

# 5 Eficiência do CSMA/CD

- $T_{prop}$  = propagação máxima entre 2 nós na LAN
- $t_{trans}$  = tempo para transmitir um quadro de tamanho máximo

$$\text{eficiência} = \frac{1}{1 + 5t_{prop} / t_{trans}}$$

- Eficiência tende a 1 quando  $t_{prop}$  tende a 0
- Tende a 1 quando  $t_{trans}$  tende ao infinito
- Muito melhor do que o ALOHA, e ainda é descentralizado, simples e barato

# 5 10BaseT e 100BaseT

- Taxa de 10/100 Mbps; chamado mais tarde de “fast ethernet”
- T significa “Twisted Pair” (par de fios trançados de cobre)
- Nós se conectam a um hub: “topologia em estrela”; 100 m é a distância máxima entre os nós e o hub



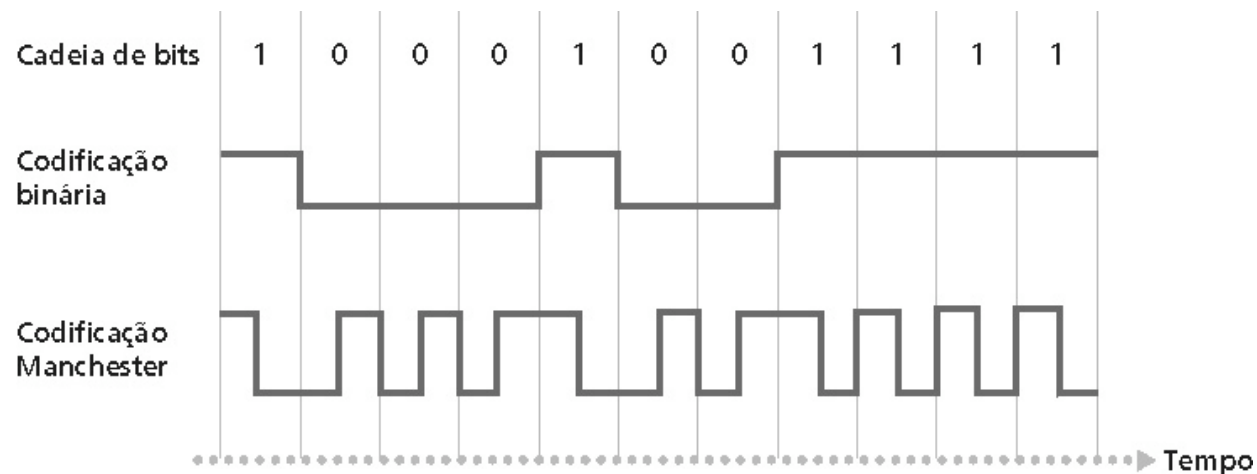
# 5 Hubs

Hubs são essencialmente repetidores de camada física:

- Bits que chegam de um enlace se propagam para todos os outros enlaces
- Com a mesma taxa
- Não possuem **armazenagem de quadros**
- Não há CSMA/CD no hub: adaptadores detectam colisões
- Provê funcionalidade de gerenciamento de rede

# 5 Codificação Manchester

## Codificação Manchester



- Usada em 10BaseT
- Cada bit possui uma transição
- Permite que os relógios nos nós de transmissão e de recepção possam sincronizar um com o outro
  - Não é necessário relógio global centralizado entre os nós!
- Ei, isso é coisa de camada física!

# 5 Gigabit Ethernet

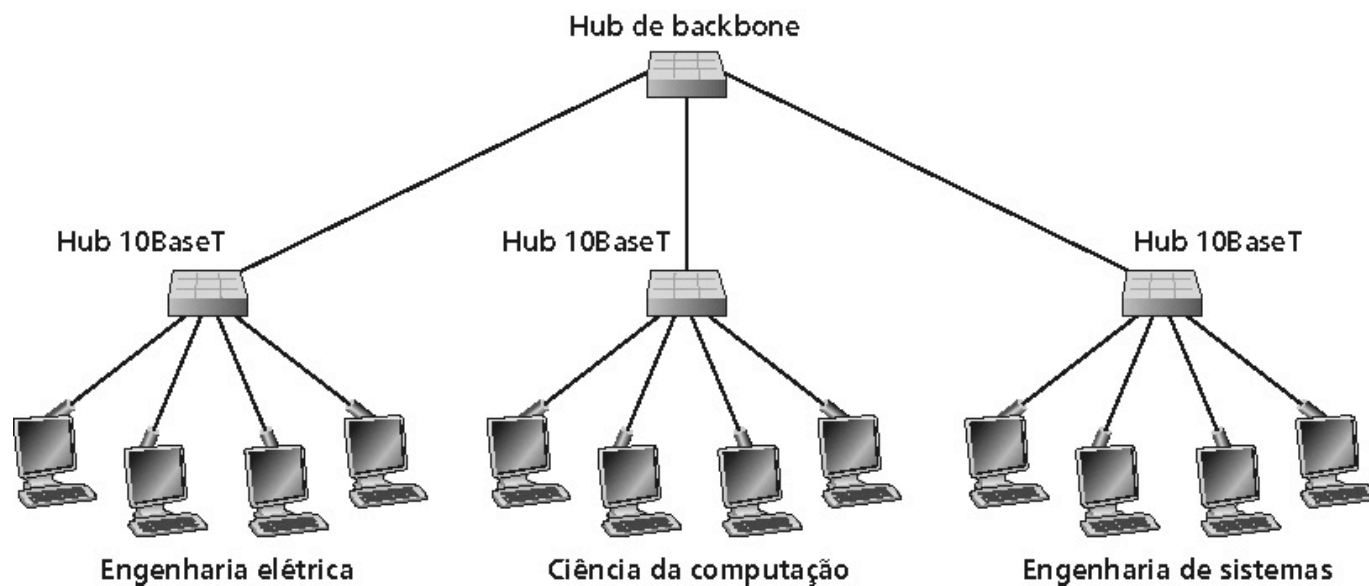
- Usa o formato do quadro do Ethernet padrão
- Permite enlaces ponto-a-ponto e canais de múltiplo acesso compartilhados
- No modo compartilhado, o CSMA/CD é usado; exige pequenas distâncias entre os nós para ser eficiente
- Usa hubs, chamados aqui de Distribuidores com Armazenagem “Buffered Distributors”
- Full-duplex a 1 Gbps para enlaces ponto-a-ponto
- 10 Gbps agora!

# 5 A camada de enlace

- 5.1 Introdução e serviços
- 5.2 Detecção e correção de erros
- 5.3 Protocolos de múltiplo acesso
- 5.4 Endereçamento da camada de enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Hubs e switches
- 5.7 PPP
- 5.8 Virtualização de enlace: ATM e MPLS

# 5 Interconexão com hubs

- Hub de backbone interconecta segmentos de LAN
- Estende a distância máxima entre os nós
- No entanto, domínios de colisão individuais tornam-se um único e grande domínio de colisão
- Não pode interconectar 10BaseT e 100BaseT

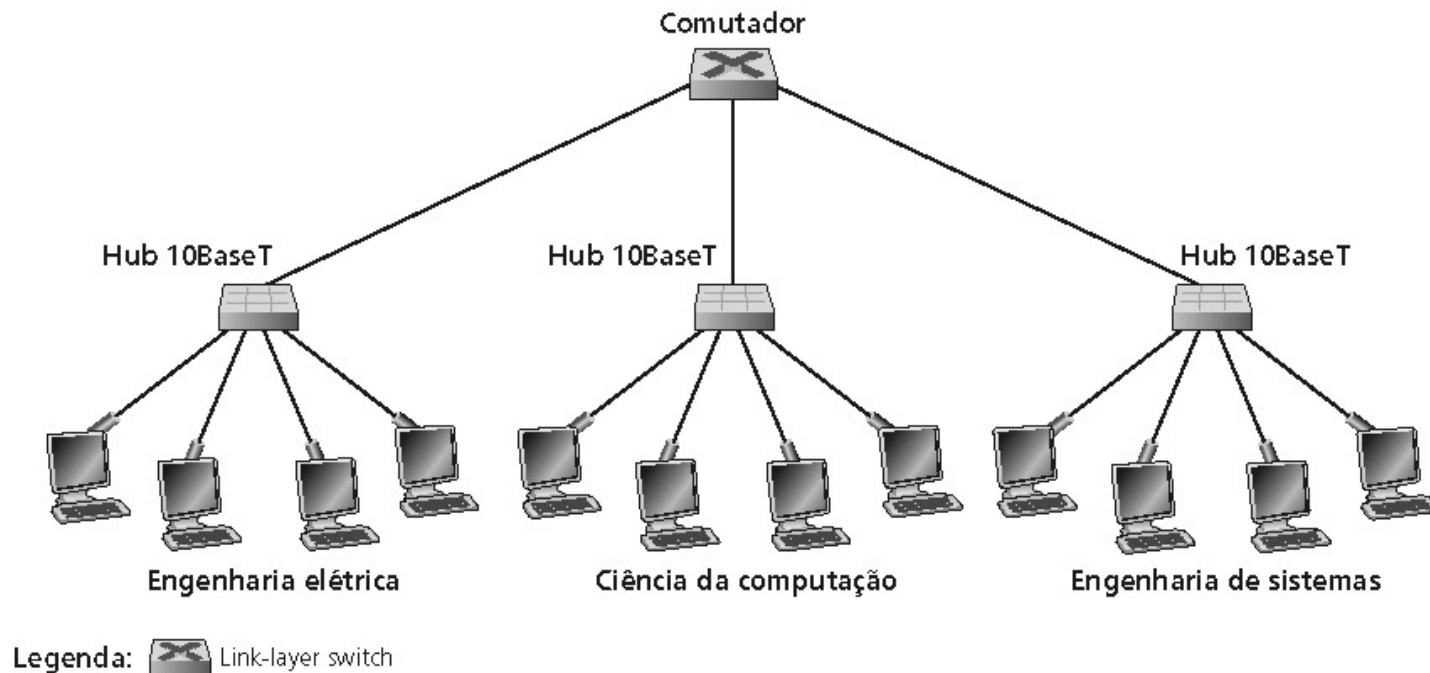


# 5 Switch

- **Dispositivo de camada de enlace**
  - Armazena e encaminha quadros Ethernet
  - Examina o cabeçalho do quadro e **seletivamente** encaminha o quadro baseado no endereço MAC de destino
  - Quando um quadro está para ser encaminhado no segmento, usa CSMA/CD para acessar o segmento
- Transparente
  - Hospedeiros são inconscientes da presença dos switches
- Plug-and-play, self-learning (auto-aprendizado)
  - Switches não precisam ser configurados



# 5 Encaminhamento



- Como determinar para qual segmento da LAN encaminhar o quadro?
- Parece um problema de roteamento...

# 5 Self learning (auto-aprendizado)

- Um switch possui uma **tabela de switch**
- Entrada na tabela do switch:
  - (endereço MAC, interface, marca de tempo)
  - Entradas expiradas na tabela são descartadas (TTL pode ser 60 min)
- Switch **aprende** quais hospedeiros podem ser alcançados através de suas interfaces
  - Quando recebe um quadro, o switch “aprende” a localização do transmissor: segmento da LAN que chega
  - Registra o par transmissor/localização na tabela

# 5 Filtragem/encaminhamento

Quando um switch recebe um quadro:

indexa a tabela do switch usando end. MAC de destino

if entrada for encontrada para o destino

then{

if dest. no segmento deste quadro chegou

then descarta o quadro

else encaminha o quadro na interface indicada

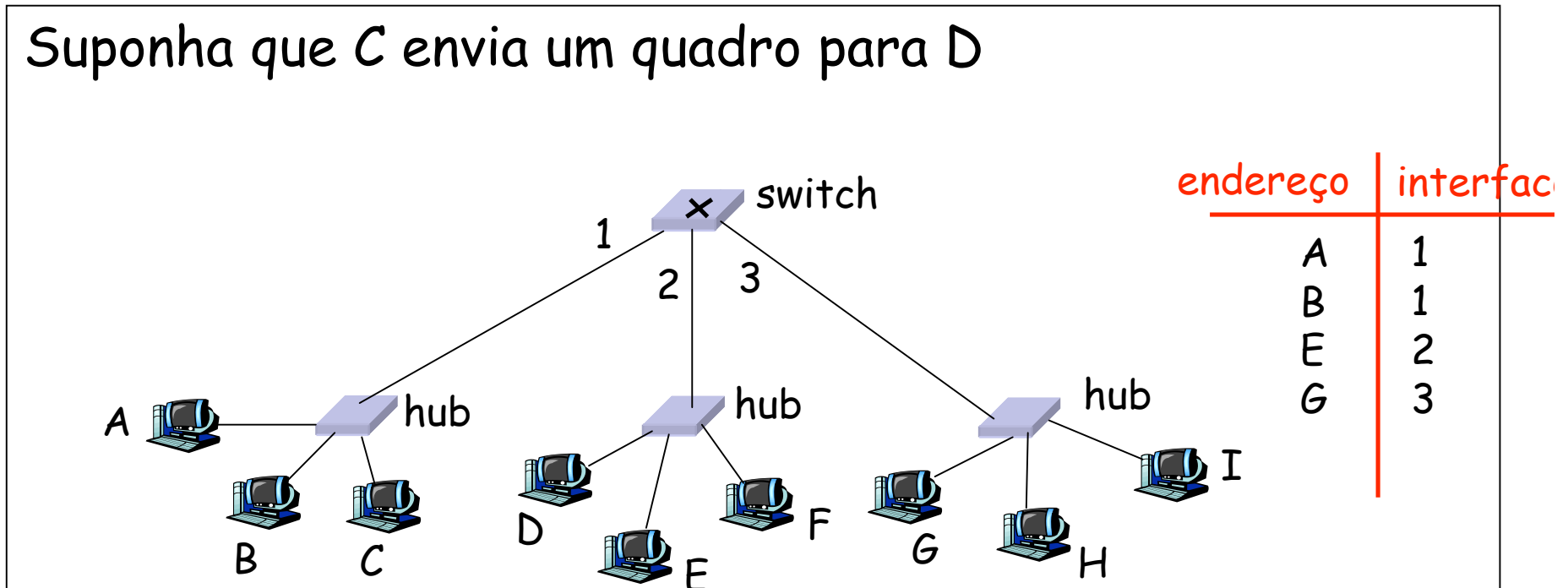
}

else flood

Encaminha para todas as interfaces,  
exceto para aquela em que o quadro chegou

# 5 Switch: exemplo

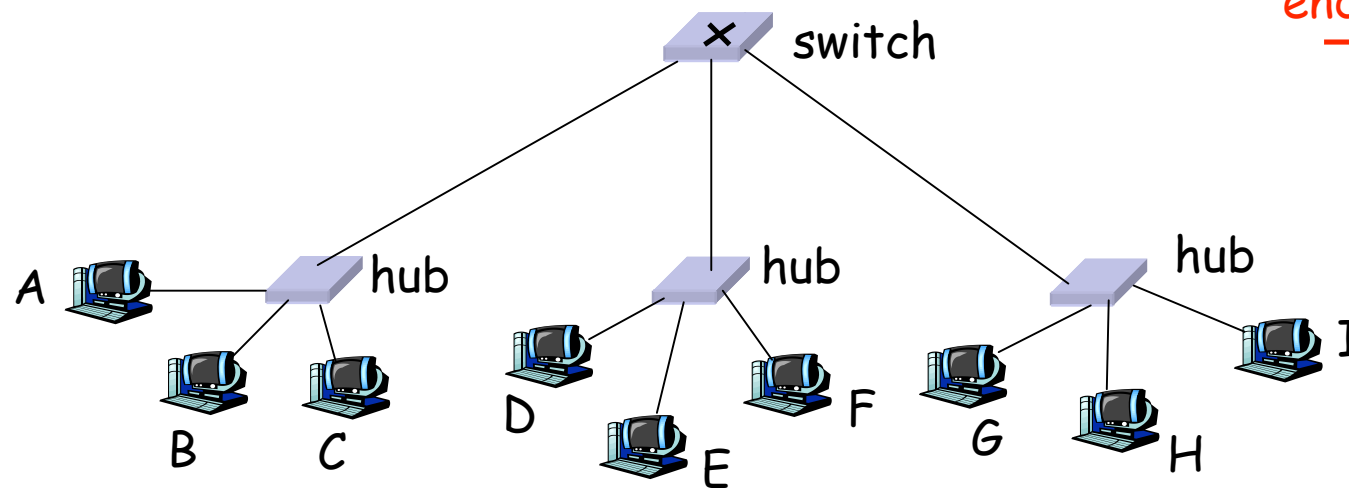
Suponha que C envia um quadro para D



- Switch recebe o quadro de C
  - Anota na tabela que C está na interface 1
  - Como D não está na tabela, o switch encaminha o quadro para as interfaces 2
- Quadro recebido por D

# 5 Switch: exemplo

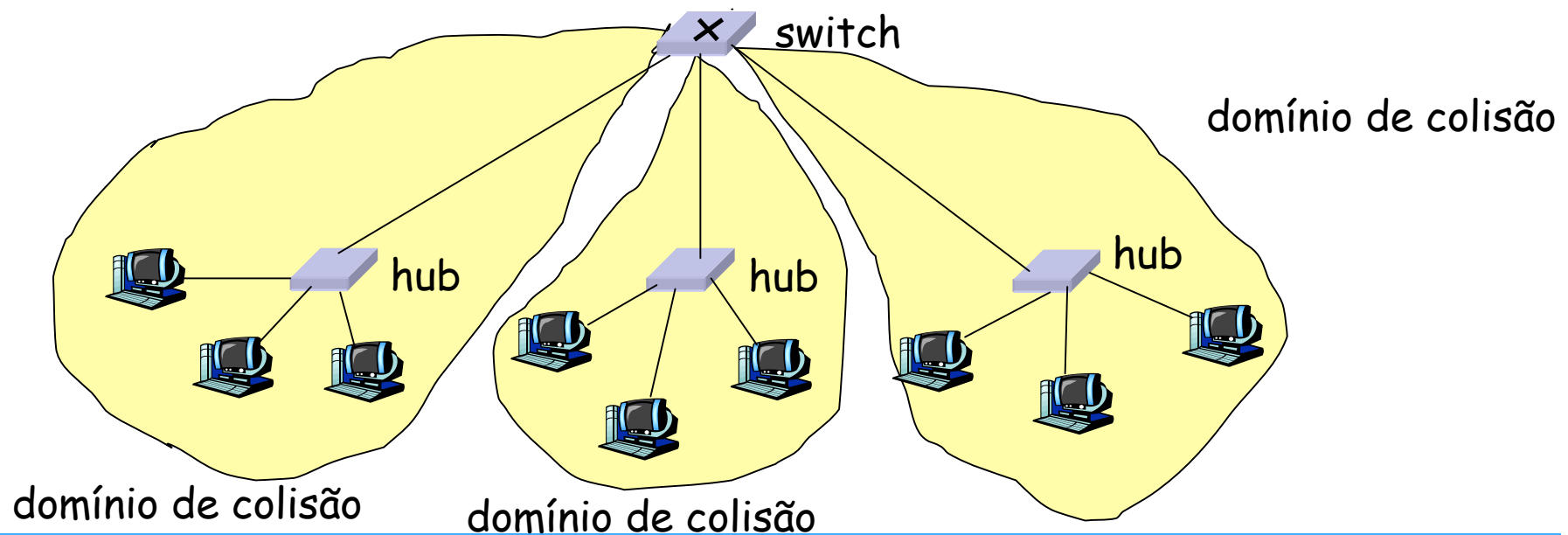
Suponha que D responde com um quadro para C.



- Switch recebe quadro de D
  - Anota na tabela que D está na interface 2
  - Como C está na tabela, o switch encaminha o quadro apenas para a interface
- Quadro recebido por C

# 5 Switch: isolação de tráfego

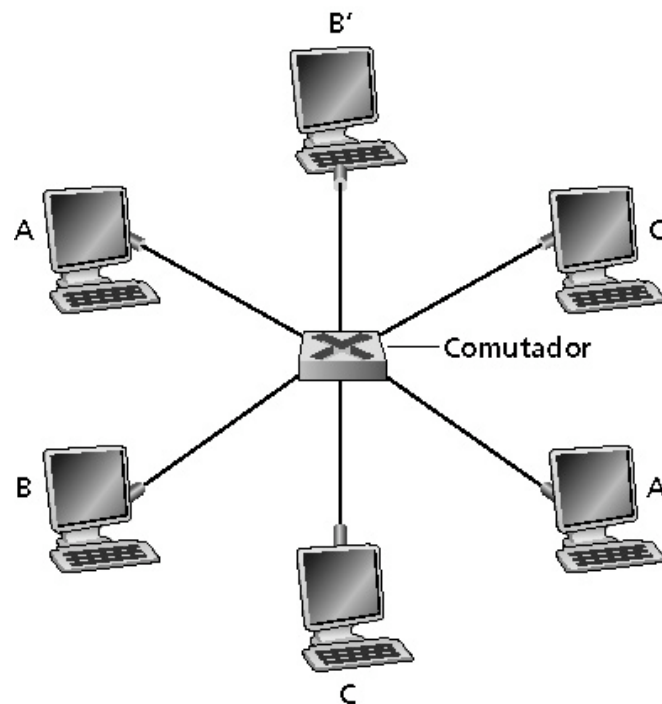
- A instalação do switch quebra as sub-redes em segmentos de LAN
- Switch **filtra** pacotes:
  - Alguns quadros do mesmo segmento de LAN não são usualmente encaminhados para outros segmento de LAN
  - Segmentos se tornam separados em **domínios de colisão**



# 5 Switches: acesso dedicado

- Switch com muitas interfaces
- Hospedeiros possuem conexão direta ao switch
- Sem colisões; full-duplex

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

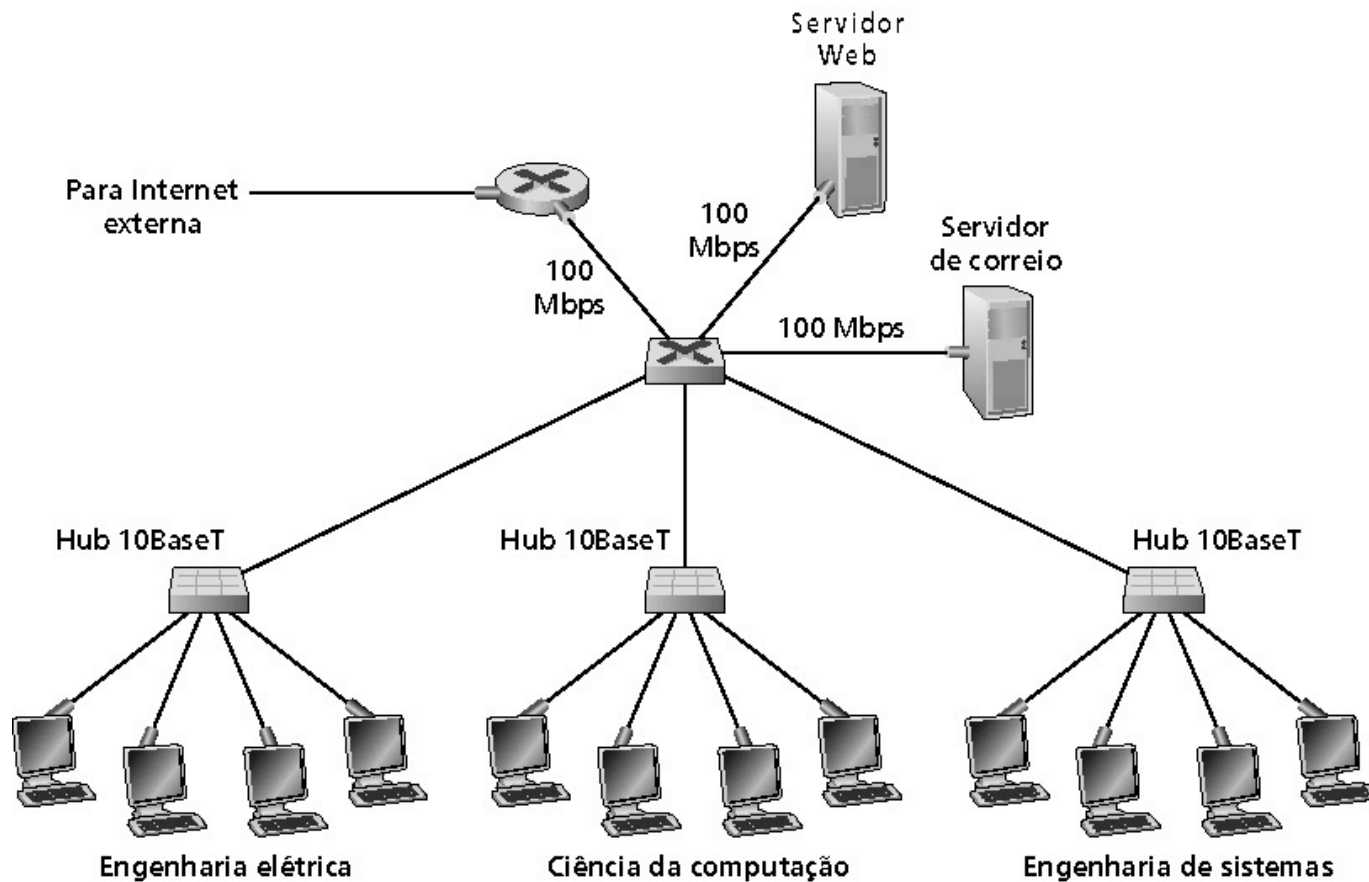


# 5 Mais sobre switches

- **Cut-through switching:** quadro encaminhado da porta de entrada até a porta de saída sem ter de primeiro coletar o quadro todo
  - Ligeira redução na latência
- Combinações de interfaces 10/100/1000 Mbps compartilhadas/dedicadas

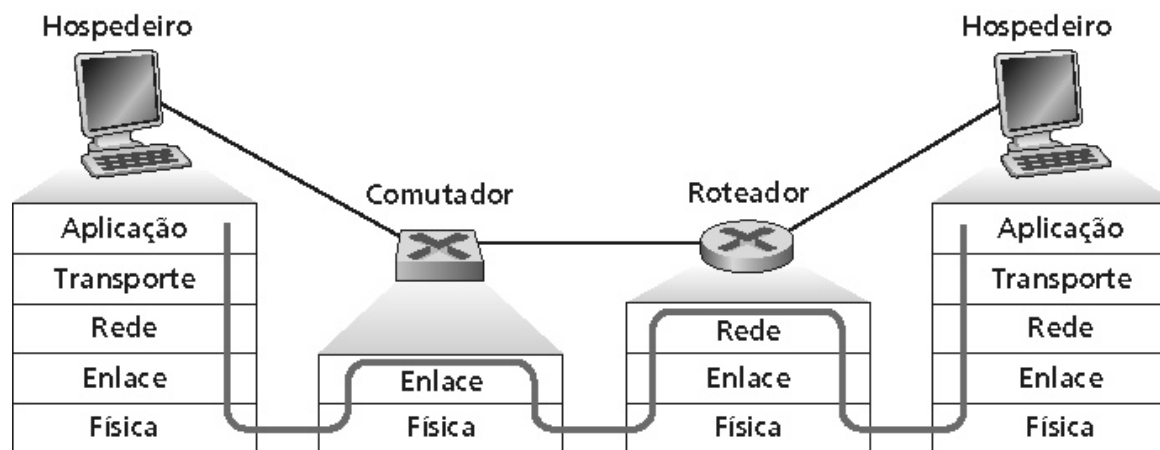


# 5 Redes corporativas



# 5 Switches vs. roteadores

- Ambos são dispositivos store-and-forward
  - Roteadores: dispositivos de camada de rede (examinam 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 switch, implementam filtragem, algoritmos de aprendizagem



# 5 Resumo: 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

# 5 A camada de enlace

- 5.1 Introdução e serviços
- 5.2 Detecção e correção de erros
- 5.3 Protocolos de múltiplo acesso
- 5.4 Endereçamento da camada de enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Hubs e switches
- 5.7 PPP
- 5.8 Virtualização de enlace: ATM e MPLS

# 5 Controle de enlace de dados ponto-a-ponto

- Um transmissor, um receptor, um enlace: mais fácil do que enlace de broadcast:
  - Sem Media Access Control
  - Não necessita de endereçamento MAC explícito
  - Ex.: dialup link, linha ISDN
- Protocolos ponto-a-ponto DLC populares:
  - PPP (point-to-point protocol)
  - HDLC: High level data link control (camada de enlace costumava ser considerada “camada alta” na pilha de protocolos!)

# 5 PPP Requisitos de Projeto [RFC 1557]

- **Enquadramento de pacote:** encapsulamento do datagrama da camada de rede no quadro da camada de enlace
  - Transporta dados da camada de rede de qualquer protocolo de rede (não apenas o IP) *ao mesmo tempo*
  - Capacidade de separar os protocolos na recepção
- **Transparência de bits:** deve transportar qualquer padrão de bit no campo de dados
- **Detecção de erros** (mas não correção)
- **Gerenciamento da conexão:** detecta e informa falhas do enlace para a camada de rede
- **Negociação de endereço da camada de rede:** os pontos terminais do enlace podem aprender e configurar o endereço de rede dos outros

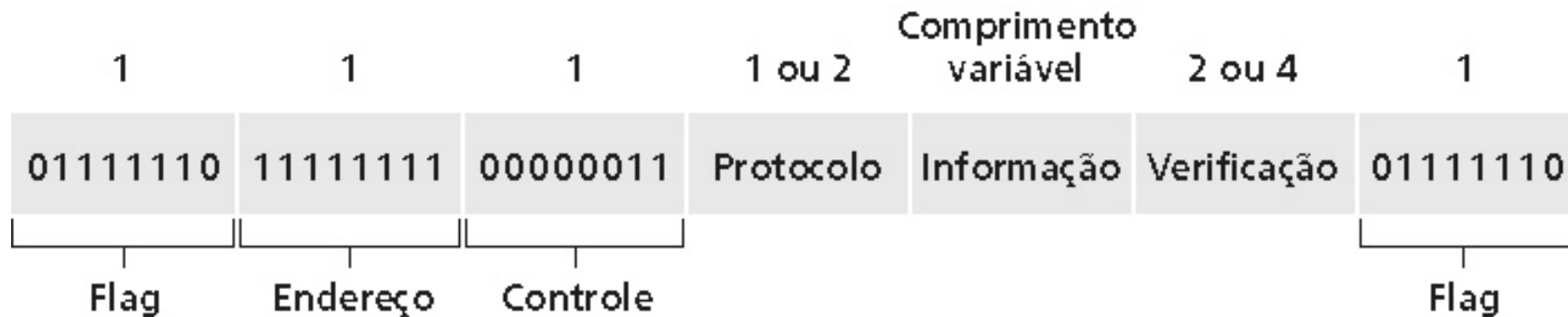
# 5 PPP não requisitos

- Não há correção nem recuperação de erros
- Não há controle de fluxo
- Aceita entregas fora de ordem
- Não há necessidade de suportar enlaces multiponto (ex., polling)

**Recuperação de erros, controle de fluxo, reordenação dos dados são todos relegados para as camadas mais altas!**

# 5 PPP formato do quadro

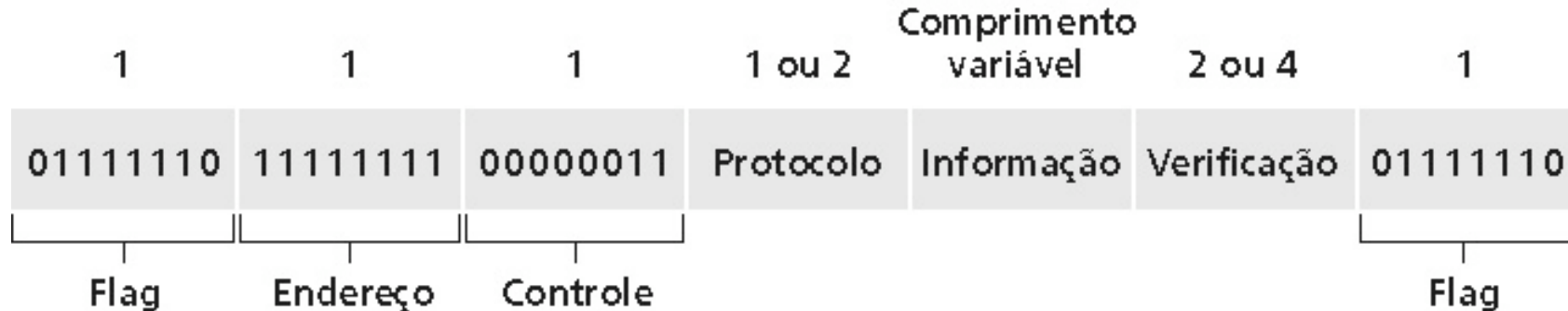
- **Flag:** delimitador (enquadramento)
- **Endereço:** não tem função (apenas uma opção futura)
- **Controle:** não tem função; no futuro, é possível ter múltiplos campos de controle
- **Protocolo:** indica o protocolo da camada superior ao qual o conteúdo do quadro deve ser entregue (ex.: PPP-LCP, IP, IPCP etc.)





# 5 PPP formato dos dados

- **info:** dados da camada superior sendo transportados
- **CRC:** verificação de redundância cíclica para detecção de erros

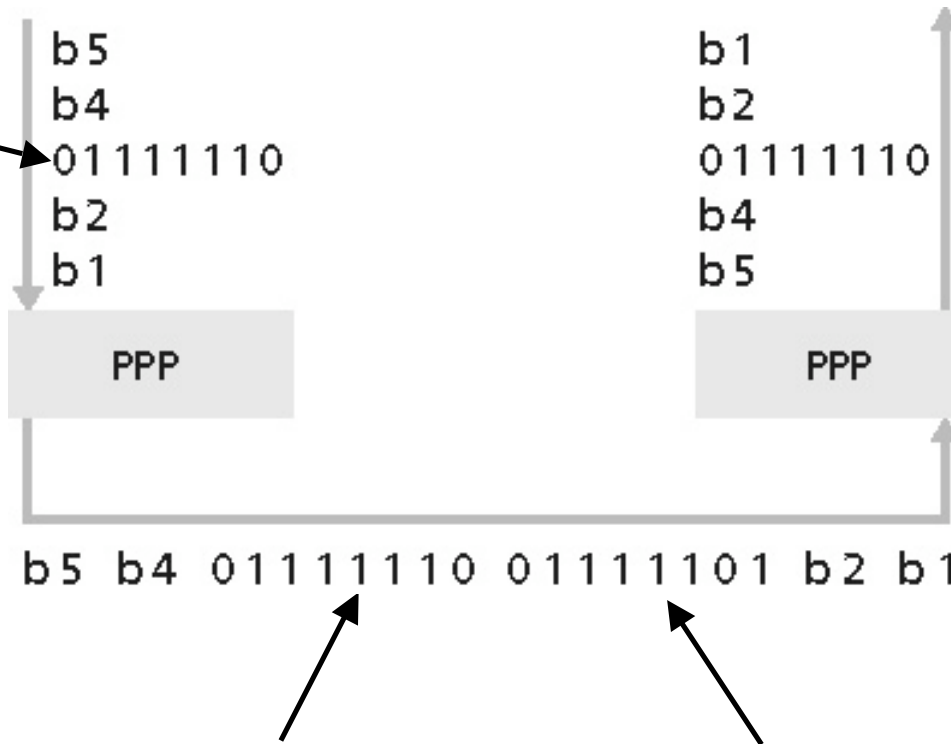


# 5 Byte stuffing

- Requisito de “transparência de dados”: o campo de dados deve poder incluir o padrão correspondente ao flag <01111110>
  - **P.:** Se for recebido o padrão <01111110> são dados ou é flag?
- **Transmissor:** acrescenta (“stuffs”) um byte extra com o padrão <01111101> (escape) antes de cada byte com o padrão de flag <01111110> nos *dados*
- **Receptor:**
  - Um byte 01111101 seguido de 01111110 em seguida: descarta o primeiro e continua a recepção de dados
  - Único byte 01111110: então é um flag

# 5 Byte stuffing

byte com o padrão do flag nos dados a enviar

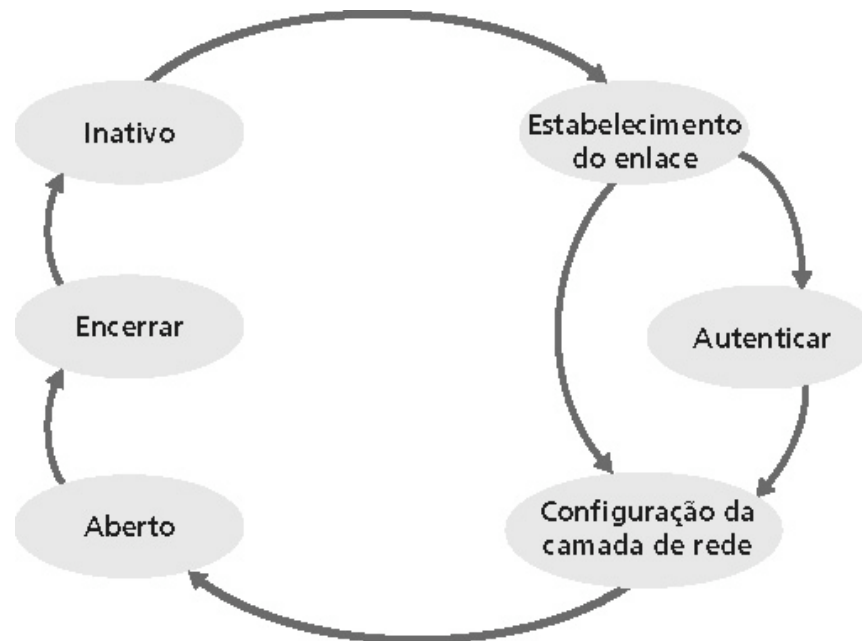


byte com o padrão de escape acrescentado nos dados transmitidos seguido por um byte com padrão de flag

# 5 PPP protocolo de controle de dados

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

- **Configurar o enlace PPP** (tamanho máximo do quadro, autenticação)
- **Aprender/configurar** as informações da camada de rede
  - Para o IP: transportar mensagens do protocolo de controle IP (IPCP) (campo de protocolo: 8021) para configurar/aprender os endereços IP



# 5 A camada de enlace

- 5.1 Introdução e serviços
- 5.2 Detecção e correção de erros
- 5.3 Protocolos de múltiplo acesso
- 5.4 Endereçamento da camada de enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Hubs e switches
- 5.7 PPP
- 5.8 Virtualização de enlace: ATM e MPLS

# 5 Virtualização das redes

Virtualização dos recursos: uma poderosa abstração em engenharia de sistemas:

- Exemplos em computação: memória virtual, dispositivos virtuais
  - Máquinas virtuais: ex.: java
  - IBM VM os dos anos 60/70
- Camada de abstrações: não se apega a detalhes da camada mais baixa, apenas trata com as camadas mais baixas abstratamente

# 5 Internet: virtualização das redes

1974: múltiplas redes desconectadas

- ARPAnet
- redes de dados-sobre-cabo
- rede de pacote por satélite (Aloha)
- rede de pacotes por rádio

... diferentes em:

- convenções de endereçamento
- formatos do pacote
- recuperação de erros
- roteamento

# 5 Internet: virtualização das redes

## Camada de rede da Internet (IP):

- Endereçamento: internetwork aparece como uma entidade única e uniforme, escondendo a heterogeneidade das redes locais
- Rede de redes

## Gateway:

- “Embuta pacotes da Internet no formato de um pacote local ou os extrai”
- Rota (no nível de internetwork) para o próximo gateway



# 5 Arquitetura da Internet de Cerf & Kahn

O que é virtualizado?

- Duas camadas de endereçamento: Internet e rede local
- Nova camada (IP) torna tudo homogêneo na camada da Internet
- Tecnologia da rede local em questão
  - Cabo
  - Satélite
  - Modem telefônico de 56 K
  - Hoje: ATM, MPLS
- ... “invisível” na camada da Internet. Parece com uma tecnologia de camada de enlace para o IP!

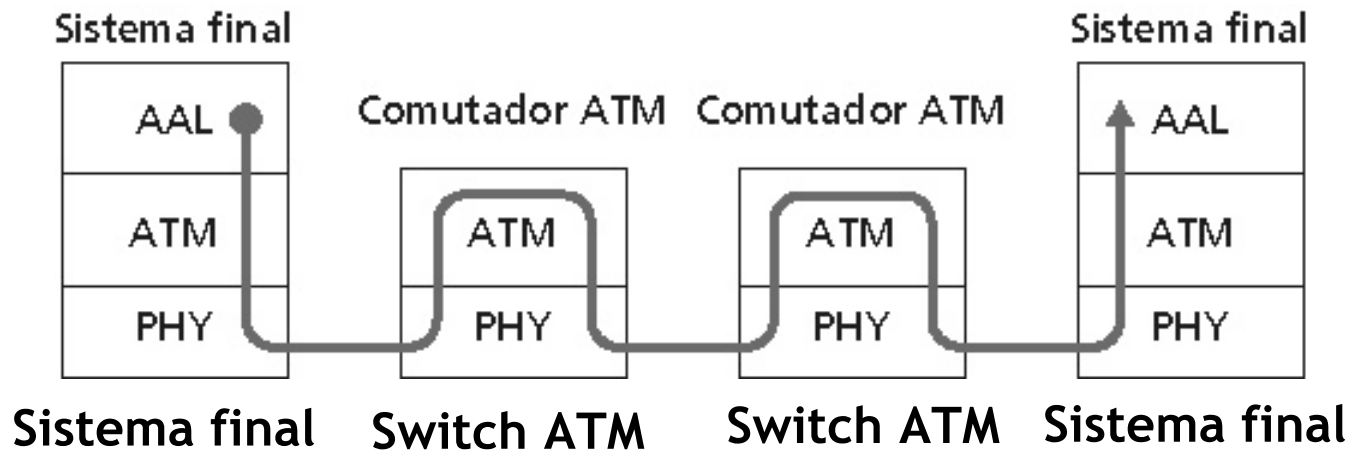
# 5 ATM e MPLS

- ATM, MPLS redes separadas em seus próprios direitos
  - Modelos de serviço, endereçamento, roteamento diferentes da Internet
- Vistos pela Internet como um enlace lógico conectando roteadores IP
  - Assim como o *dialup link* é realmente parte de uma rede separada (rede telefônica)
- ATM, MPLS: de interesse técnico em seu próprio direito

# 5 Modo de transferência assíncrono: ATM

- Padrão dos anos 80/90 para altas taxas de transmissão (155 Mbps a 622 Mbps e mais altas) arquitetura de *Broadband Integrated Service Digital Network* (B-ISDN)
- **Objetivo:** *transporte integrado de voz, dados e imagens com foco nas redes públicas de comunicação*
  - Deve atender aos requisitos de tempo/QoS para aplicações de voz e de vídeo (*versus* o serviço de melhor esforço da Internet)
  - Telefonia de “próxima geração”: fundamentos técnicos no mundo da telefonia
  - Comutação de pacotes (pacotes de tamanho fixo, chamados “células”) usando circuitos virtuais

# 5 Arquitetura ATM



- **Camada de adaptação:** apenas na borda de uma rede ATM
  - Segmentação e remontagem dos dados
  - Grosseiramente análoga à camada de transporte da Internet
- **Camada ATM:** camada de “rede”
  - Comutação de células, roteamento
- **Camada física**

# 5 ATM: camada de rede ou de enlace?

**Visão:** transporte fim-a-fim: “ATM de computador a computador”

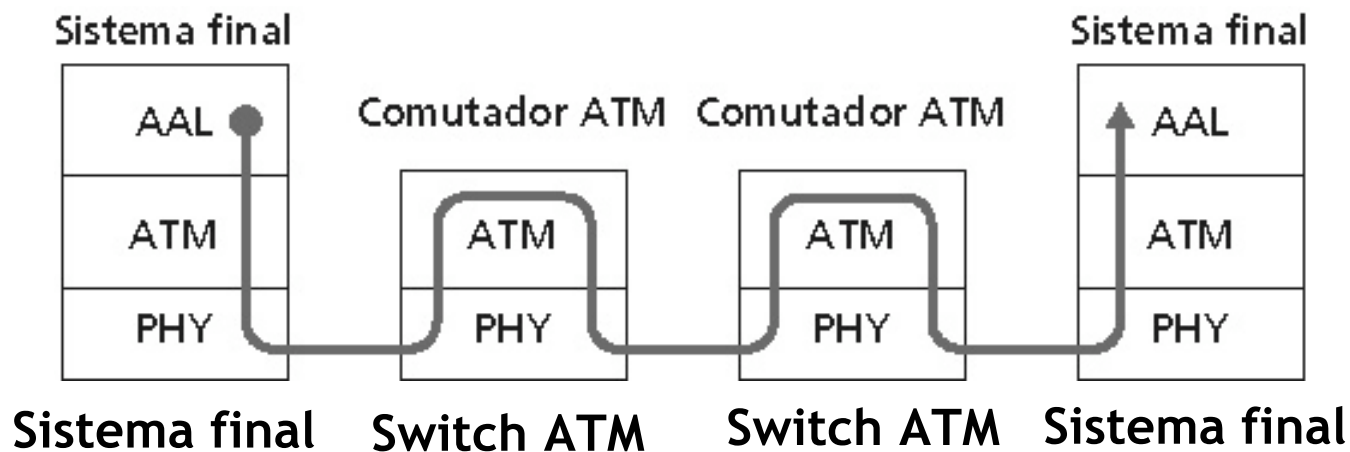
- ATM é uma tecnologia de rede

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

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

# 5 Camada de adaptação ATM (AAL)

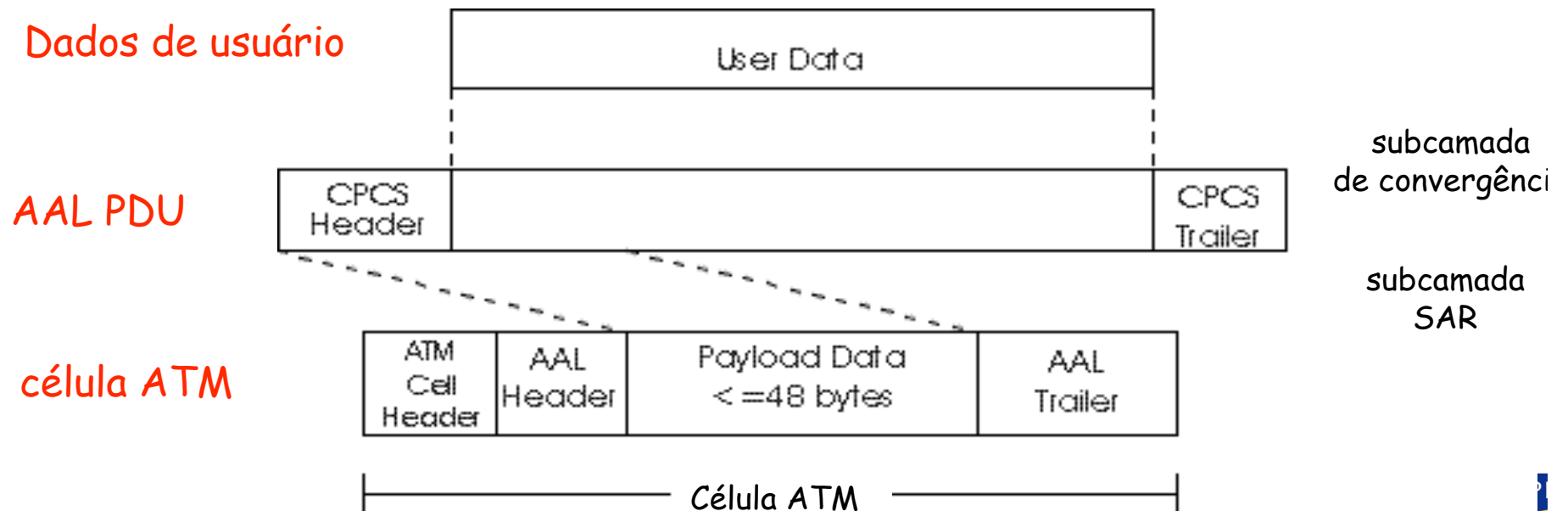
- Camada de adaptação ATM (AAL): “adapta” camadas superiores (aplicações IP ou nativas ATM) para a camada ATM abaixo
- AAL presente **apenas nos sistemas finais**, não nos comutadores ATM (“switches”)
- O segmento da camada AAL (campo de cabeçalho/trailer e de dados) são fragmentados em múltiplas células ATM
  - Analogia: segmento TCP em muitos pacotes IP



# 5 Camada de adaptação ATM (AAL)

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

- **AAL1**: para serviço CBR (taxa de bit constante), ex.: emulação de circuitos
- **AAL2**: para serviços VBR (taxa de bit variável), ex.: vídeo MPEG
- **AAL5**: para dados (ex.: datagramas IP)



# 5 Camada ATM

**Serviço:** transporte de células através da rede ATM

- Análoga à camada de rede IP
- Serviços muito diferentes da camada de rede IP

Arquitetura de rede	Modelo de serviço	Garantias ?				Aviso de congestão
		Banda	Perda	Ordem	Tempo	
Internet	melhor esforço	não	não	não	não	não (inferido pelas perdas)
ATM	CBR	taxa constante	sim	sim	sim	não há congestão
ATM	VBR	taxa garantida	sim	sim	sim	não há congestão
ATM	ABR	mínimo garantido	não	sim	não	sim
ATM	UBR	não	não	sim	não	não



# 5 Camadas ATM: circuitos virtuais

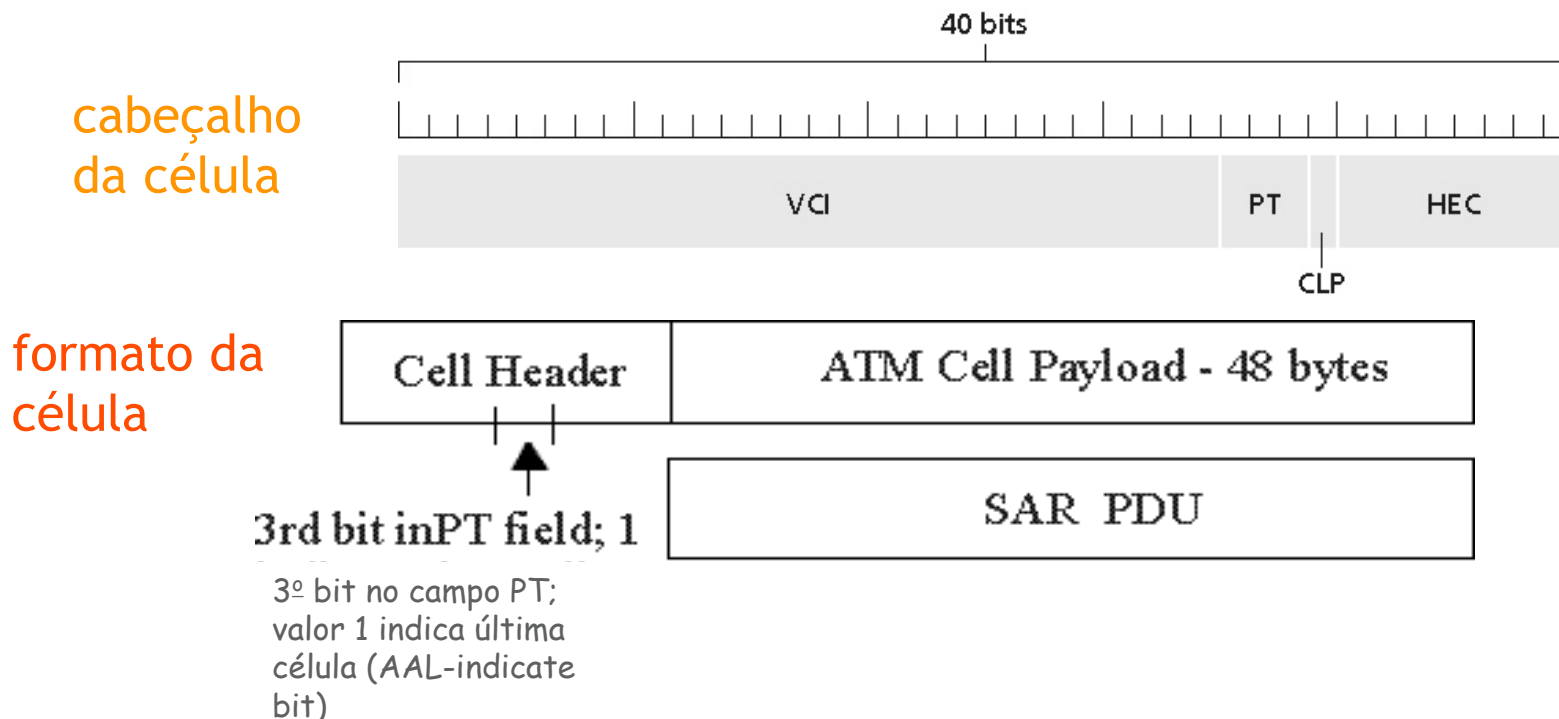
- **Transporte em VC:** células são transportadas sobre VC da fonte ao destino
  - Estabelecimento de conexão, necessário para cada chamada *antes* que o fluxo de dados possa ser iniciado
  - Cada pacote transporta um identificador de VC (não transporta o endereço do destino)
  - Cada comutador com caminho entre a fonte e o destino mantém o “estado” para cada conexão passante
  - Recursos do enlace e do comutador (banda passante, buffers) podem ser *alocados* por VC para obter um comportamento semelhante a um circuito físico
- **VCs permanentes (PVCs)**
  - Conexões de longa duração
  - Tipicamente: rota “permanente” entre roteadores IP
- **VCs comutados (SVC):**
  - Dinamicamente criados numa base por chamada

# 5 ATM VCs

- **Vantagens do uso de circuitos virtuais no ATM:**
  - Índices de QoS garantidos para conexões mapeadas em circuitos virtuais (banda passante, atraso, variância de atraso)
- **Problemas no uso de circuitos virtuais:**
  - O suporte de tráfego datagrama é ineficiente
  - Um PVC entre cada par origem/destino não tem boa escalabilidade ( $N^2$  conexões são necessárias)
  - SVC introduz latência de estabelecimento de conexão e atrasos de processamento para conexões de curta duração

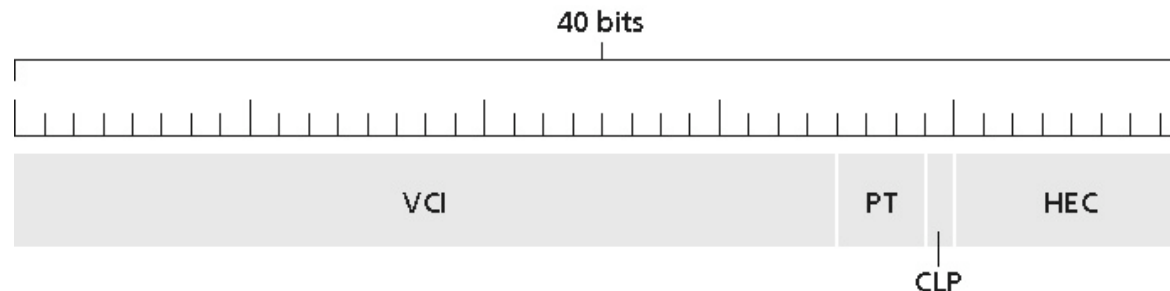
# 5 Camada ATM: célula ATM

- Cabeçalho da célula ATM com 5 bytes
- Carga útil com 48-bytes
  - Por quê?: carga útil pequena -> pequeno atraso de criação de célula para voz digitalizada
  - Meio do caminho entre 32 e 64 (compromisso!)



# 5 Cabeçalho da célula ATM

- **VCI:** identificador de canal virtual
  - Pode *mudar* de enlace para enlace através da rede
- **PT:** tipo de carga útil (ex.: célula RM *versus* célula de dados)
- **CLP:** bit de prioridade de perda de célula
  - CLP = 1 implica célula de baixa prioridade; pode ser descartada em caso de congestão
- **HEC:** verificação de erros no cabeçalho
  - Verificação cíclica de erros



# 5 Camada física ATM

A camada física se compõe de *duas* partes (subcamadas):

- **Subcamada de convergência de transmissão (TCS)**: adapta a camada ATM acima à subcamada física abaixo (PMD)
- **Subcamada dependente do meio**: depende do tipo de meio físico que está sendo empregado

Funções da TCS :

- Geração do **checksum** do cabeçalho: 8 bits CRC
- **Delineamento** de célula
- Com uma subcamada PMD não estruturada, transmite células vazias (“**idle cells**”) quando não há células de dados a enviar

# 5 Camada física ATM

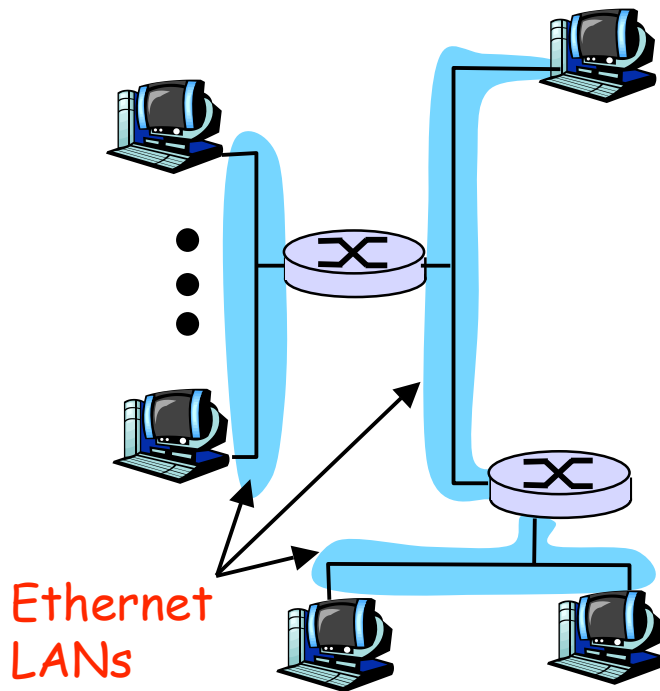
## Subcamada dependente do meio físico (PMD)

- **SONET/SDH:** estrutura de transmissão de quadros (como um container carregando bits);
  - Sincronização de bits;
  - Partições da banda passante (TDM);
  - Várias velocidades: OC1 = 51,84 Mbps; OC3 = 155,52 Mbps; OC12 = 622,08 Mbps
- **T1/T3:** estrutura de transmissão de quadros (velha hierarquia de telefonia: 1,5 Mbps/45 Mbps. No Brasil, usa-se a hierarquia europeia E1/E3: 2/34 Mbps)
- **Não estruturada:** apenas células (ocupadas/vazias)

# 5 IP-sobre-ATM

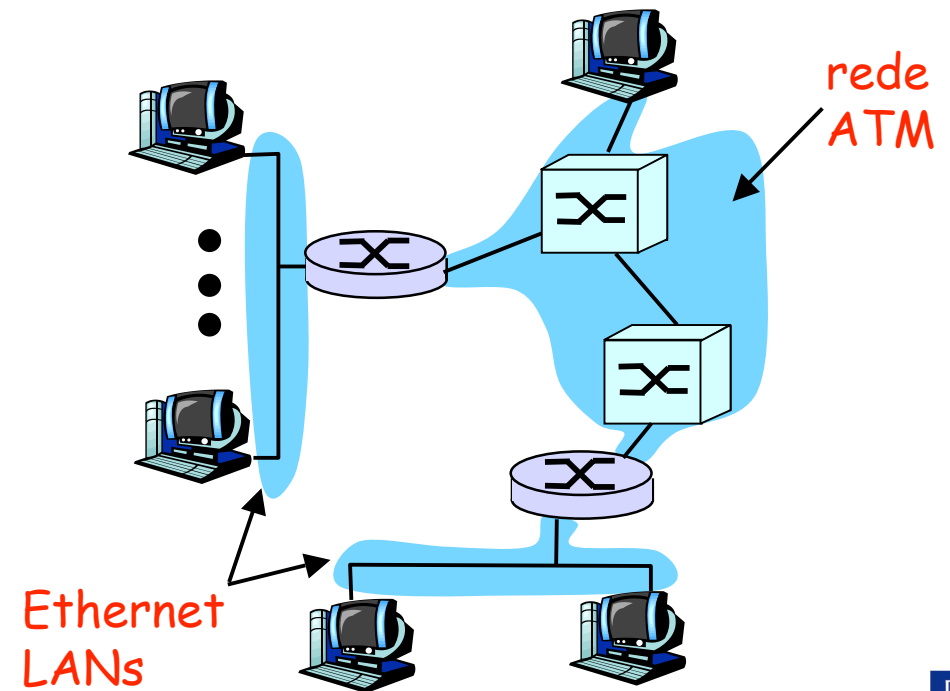
## Apenas IP clássico

- 3 “redes” (ex.: segmentos de LAN)
- Endereços MAC (802.3) e IP



## IP sobre ATM

- Substitui “rede” (ex.: segmento de LAN) com a rede ATM
- Endereços ATM, endereços IP



# 5 Viagem de um datagrama numa rede IP-sobre-ATM

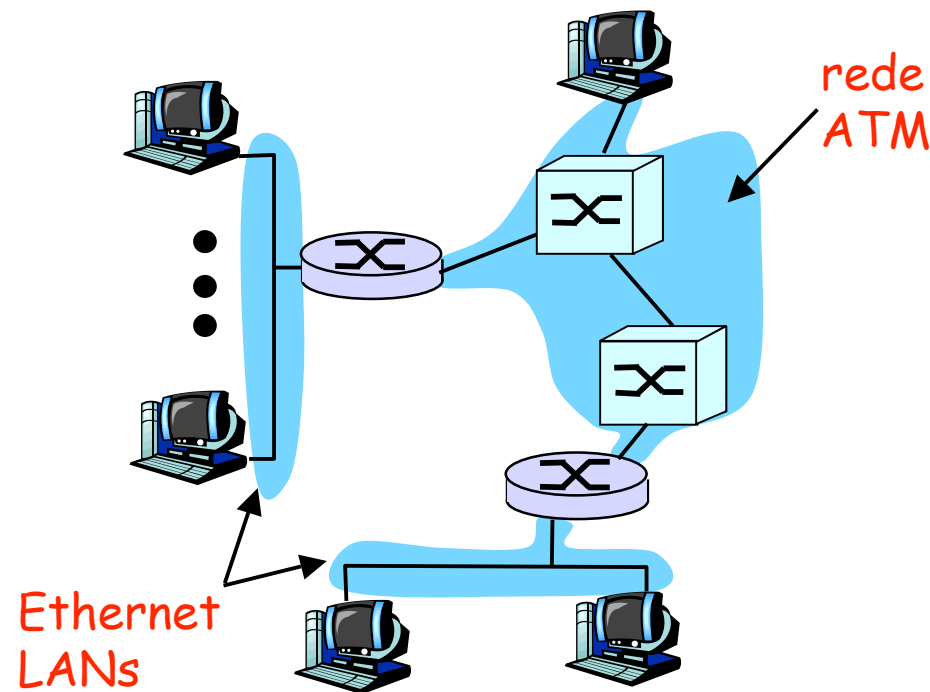
- **No endereço de origem:**
  - Camada IP encontra um mapeamento entre o endereço IP e o endereço de destino ATM (usando ARP)
  - Passa o datagrama para a camada de adaptação AAL5
  - AAL5 encapsula os dados, segmenta em células e passa para a camada ATM
- **Rede ATM:** move a célula para o destino de acordo com o seu VC (circuito virtual)
- **No hospedeiro de destino:**
  - AAL5 remonta o datagrama original a partir das células recebidas
  - Se o CRC OK, datagrama é passado ao IP



# 5 IP-sobre-ATM

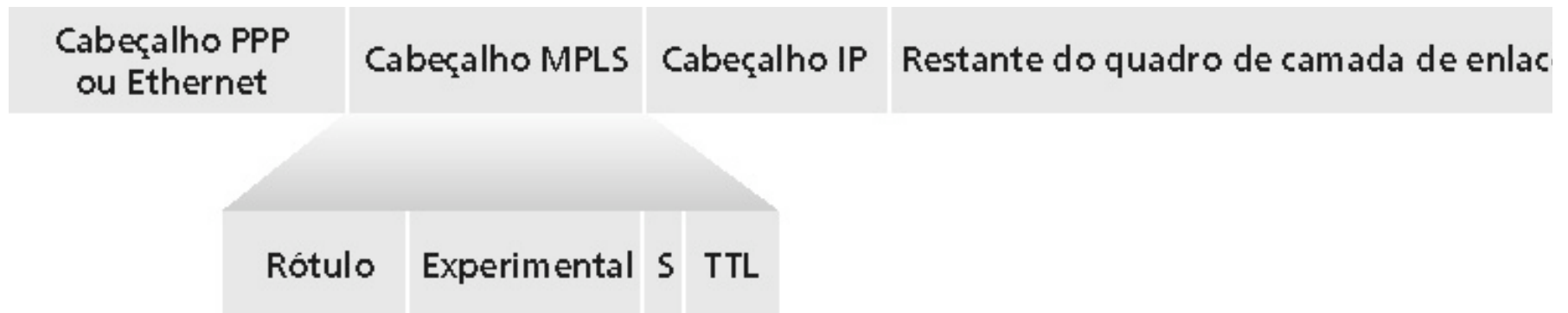
## Questões:

- Datagramas IP em ATM AAL5 PDUs
- Dos endereços IP aos endereços ATM
  - Da mesma forma que de endereços IP para endereços MAC 802.3!



# 5 Multiprotocol label switching (MPLS)

- Objetivo inicial: aumentar a velocidade de encaminhamento IP usando labels de tamanho fixo (em vez de endereço IP)
  - Mesma idéia do método de circuito virtual (VC)
  - Mas o datagrama IP ainda mantém o endereço IP!



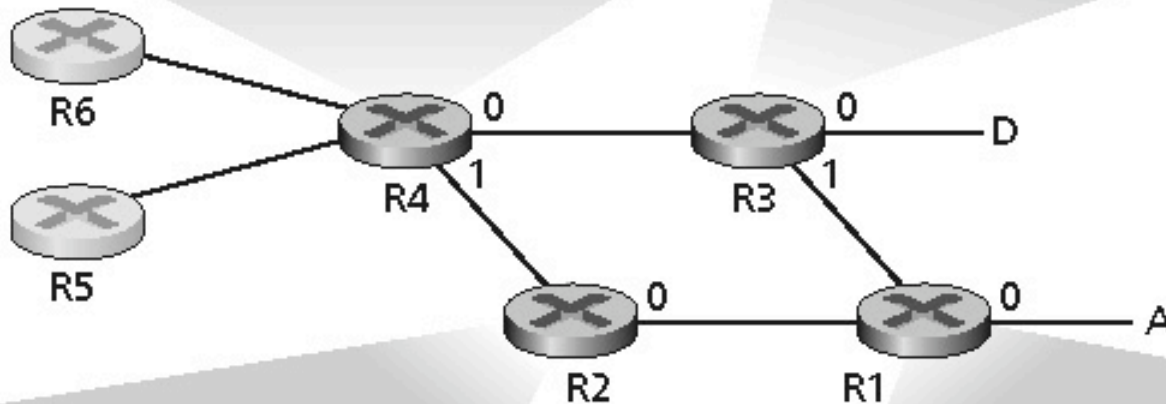
# 5 Roteadores MPLS

- Roteador faz a função de comutador de rótulo
- Pacotes encaminhados para interface de saída com base apenas no valor do rótulo (não inspeciona o endereço IP)
  - Tabela de encaminhamento MPLS distinta das tabelas de encaminhamento IP
- Protocolo de sinalização necessário para estabelecer o encaminhamento
  - RSVP-TE
  - Encaminhamento é possível por caminhos que o IP sozinho não pode usar (ex.: roteamento de especificado pela origem)!!
  - Use MPLS para engenharia de tráfego
- Deve coexistir com roteadores unicamente IP

# 5 Tabelas de encaminhamento MPLS

rótulo de entrada	rótulo de saída	destino	interface de saída
	10	A	0
	12	D	0
	8	A	1

rótulo de entrada	rótulo de saída	destino	interface de saída
10	6	A	1
12	9	D	0



rótulo de entrada	rótulo de saída	destino	interface de saída
8	6	A	0

rótulo de entrada	rótulo de saída	destino	interface de saída
6	-	A	0

# 5 Resumo

- Princípios por trás dos serviços da camada de enlace:
  - Detecção de erros, correção
  - Compartilhando um canal broadcast: acesso múltiplo
  - Endereçamento da camada de enlace
- Instanciação e implementação de várias tecnologias da camada de enlace
  - Ethernet
  - LANS comutadas
  - PPP
  - Redes virtualizadas como uma camada de enlace: ATM, MPLS