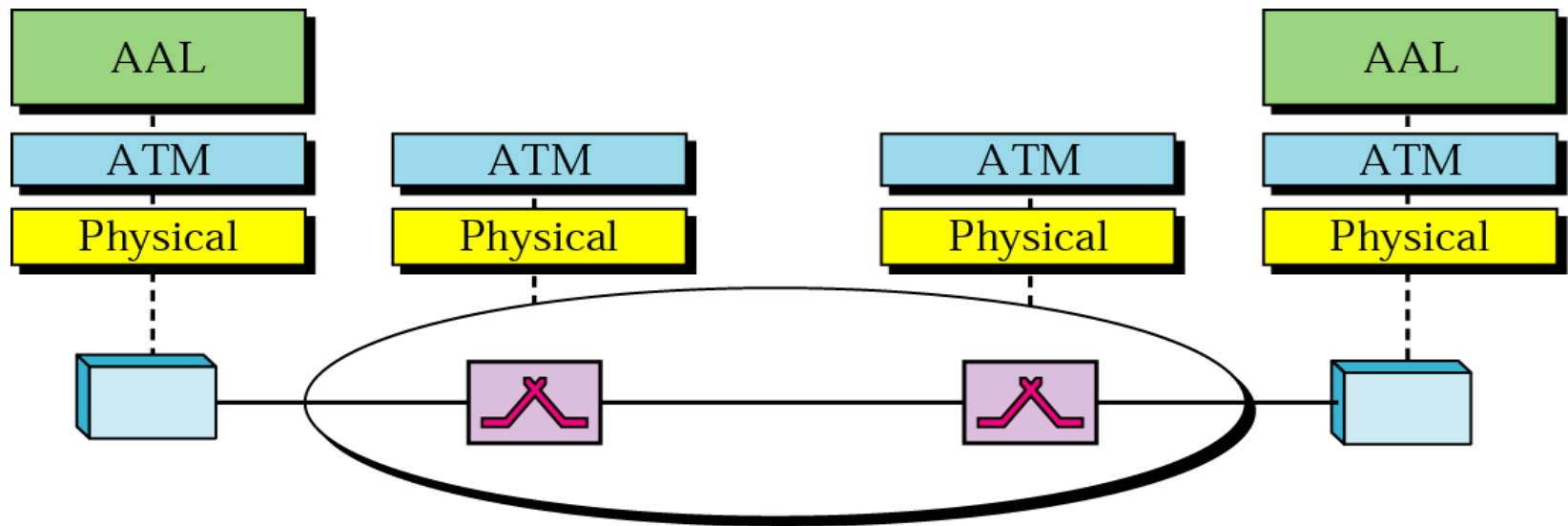


TP = *Transmission Path*

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

