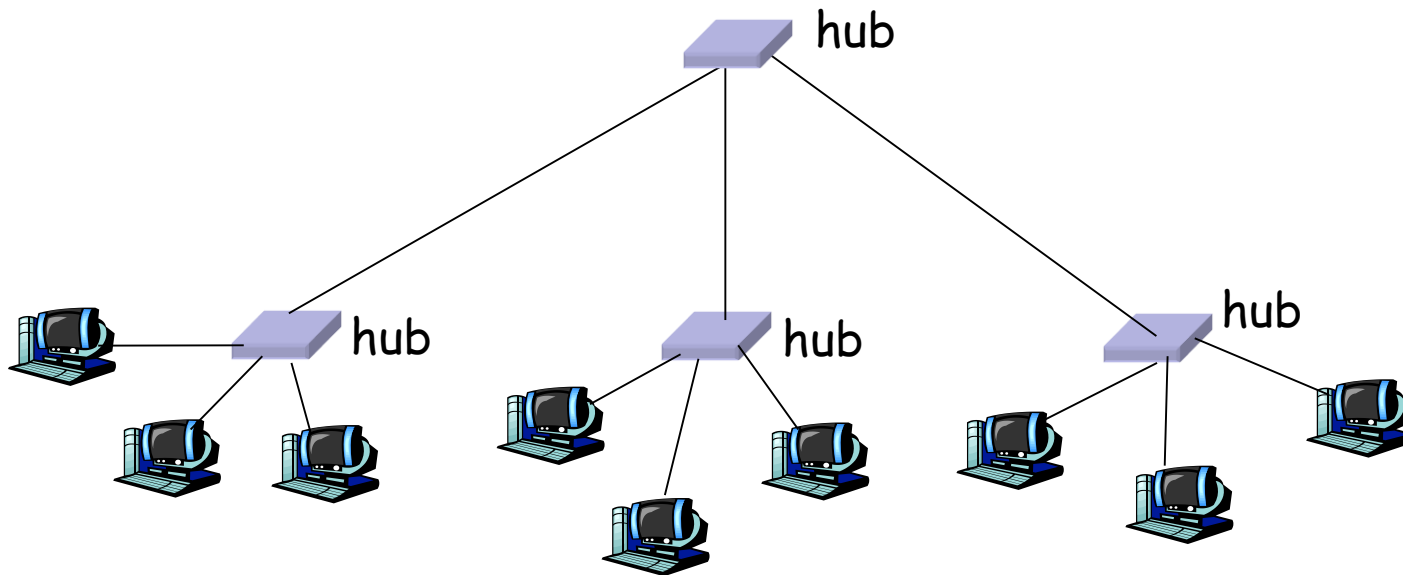


# Camada de Enlace

- ❑ 5.1 Introdução e serviços
- ❑ 5.2 Detecção e correção de erros
- ❑ 5.3 Protocolos de Acesso Múltiplo
- ❑ 5.4 Endereçamento da Camada de Enlace
- ❑ 5.5 Ethernet
- ❑ 5.6 *Interconexões: Hubs e switches*
- ❑ 5.7 PPP
- ❑ 5.8 Virtualização do enlace: ATM e MPLS

# Interconexão com hubs

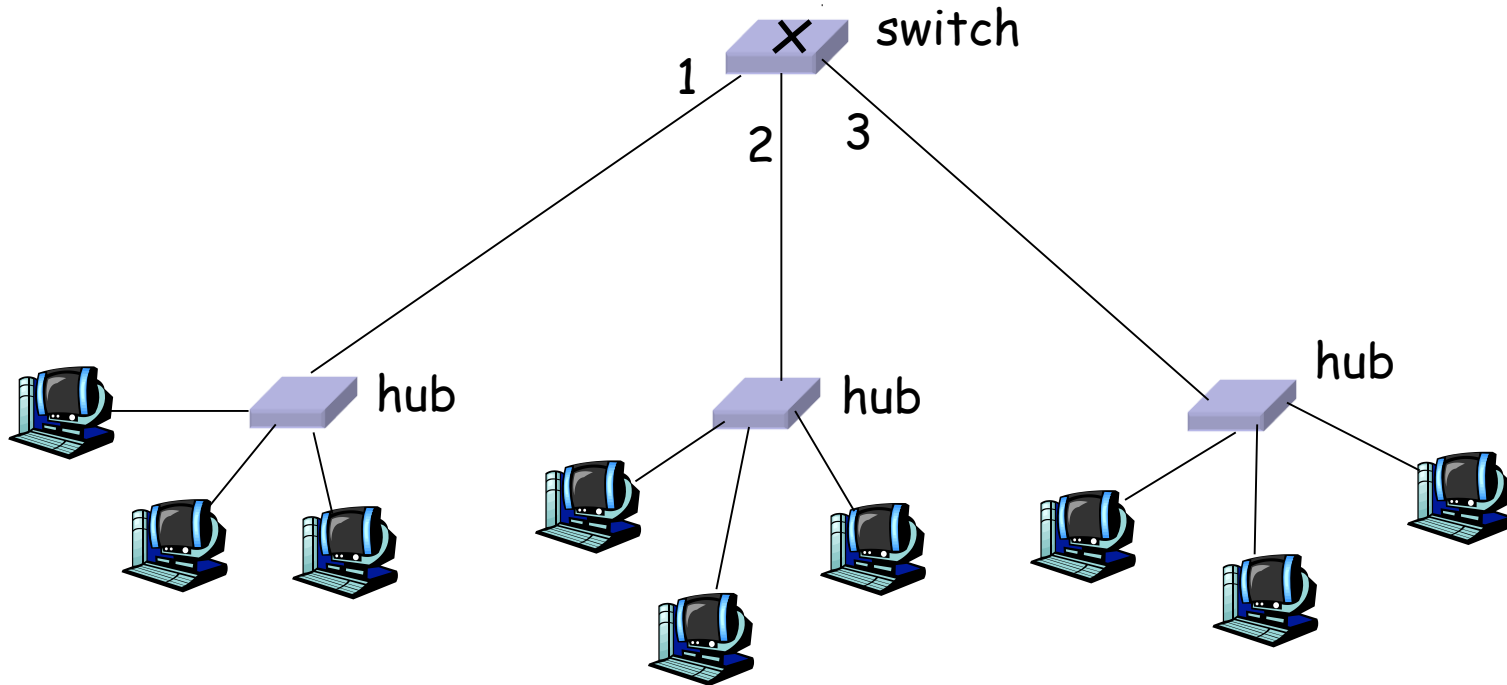
- ❑ *Hub no backbone* interconecta segmentos de LAN
- ❑ Estende a distância máxima entre nós
- ❑ Mas os domínios de colisão de segmentos individuais tornam-se um grande domínio de colisão
- ❑ Não dá para interligar 10Base T com 100BaseT



# Switch (comutador)

- ❑ Dispositivo da camada de enlace
  - armazena e retransmite quadros Ethernet
  - examina o cabeçalho do quadro e **seletivamente** encaminha o quadro baseado no endereço MAC do destino
  - quando o quadro deve ser encaminhado num segmento, usa o CSMA/CD para acessá-lo
- ❑ transparente
  - *hosts* ignoram a presença dos *switches*
- ❑ plug-and-play, self-learning (auto aprendizado)
  - *switches* não necessitam ser configurados

# Encaminhamento



- Como determina em que segmento de LAN deve encaminhar o quadro?
- Parece um problema de roteamento...

# Auto aprendido

- ❑ Um switch possui uma **tabela de comutação**
- ❑ entrada na tabela de comutação:
  - (Endereço MAC, Interface, Carimbo de tempo)
  - entradas antigas na tabela são descartadas (TTL pode ser de 60 min)
- ❑ switch **aprende** que hosts podem ser alcançados através de quais interfaces
  - quando um quadro é recebido, o switch "aprende" a localização do transmissor: segmento de LAN de onde ele veio
  - registra o par transmissor/localização na tabela de comutação

# Filtragem/Encaminhamento

Quando um switch recebe um quadro:

indexa a tabela de comutação usando o endereço MAC do destino

**if** entrada encontrada para o destino  
**then**{

**if** dest estiver no segmento de onde veio o quadro  
    **then** descarta o quadro

**else** encaminha o quadro na interface indicada

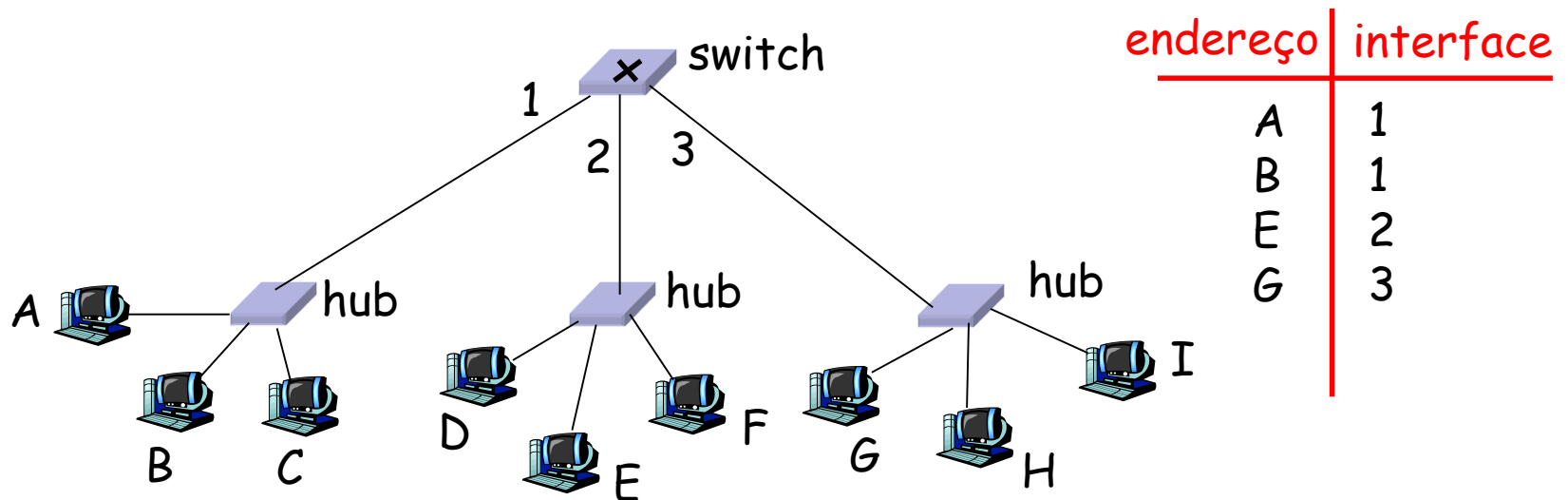
    }

**else** usa inundação

*Encaminha o quadro para todas as demais interfaces exceto aquela em que o quadro foi recebido*

# Exemplo com Switch

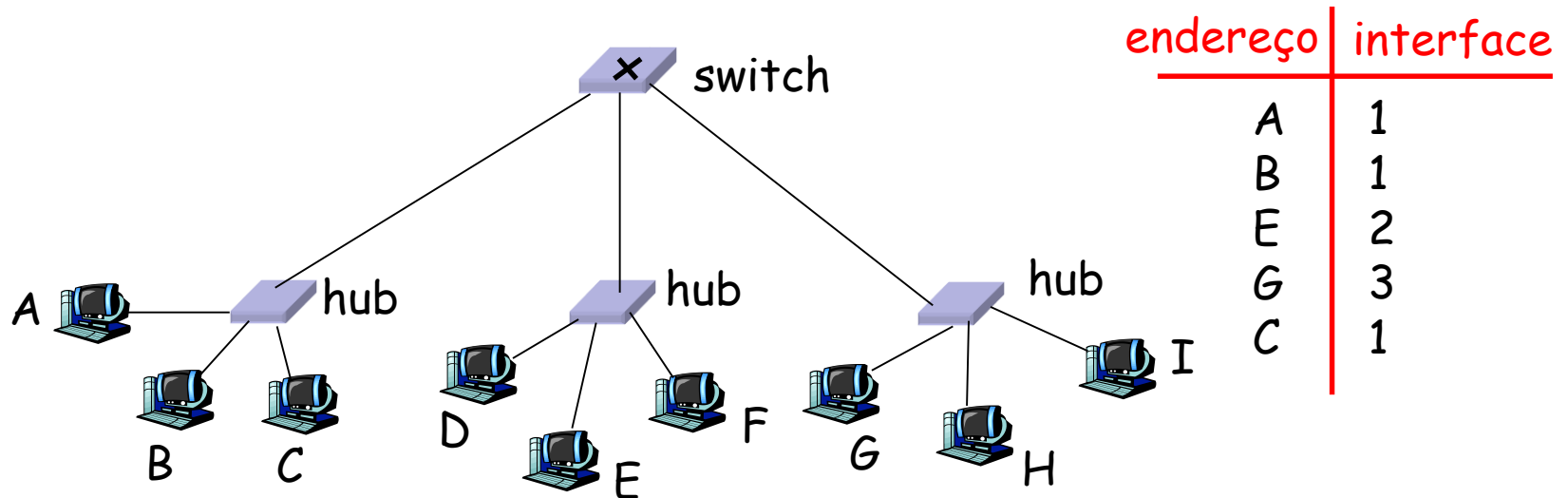
Suponha que C envia quadro para D



- ❑ *Switch* recebe o quadro vindo de C
  - anota na tabela de comutação que C está na interface 1
  - dado que D não se encontra na tabela, encaminha o quadro para as demais interfaces: 2 e 3
- ❑ quadro é recebido por D

# Exemplo com Switch

Suponha que D responde com um quadro para C.

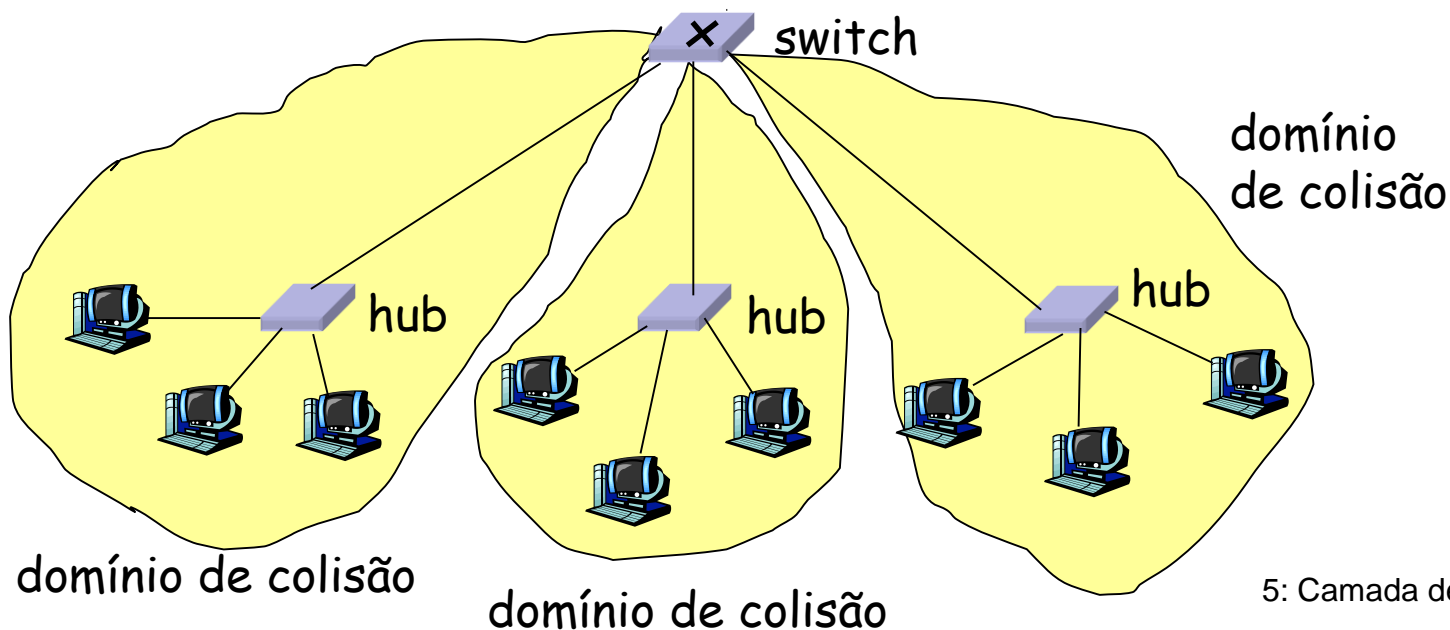


- ❑ *Switch* recebe o quadro vindo de D
  - anota na tabela de comutação que D está na interface 2
  - dado que C está na tabela, encaminha o quadro apenas na interface 1
- ❑ quadro é recebido por C



# Switch: isolamento de tráfego

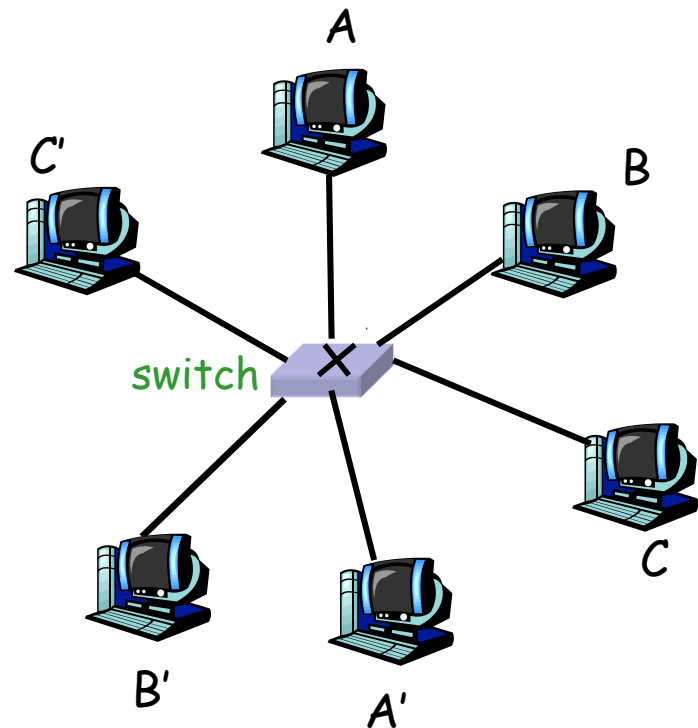
- ❑ Instalação do *switch* quebra a subrede em diversos segmentos de LAN
- ❑ *switch* **filtra** os pacotes:
  - quadros do mesmo segmento de LAN não são normalmente encaminhados para os outros segmentos
  - segmentos tornam-se **domínios de colisão** separados



# Switches: acesso dedicado

- ❑ Switch com diversas interfaces
- ❑ Hosts têm conexão direta com o switch
- ❑ Sem colisões; full duplex

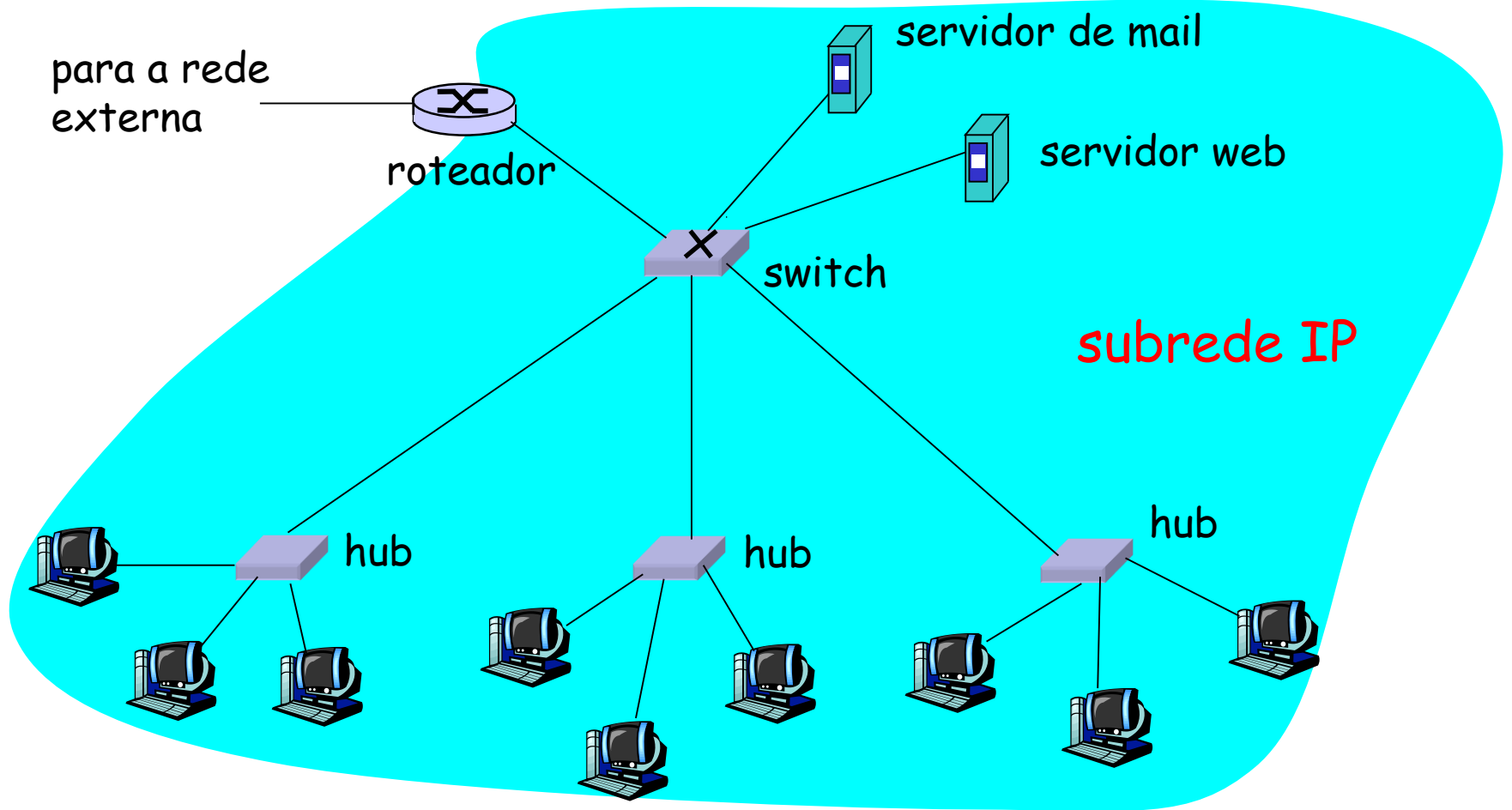
**Comutação:** A-para-A' e B-para-B' simultaneamente, sem colisões



# Mais sobre *Switches*

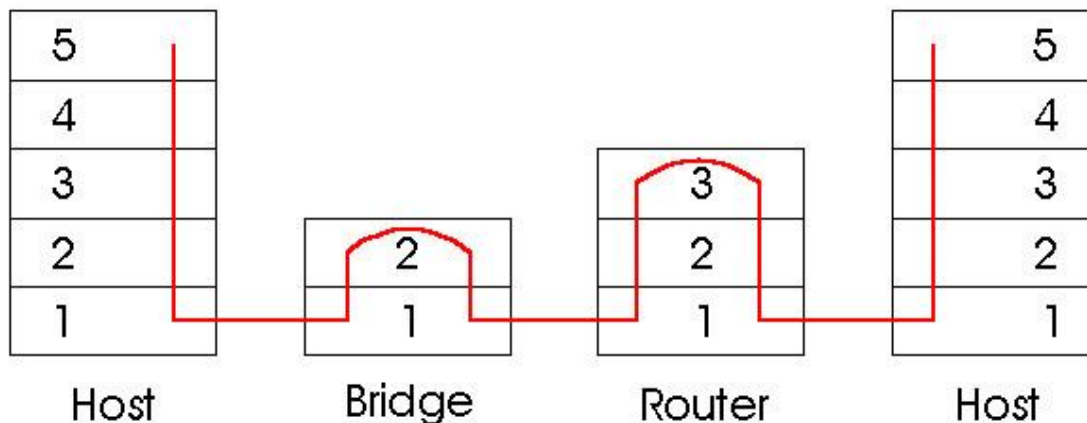
- ❑ **comutação *cut-through***: quadro é encaminhado da porta de entrada para a porta de saída antes de ter sido recebido todo o quadro
  - redução na latência
- ❑ permite diversas combinações de interfaces compartilhadas/dedicadas de 10/100/1000 Mbps

# Rede Institucional/corporativa



# Switches vs. Roteadores

- ❑ ambos são dispositivos do tipo armazena-e-encaminha
  - roteadores: dispositivos da camada de rede (examinam os cabeçalhos da camada de rede)
  - switches são dispositivos da camada de enlace
- ❑ roteadores mantêm tabelas de roteamento, implementam algoritmos de roteamento
- ❑ switches mantêm tabelas de comutação, implementam filtragem, algoritmos de aprendizado



# Comparação resumo

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

# Camada de Enlace

- ❑ 5.1 Introdução e serviços
- ❑ 5.2 Detecção e correção de erros
- ❑ 5.3 Protocolos de Acesso Múltiplo
- ❑ 5.4 Endereçamento da Camada de Enlace
- ❑ 5.5 Ethernet
- ❑ 5.6 Interconexões: *Hubs e switches*
- ❑ 5.7 PPP
- ❑ 5.8 Virtualização do enlace: ATM e MPLS

# Controle de Enlace de Dados Ponto a Ponto

- um transmissor, um receptor, um canal: mais fácil que um canal de difusão:
  - sem controle de acesso ao meio (MAC)
  - sem necessidade de endereçamento MAC explícito
  - ex.: canal discado, canal ISDN/RDSI
- protocolos de enlace ponto a ponto populares:
  - PPP (*point-to-point protocol*)
  - HDLC: *High level data link control* - Controle de Enlace de Dados de Alto Nível (enlace de dados era considerado "alto nível" na pilha de protocolos")



# Requisitos de Projeto do PPP [RFC 1557]

- ❑ **delimitação dos pacotes:** encapsulamento de datagramas da camada de rede em quadro da camada de enlace
  - transporta dados da camada de rede de qualquer protocolo de camada de rede (não apenas do IP) simultaneamente
  - habilidade de demultiplexar para cima
- ❑ **transparência de bits:** deve transportar qualquer padrão de bits no campo de dados
- ❑ **detecção de erros** (sem correção)
- ❑ **manutenção da conexão:** detecta, indica falhas do enlace para a camada de rede
- ❑ **Negociação do endereço da camada de rede:** pontos terminais podem aprender/configurar o endereço de rede do outro

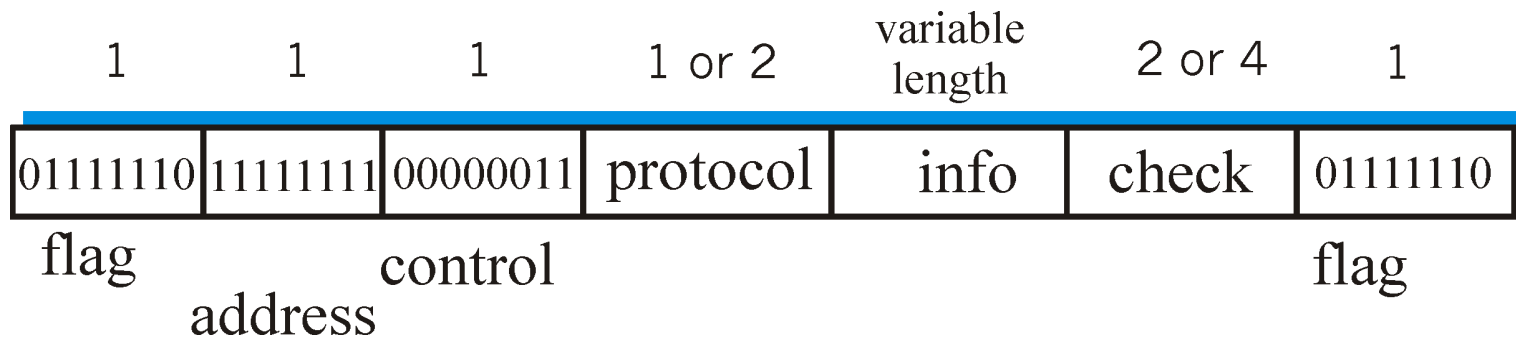
# não-requisitos do PPP

- ❑ não faz correção/recuperação de erros
- ❑ sem controle de fluxo
- ❑ entrega fora de ordem OK
- ❑ sem necessidade de dar suporte a canais multiponto (ex., *polling*)

Recuperação de erros, controle de fluxo e reordenamento dos dados todos relegados a camadas superiores!

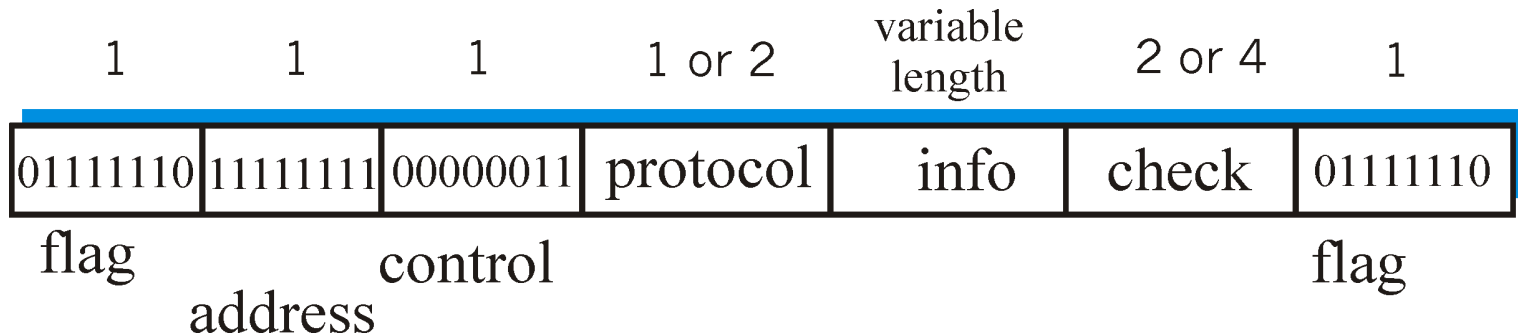
# Quadro de Dados do PPP

- ❑ **Flag:** delimitador (enquadramento)
- ❑ **Endereço:** não faz nada (apenas uma opção)
- ❑ **Controle:** não faz nada; no futuro pode ter múltiplos campos de controle
- ❑ **Protocolo:** protocolo da camada superior para o qual o quadro deve ser entregue (ex.: PPP-LCP, IP, IPCP, etc)



# Quadro de Dados do PPP

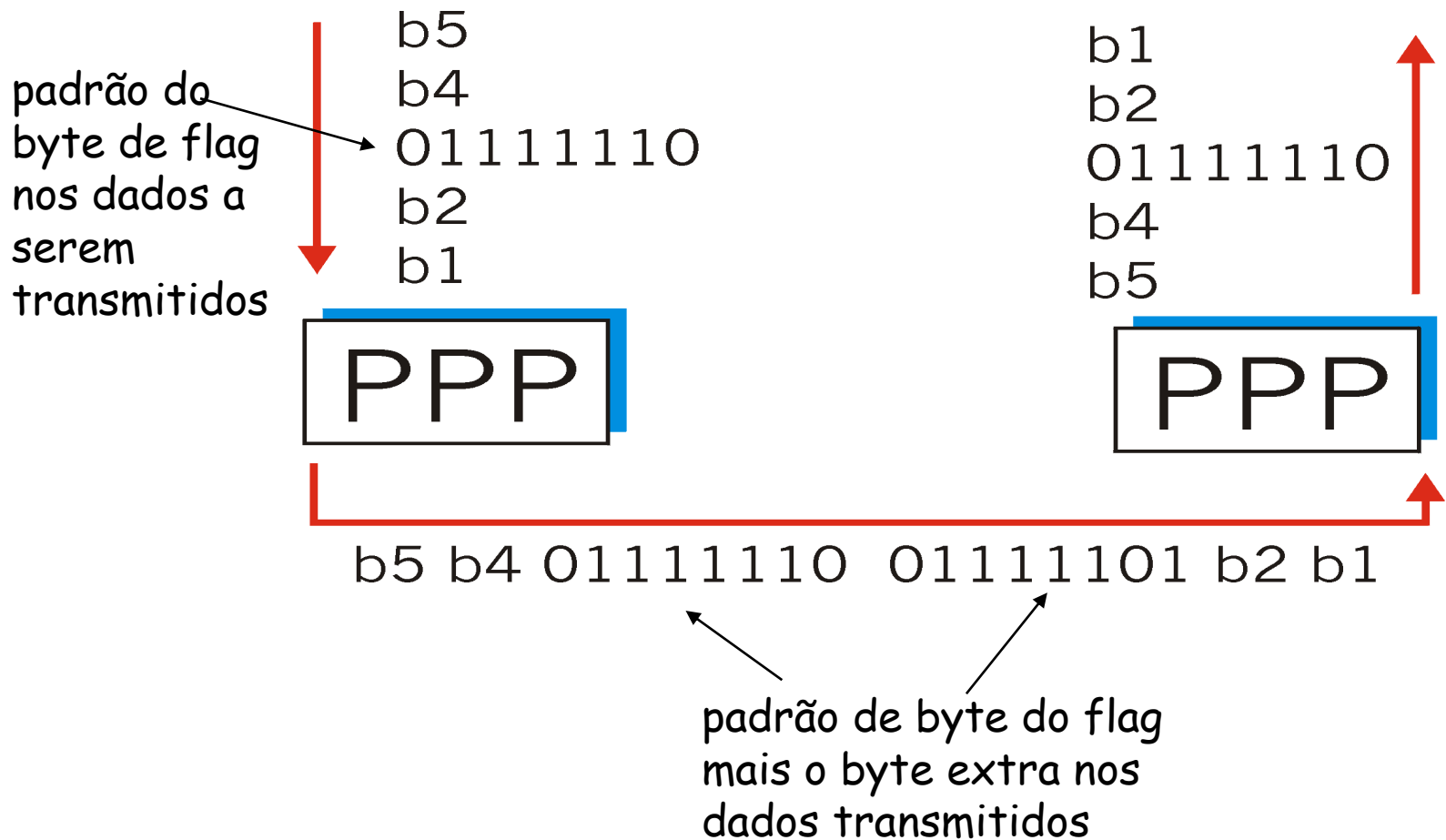
- ❑ **info**: dados da camada superior que estão sendo transportados
- ❑ **verificação (check)**: código de redundância cíclica para verificação de erros



# Enchimento de Bytes (*Byte Stuffing*)

- requisito de “transparência dos dados”: campo de dados deve poder incluir o padrão do flag <01111110>
  - P: o <01111110> recebido é dados ou *flag*?
  
- **Transmissor**: adiciona (“enche”) com byte <01111110> extra após cada byte < 01111110> de *dados*
- **Receptor**:
  - dois bytes 01111110 em seqüência: discarta o primeiro byte, continua com a recepção dos dados
  - apenas um 01111110: byte de *flag*

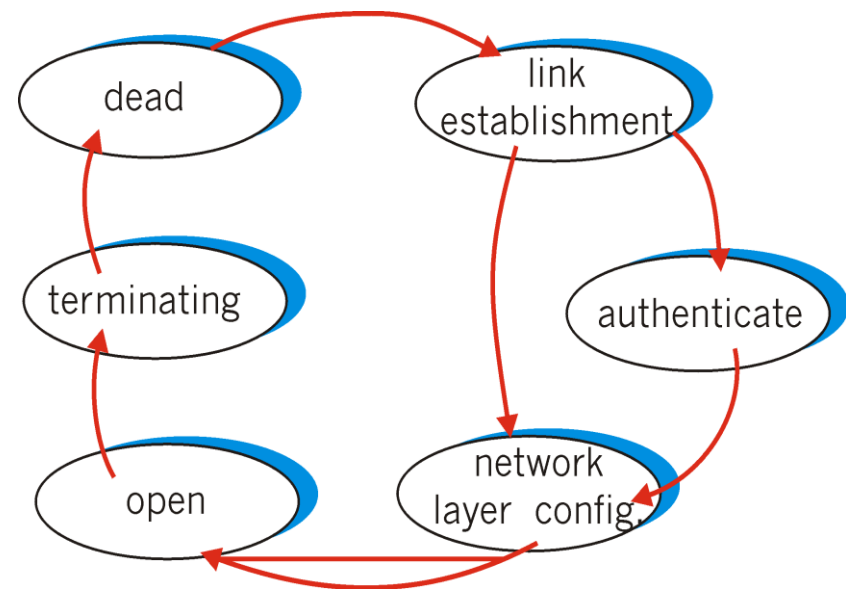
# Enchimento de Bytes



# Protocolo de Controle de Dados PPP

Antes de trocar dados da camada de rede, os parceiros do enlace de dados devem

- ❑ **configurar o enlace PPP** (compr. max. quadro, authentication)
- ❑ **Obtém/configura informações da camada de rede**
  - para IP: transporta msgs do Protocolo de Controle IP (IPCP) (campo de protocolo: 8021) para configurar/obter o endereço IP



# Camada de Enlace

- ❑ 5.1 Introdução e serviços
- ❑ 5.2 Detecção e correção de erros
- ❑ 5.3 Protocolos de Acesso Múltiplo
- ❑ 5.4 Endereçamento da Camada de Enlace
- ❑ 5.5 Ethernet
- ❑ 5.6 Interconexões: *Hubs e switches*
- ❑ 5.7 PPP
- ❑ 5.8 Virtualização do enlace:
  - ATM e MPLS
  - X.25 e Frame-Relay (apenas nas edições antigas)



# Virtualização das redes

Virtualização dos recursos: uma abstração poderosa para a engenharia de sistemas:

- ❑ Exemplos em computação: memória virtual, dispositivos virtuais
  - Máquinas virtuais: ex., java
  - SO VM da IBM VM nos anos 1960/70
- ❑ Abstrações em camadas: não apresenta os detalhes das camadas inferiores, lida com as camadas inferiores apenas de forma abstrata

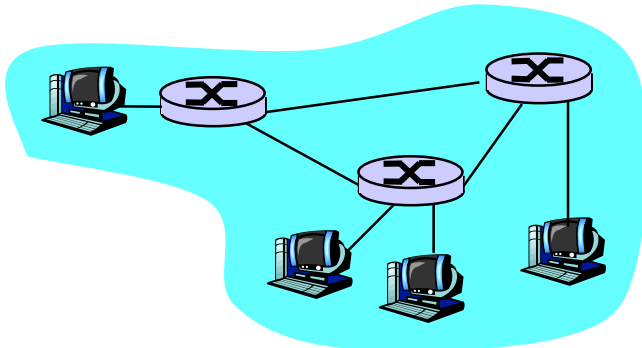
# A Internet: virtualizando as redes

1974: múltiplas redes desconectadas

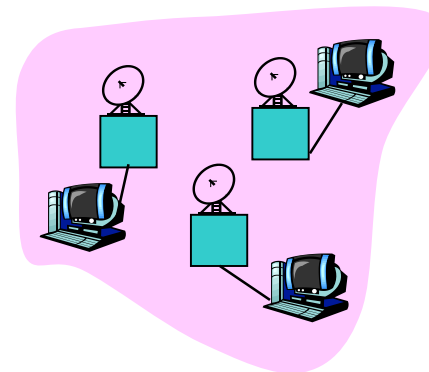
- ARPAnet
- redes de dados sobre cabos
- redes de pacotes via satélites (Aloha)
- redes de pacote via rádio

... com diferenças em:

- convenções de endereçamento
- formato dos pacotes
- recuperação de erros
- roteamento



ARPAnet



rede de satélites

"A Protocol for Packet Network Intercommunication",  
V. Cerf, R. Kahn, IEEE Transactions on Communications,  
May, 1974, pp. 637-648.

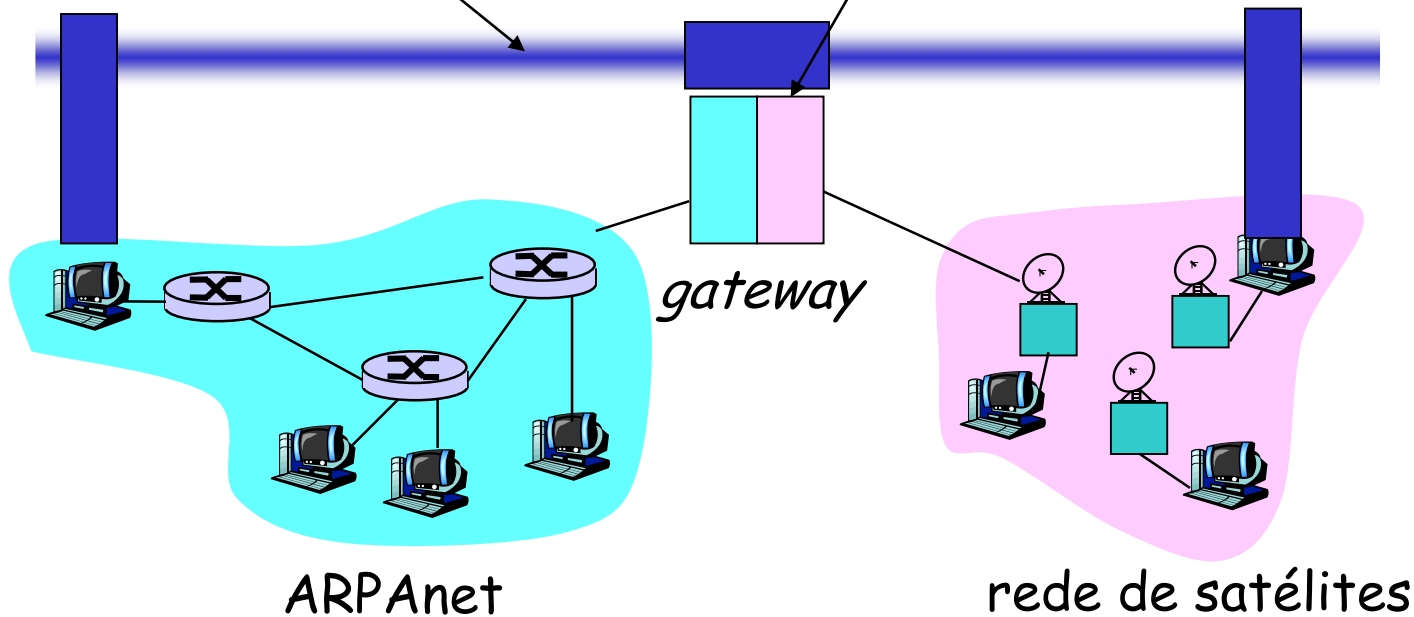
# A Internet: virtualizando as redes

Camada Interredes (IP - *Internetwork layer*):

- endereçamento: rede interconectada aparece como uma entidade única, uniforme, apesar da heterogeneidade das redes locais
- rede de redes

*Gateway.*

- "encapsula os pacotes interredes no formato do pacote local"
- encaminha (na camada interrede) para o próximo *gateway*



# Arquitetura Interredes de Cerf & Kahn

O que foi virtualizado?

- ❑ duas camadas de endereçamento: interrede e rede local
- ❑ nova camada (IP) torna tudo homogêneo na camada interrede
- ❑ tecnologia de rede local
  - Cabo
  - Satélite
  - Modem de 56Kbps
  - X.25 e Frame-relay
  - Hoje: ATM e MPLS
- ❑ ... “invisível” para a camada interrede. Para o IP parecem como tecnologias da camada de enlace!

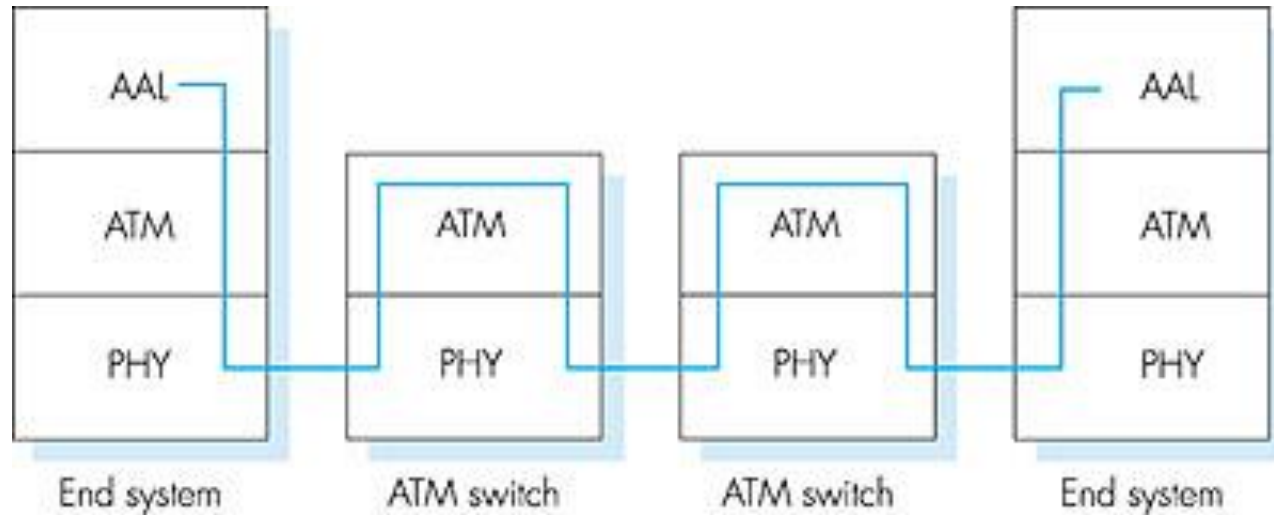
# ATM e MPLS

- ❑ ATM e MPLS são redes separadas com tudo o que têm direito!
  - modelos de serviços, endereçamento e roteamento diferentes dos usados na Internet
- ❑ vistos pela Internet como sendo um enlace lógico interconectando roteadores IP
  - da mesma forma que um enlace discado é na verdade parte de uma rede separada (a telefônica)
- ❑ ATM e MPLS: interesse técnico por seus próprios méritos

# ATM: Asynchronous Transfer Mode

- padrão de alta velocidade dos anos 1990's/00 (155Mbps a 622 Mbps e superiores) arquitetura da RDSI-FL (*Broadband Integrated Service Digital Network*)
- Objetivo: *transporte fim-a-fim integrado para voz, vídeo e dados*
  - atendendo os requisitos de sincronismo e QoS para voz e vídeo (versus o modelo de melhor esforço da Internet)
  - "próxima geração" da telefonia: raízes técnicas no mundo da telefonia
  - Comutação de pacotes (pacotes de comprimento fixos, denominados de "células") usando circuitos virtuais

# Arquitetura ATM



- ❑ **camada de adaptação:** apenas nas bordas de uma rede ATM
  - segmentação e remontagem dos dados
  - analogia com a camada de transporte da Internet
- ❑ **camada ATM:** camada de "rede"
  - comutação de células, roteamento
- ❑ **camada física**

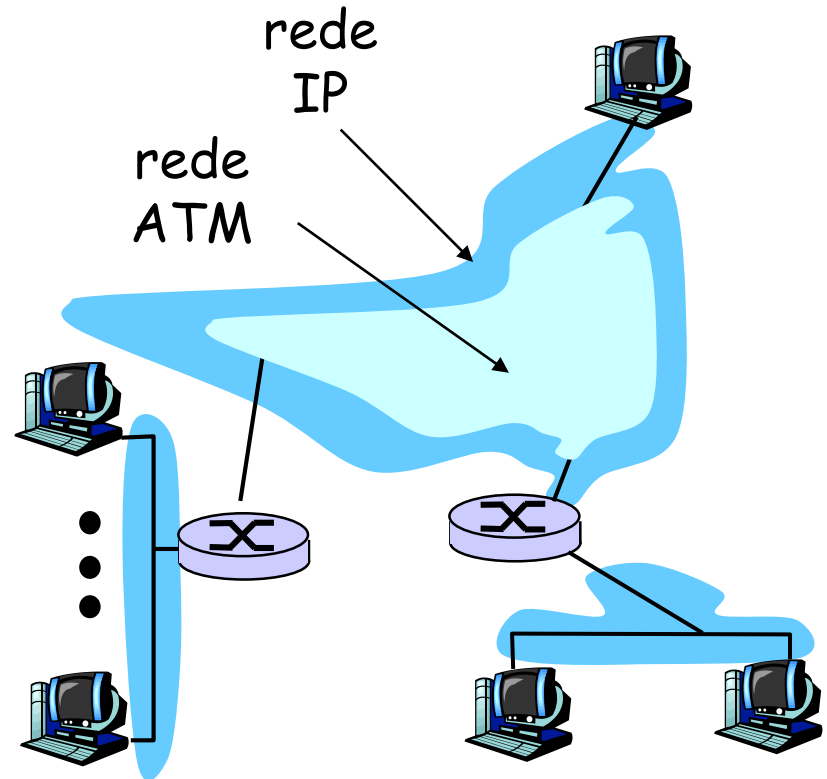
# ATM: camada de rede ou de enlace?

**Visão:** transporte fim-a-fim: "ATM entre mesas de trabalho"

- ATM é uma tecnologia de rede

**Realidade:** usada para conectar roteadores de um *backbone* IP

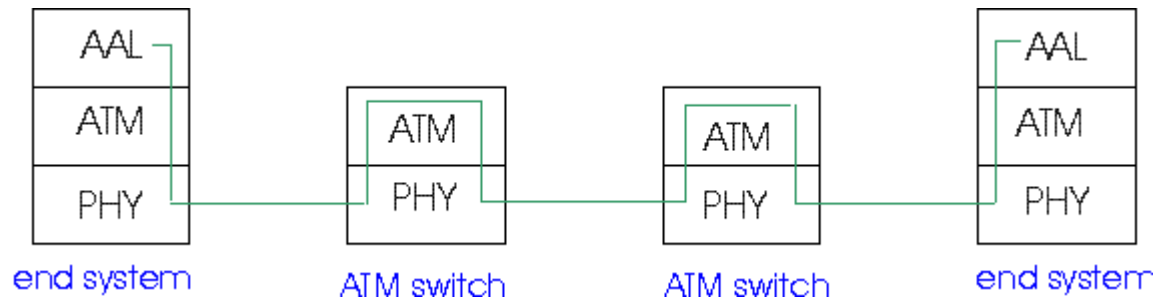
- "IP sobre ATM"
- ATM como uma camada de enlace comutada, conectando roteadores IP





# Camada de Adaptação ATM (AAL - ATM Adaptation Layer)

- ❑ A Camada de Adaptação ATM (AAL): "adapta" as camadas superiores (IP ou aplicações nativas ATM) à camada ATM abaixo
- ❑ AAL está presente apenas nos sistemas finais, não nos switches (comutadores)
- ❑ Segmento AAL (campos de cabeçalho/cauda, dados) são fragmentados em múltiplas células ATM
  - analogia: segmento TCP em muitos pacotes IP

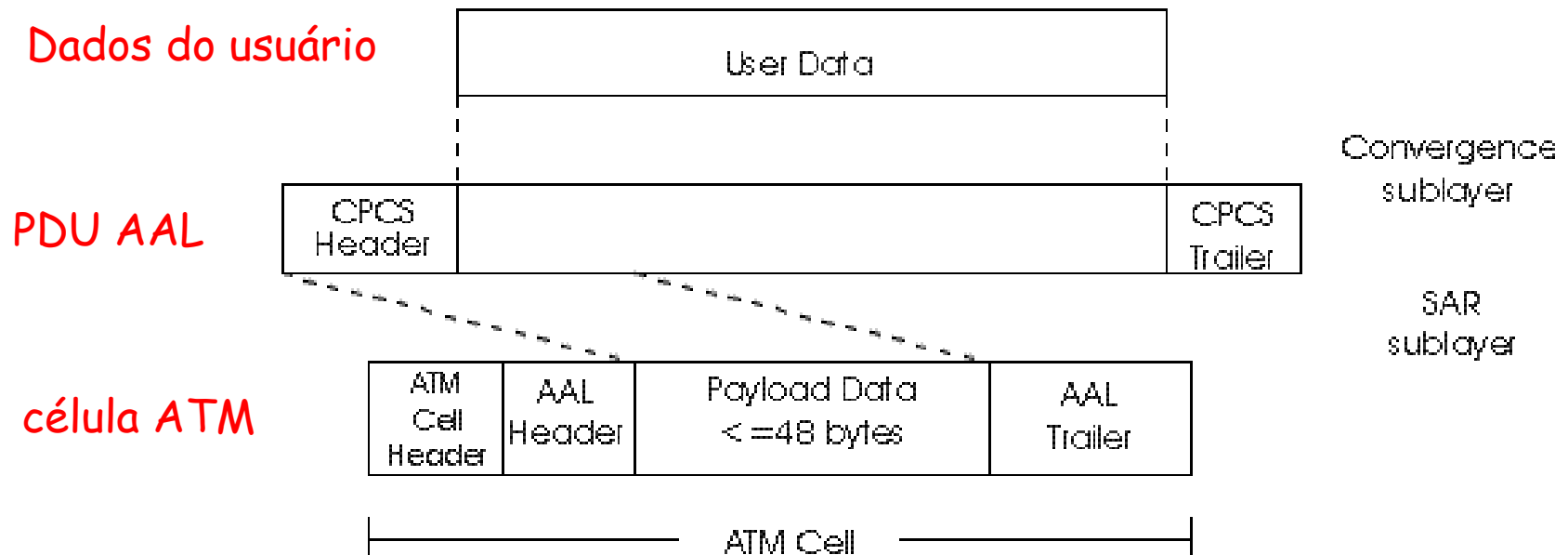


# Camada de Adaptação ATM (AAL)

## [mais]

Diferentes versões de camadas AAL, dependendo da classe de serviço ATM:

- ❑ **AAL1:** para serviços CBR (*Constant Bit Rate*), ex. emulação de circuitos
- ❑ **AAL2:** para serviços VBR (*Variable Bit Rate*), ex., vídeo MPEG
- ❑ **AAL5:** para dados (ex, datagramas IP)



# Camada ATM

**Serviço:** transporta células através da rede ATM

- ❑ análoga à camada de rede IP
- ❑ serviços muito diferentes aos da camada IP

Arquitetura de Rede	Modelo de serviço	Garantias ?				Informa s/ congestion.?
		Banda	Perdas	Ordem	Tempo	
Internet	melhor esforço	nenhuma	não	não	não	não (inferido via perdas)
ATM	CBR	taxa constante	sim	sim	sim	sem congestion.
ATM	VBR	taxa garantida	sim	sim	sim	sem congestion.
ATM	ABR	mínima garantida	não	sim	não	sim
ATM	UBR	nenhuma	não	sim	não	não

# Camada ATM: Circuitos Virtuais

- ❑ **Transporte em CVs:** células transportadas em CVs da origem ao destino
  - estabelecimento de conexão para cada chamada *antes* que os dados possam fluir
  - cada pacote carrega o identificador do CV (e não a ID do destino)
  - *cada* comutador no caminho entre origem e destino mantém o "estado" para cada conexão que passa por ele
  - recursos de enlace, comutação (largura de banda, buffers) podem ser *alocados* ao CV: para obter desempenho do tipo circuito
- ❑ **CVs Permanentes (PVCs)**
  - conexões de longa duração
  - típico: rota "permanente" entre roteadores IP
- ❑ **CVs Comutados (SVC - Switched VC):**
  - estabelecimento dinâmico a cada chamada

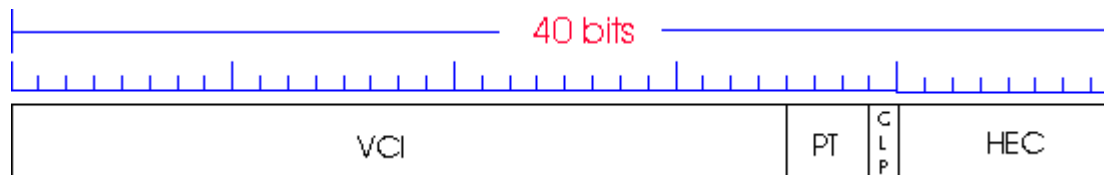
# CVs ATM

- **Vantagens da abordagem de CVs do ATM:**
  - garantia de desempenho de QoS para a conexão é mapeada no CV (largura de banda, atraso, variação do atraso - *jitter*)
- **Desvantagens da abordagem de CVs do ATM:**
  - Suporte ineficiente ao tráfego de datagramas
  - um PVC para cada par origem/destino não é escalável (são necessárias  $N^2$  conexões)
  - SVCs introduzem atraso de estabelecimento de conexões, overhead de processamento para conexões de curta duração

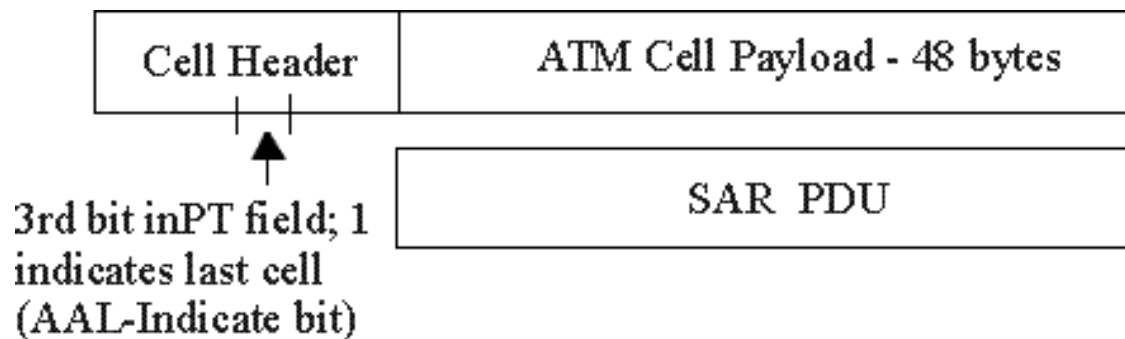
# Camada ATM: célula ATM

- ❑ cabeçalho da célula ATM de 5 bytes
- ❑ carga útil (payload) de 48 bytes
  - Por que?: pequena carga -> curto tempo de criação de célula para voz digitalizada
  - metade entre 32 e 64 (compromisso!)

Cabeçalho

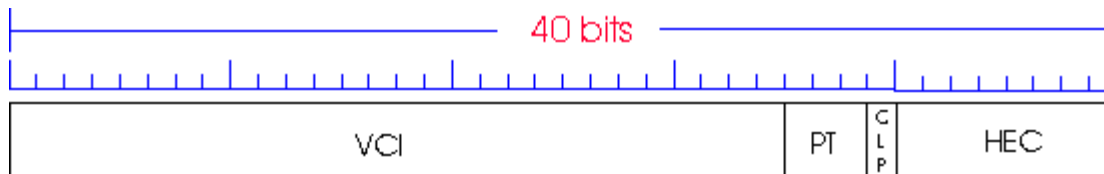


Formato da célula



# Cabeçalho da célula ATM

- ❑ **VCI:** ID do circuito virtual
  - *mudará* a cada enlace através da rede
- ❑ **PT:** Tipo da carga (ex. células RM ou célula de dados)
- ❑ **CLP:** bit de prioridade de perda de célula (*Cell Loss Priority*)
  - CLP = 1 indica célula de baixa prioridade, pode ser descartada em caso de congestionamento
- ❑ **HEC:** *Header Error Checksum* - checksum do cabeçalho
  - Verificação de redundância cíclica



# Camada Física ATM

Duas partes (subcamadas) da camada física:

- ❑ **Subcamada de Convergência de Transmissão (TCS - *Transmission Convergence Sublayer*)**: adapta a camada superior, ATM, a subcamada PMD abaixo
- ❑ **Subcamada Dependente do Meio Físico (PMD - *Physical Medium Dependent*)**: depende do meio físico que está sendo utilizado

Funções da TCS:

- Geração do **checksum** do cabeçalho: CRC de 8 bits
- **Delimitação** da Célula
- Na subcamada PMD "não estruturada", transmite **células ociosas** quando não houver células de dados para transmitir



# Camada Física ATM

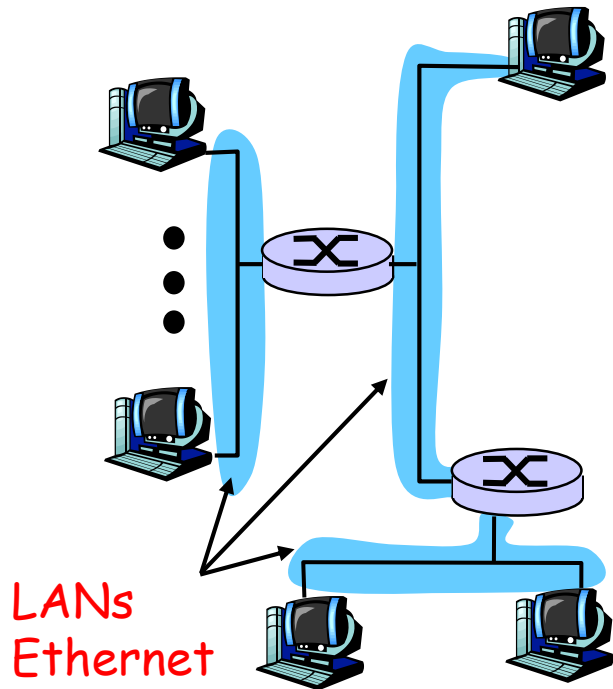
## Subcamada Dependente do Meio Físico (PMD)

- **SONET/SDH:** estrutura de quadro de transmissão (como um container transportando bits);
  - sincronização de bits;
  - particionamento da largura de banda (TDM);
  - diversas velocidades: OC3/STM-1 = 155,52 Mbps;  
OC12/STM-4 = 622,08 Mbps; OC48/STM-16 = 2,45 Gbps,  
OC192/STM-64 = 9,6 Gbps
- **T1/T3:** estrutura de quadro de transmissão (antiga hierarquia de telefonia usada nos EUA): 1,5 Mbps/ 45 Mbps
- **E1/E3:** estrutura de quadro de transmissão (antiga hierarquia de telefonia usada no Brasil): 2 Mbps/ 34 Mbps
- **não estruturada:** apenas células (ocupadas/ociosas)

# IP-Sobre-ATM

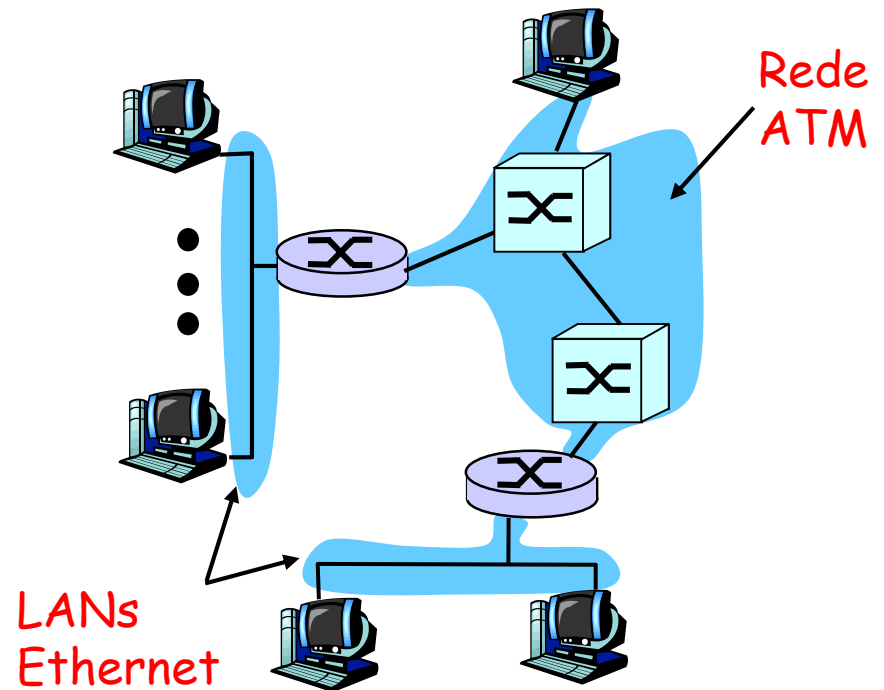
## Apenas IP Clássico

- ❑ 3 "redes" (ex, segmentos de LAN)
- ❑ endereços MAC (802.3) e IP

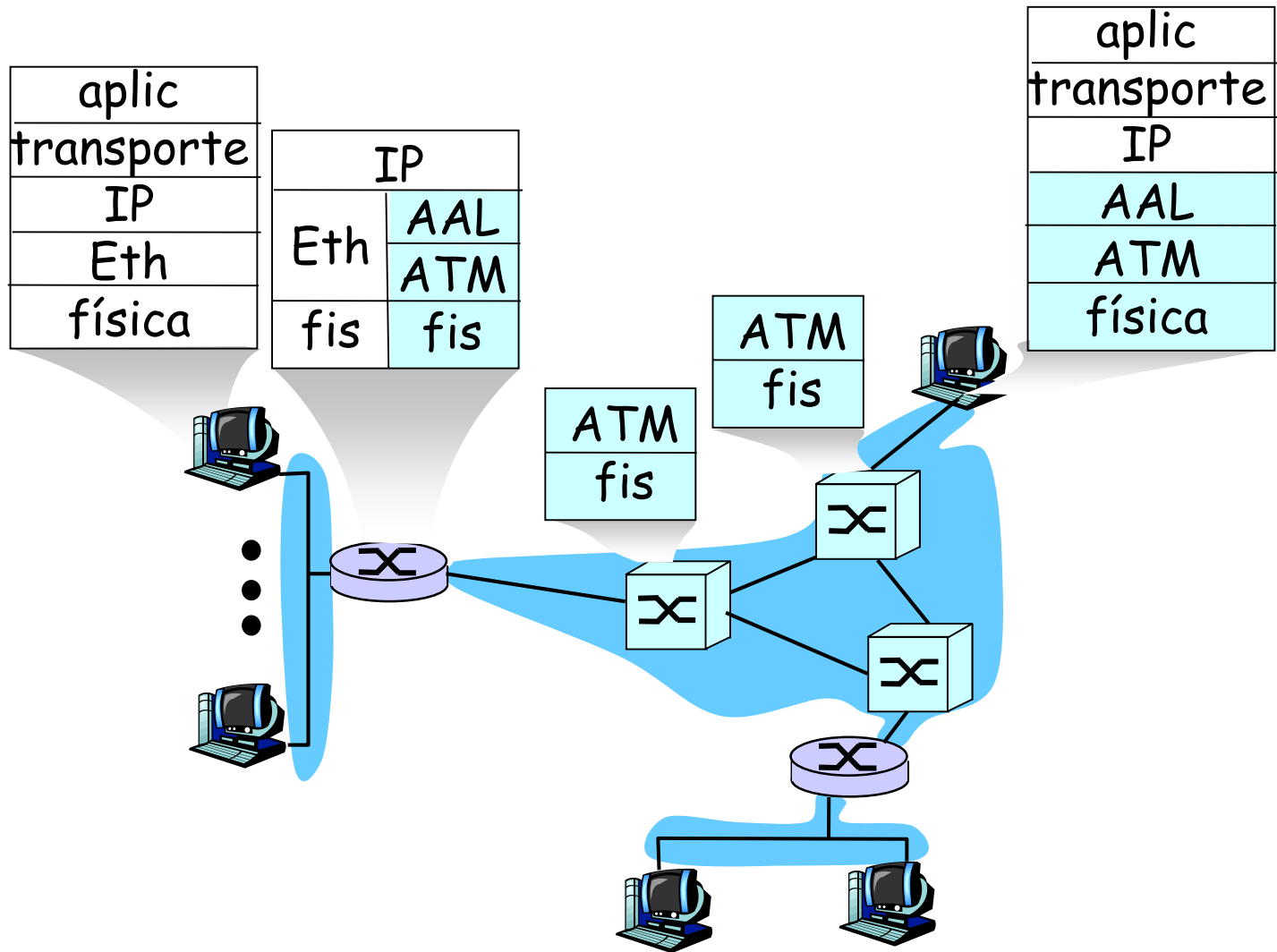


## IP sobre ATM

- ❑ substitui uma "rede" (ex., segmento LAN) por uma rede ATM
- ❑ endereços ATM e endereços IP



# IP-Sobre-ATM



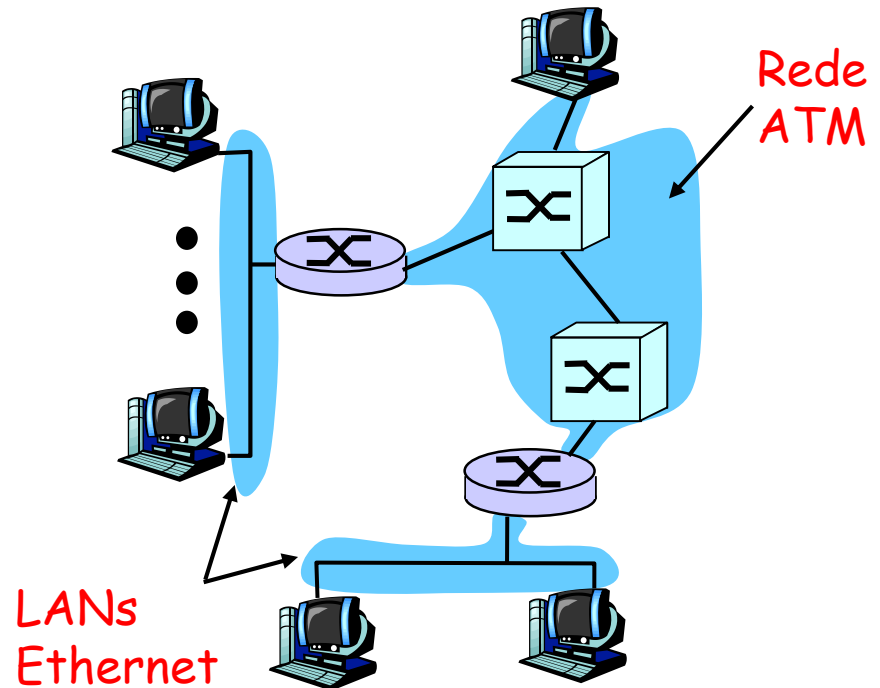
# Jornada do Datagrama numa Rede IP-sobre-ATM

- ❑ **no Host origem:**
  - camada IP faz o mapeamento entre endereços destino IP e ATM (usando ARP)
  - passa o datagrama para a AAL5
  - a AAL5 encapsula os dados, segmenta em células e passa para a camada ATM
- ❑ **rede ATM:** encaminha a célula através do CV até o destino
- ❑ **no Host Destino:**
  - a AAL5 junta as células para montar o datagrama original
  - se CRC estiver OK, datagrama é passado para o IP

# IP-Sobre-ATM

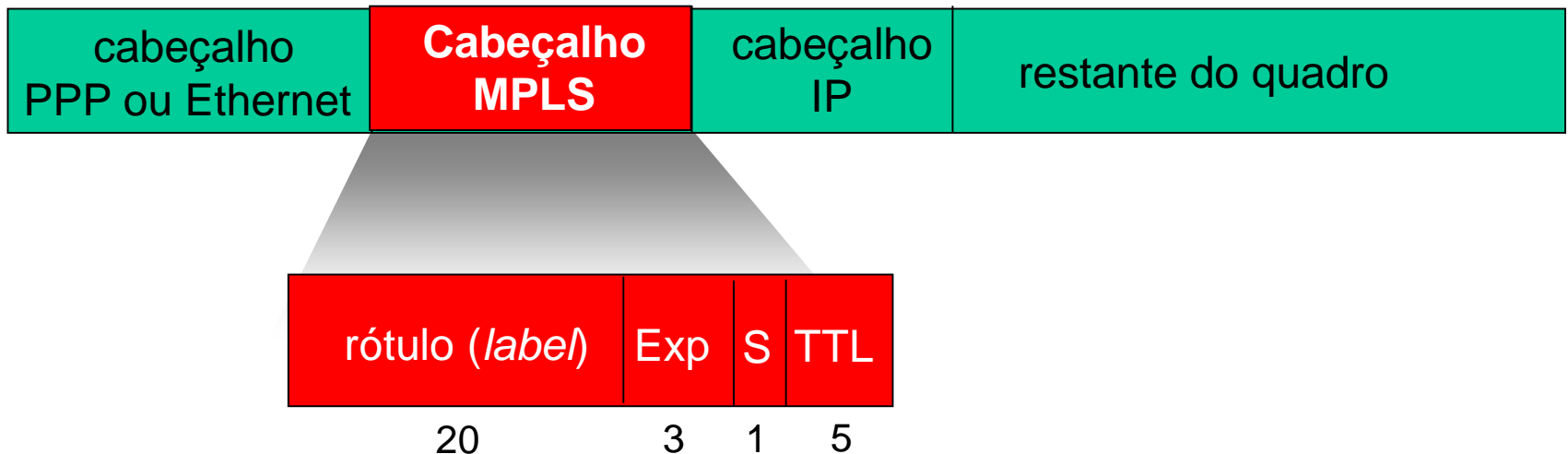
## Questões:

- datagramas IP convertidos em PDUs da AAL5
- de endereços IP para endereços ATM
  - exatamente como conversão de endereços IP para endereços MAC 802.3!



# MultiProtocol Label Switching (MPLS)

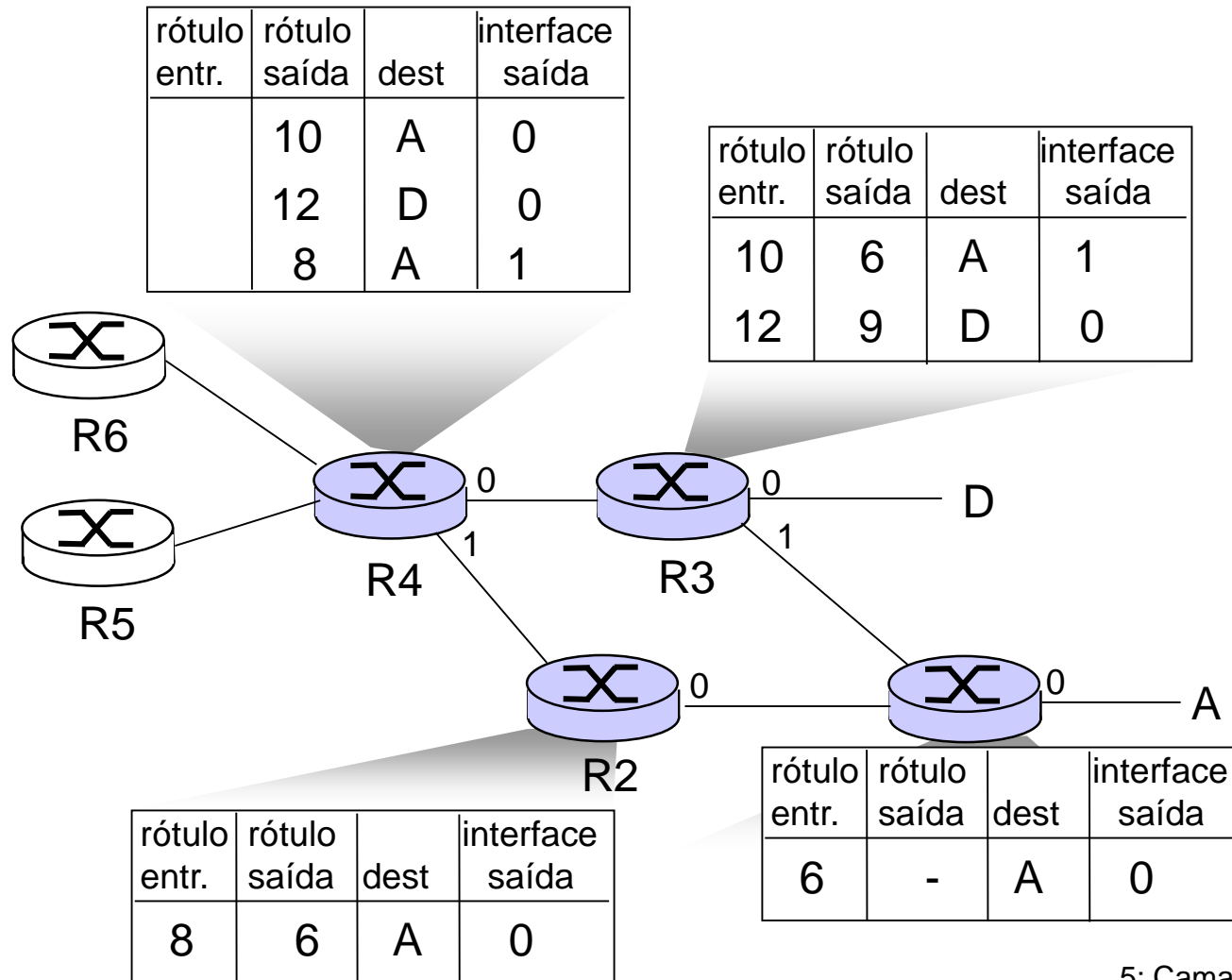
- ❑ Comutação de rótulos multiprotocolo
- ❑ Objetivo inicial: acelerar o encaminhamento IP através do uso de rótulo de comprimento fixo (ao invés de endereço IP)
  - empresta idéias da abordagem de circuitos virtuais (CVs)
  - mas os datagramas ainda mantêm o endereço IP!



# Roteador com suporte a MPLS

- ❑ LSR = *label-switched router*
- ❑ encaminha os pacotes para a interface de saída baseada apenas no valor do rótulo (não inspeciona o endereço IP)
  - a tabela de encaminhamento do MPLS é distinta da tabela de encaminhamento do IP
- ❑ é necessário protocolo de sinalização para criar o encaminhamento
  - RSVP-TE
  - encaminhamento possível através de caminhos que o IP sozinho não permitiria (ex., roteamento específico da origem)!!
  - usa MPLS para realizar engenharia de tráfego
- ❑ deve coexistir com roteadores apenas IP

# Tabelas de encaminhamento MPLS





# X.25 e Frame Relay

- ❑ Tecnologias de Longa Distância (como ATM); também, ambos orientados a **Circuito Virtual**, como ATM
- ❑ **X.25** foi criado nos anos 70, com o apoio das **Operadoras de Telecomunicações**, como resposta à tecnologia de datagrama da ARPANET (guerra religiosa.)
- ❑ **Frame Relay** surgiu da tecnologia RDSI (no final dos anos 80)
- ❑ Tanto X.25 como Frame Relay podem ser usados para **transportar datagramas IP**; por isto, são vistos como **Camadas de Enlace** pela camada de protocolo IP (e, portanto, são tratados aqui neste capítulo)

# X.25

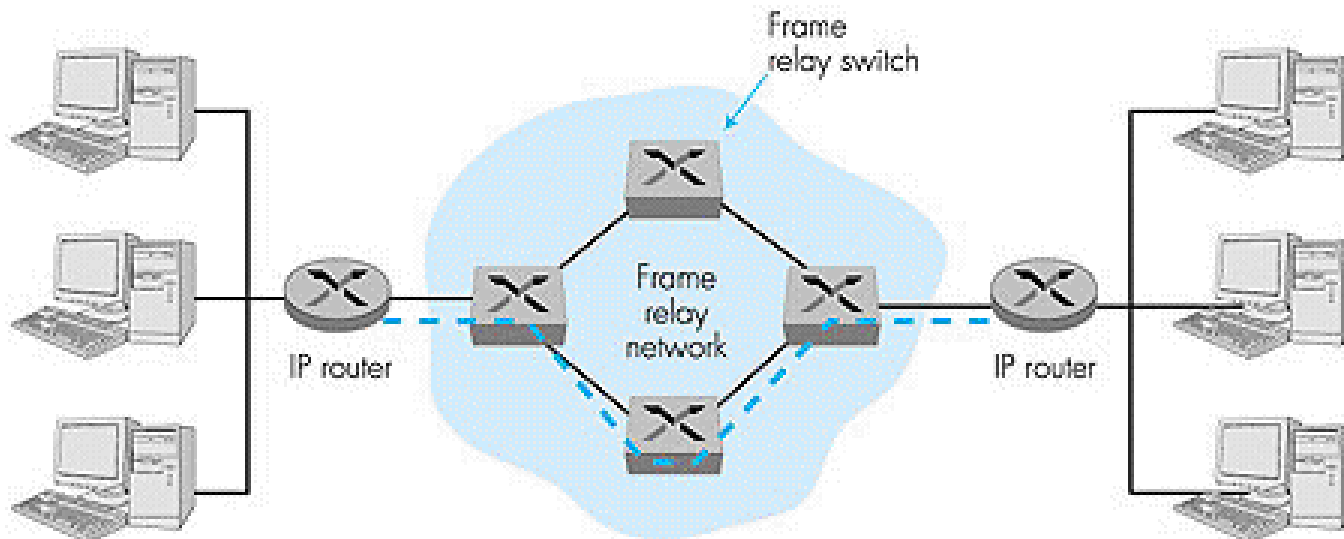
- ❑ X.25 constrói um *CV* entre origem e destino para **cada conexão de usuário**
- ❑ Ao longo do caminho, **controle de erro** (com retransmissões) em cada enlace, usando LAP-B, uma variante do protocolo HDLC
- ❑ Adicionalmente, em cada *CV*, **controle de fluxo** em cada enlace individual usando **créditos**:
  - congestionamento ocorrendo a um nó intermediário propaga para a origem através de **pressão reversa (backpressure)**

# X.25

- ❑ Em consequência, pacotes são entregues **confiavelmente e na seqüência** ao destino; o controle de crédito por fluxo garantia **compartilhamento justo**
- ❑ Pondo **"inteligência na rede"** fazia sentido nos anos 70 (terminais burros sem TCP)
- ❑ Hoje, TCP e fibra, praticamente livre de erros, favorecem deslocar a **"inteligência para a borda da rede"**; adicionalmente, roteadores gigabit não conseguem dar conta do custo do processamento X.25
- ❑ Como resultado, X.25 está se tornando **extinto**

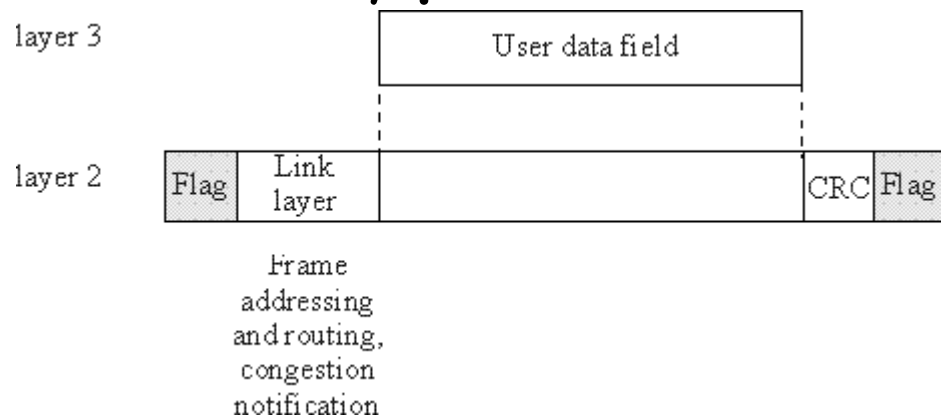
# Frame Relay

- ❑ Projetado no final dos anos 80 e muito usado nos anos 90
- ❑ CVs do FR não usam controle de erros
- ❑ Controle de fluxo (taxa) é fim a fim; muito menor custo de processamento do que controle de fluxo baseado em créditos a cada enlace



# Frame Relay (cont)

- ❑ Projetado para interligar rede locais de clientes corporativos
- ❑ Cada CV é como um "cano" carregando tráfego agregado entre dois roteadores
- ❑ Cliente corporativo **aluga** serviço FR de uma rede pública de Frame Relay (p.ex, da Embratel ou Telemar)
- ❑ Como alternativa, empresa de grande porte pode construir uma rede Frame Relay **particular**.



# Frame Relay (cont)

- ❑ Frame Relay implementa principalmente **CVs permanentes** (fluxos agregados)
- ❑ Campo de ID do CV de 10 bits no cabeçalho do Quadro
- ❑ Se IP transportado por cima do FR, o ID do CV que corresponde ao endereço IP do destino é procurado na **tabela de CVs local**
- ❑ Comutador FR apenas **descarta** quadros com CRC ruim (o TCP retransmite.)

# Frame Relay - Controle de Taxa no CV

- ❑ **CIR** = *Committed Information Rate* (Taxa de Informação Comprometida), definida para cada CV e negociada na hora de criar o CV; o cliente **paga** baseado na CIR
  
- ❑ **bit DE** = bit de *Discard Eligibility* (Eligibilidade de Descarte) no cabeçalho do Quadro
  - bit DE = 0: **prioridade alta**, quadro dentro da taxa combinada; a rede tenta entregá-lo "custe o que custar"
  - bit DE = 1: **prioridade baixa**, quadro "marcado"; a rede o descarta quando um enlace se torna congestionado (i.é, quando excedido o limiar)

# Frame Relay - CIR e Marcação de Quadros

- ❑ **Taxa de Acesso:** taxa  $R$  do enlace de acesso entre roteador de origem (cliente) e comutador FR de borda (provedor);  $64 \text{ kbps} < R < 2 \text{ Mbps}$
- ❑ Tipicamente, **muitos CVs** (um por roteador destino) multiplexados no mesmo tronco de acesso; cada CV tem sua própria **CIR**
- ❑ Comutador FR de borda **mede** taxa de tráfego para cada CV; ele **marca** (i.é.  $DE \leftarrow 1$ ) os quadros que **excedem** a CIR (estes podem ser descartados mais tarde)



# Frame Relay - Controle de Taxa

- ❑ Provedor de Frame Relay "quase" garante taxa CIR (exceto quando ocorre **overbooking**)
- ❑ Sem **garantias de retardo**, mesmo p/ tráfego de prioridade alta
- ❑ Retardo dependerá em parte do **intervalo da medição da taxa,  $T_c$** ; quanto maior  $T_c$ , maior irregularidade (mais rajadas) pode ter o tráfego injetado na rede, e maior será o retardo
- ❑ Provedor Frame Relay deve realizar um estudo cuidadoso de **engenharia de tráfego** antes de comprometer uma CIR, para que possa sustentar seu compromisso e impedir overbooking
- ❑ CIR de Frame Relay é o primeiro exemplo de um **modelo de cobrança** que depende da taxa de tráfego numa rede de pacotes

# Capítulo 5: Resumo

- ❑ princípios por trás dos serviços da camada de enlace de dados:
  - detecção, correção de erros
  - compartilhamento de canal de difusão: acesso múltiplo
  - endereçamento da camada de enlace
- ❑ instanciação e implementação de diversas tecnologias de camada de enlace
  - Ethernet
  - LANs comutadas
  - PPP
  - redes virtualizadas como camada de enlace: ATM, MPLS, (X.25 e FR)