

Aulas 5 e 6

Camada de Enlace

Tecnologias de rede, MPLS e VLANs

Igor Monteiro Moraes
Redes de Computadores II

ATENÇÃO!

- Este apresentação é contém partes baseadas nos seguintes trabalhos
 - Notas de aula do Prof. Marcelo Rubinstein, disponíveis em <http://www.lee.eng.uerj.br/~rubi>
 - Notas de aula do Prof. José Augusto Suruagy Monteiro, disponíveis em <http://www.nuperc.unifacs.br/Members/jose.suruagy/cursos>
 - Material complementar do livro Computer Networking: A Top Down Approach, 5th edition, Jim Kurose and Keith Ross, Addison-Wesley, abril de 2009
 - Computer Networks, Andrew S. Tanenbaum, 4a. Edição, Editora Prentice Hall
 - IEEE Standard P802.1 Q, IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Virtual Bridged Local Area Networks, 30 de Julho de 1998 - <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1Q-1998.pdf>.

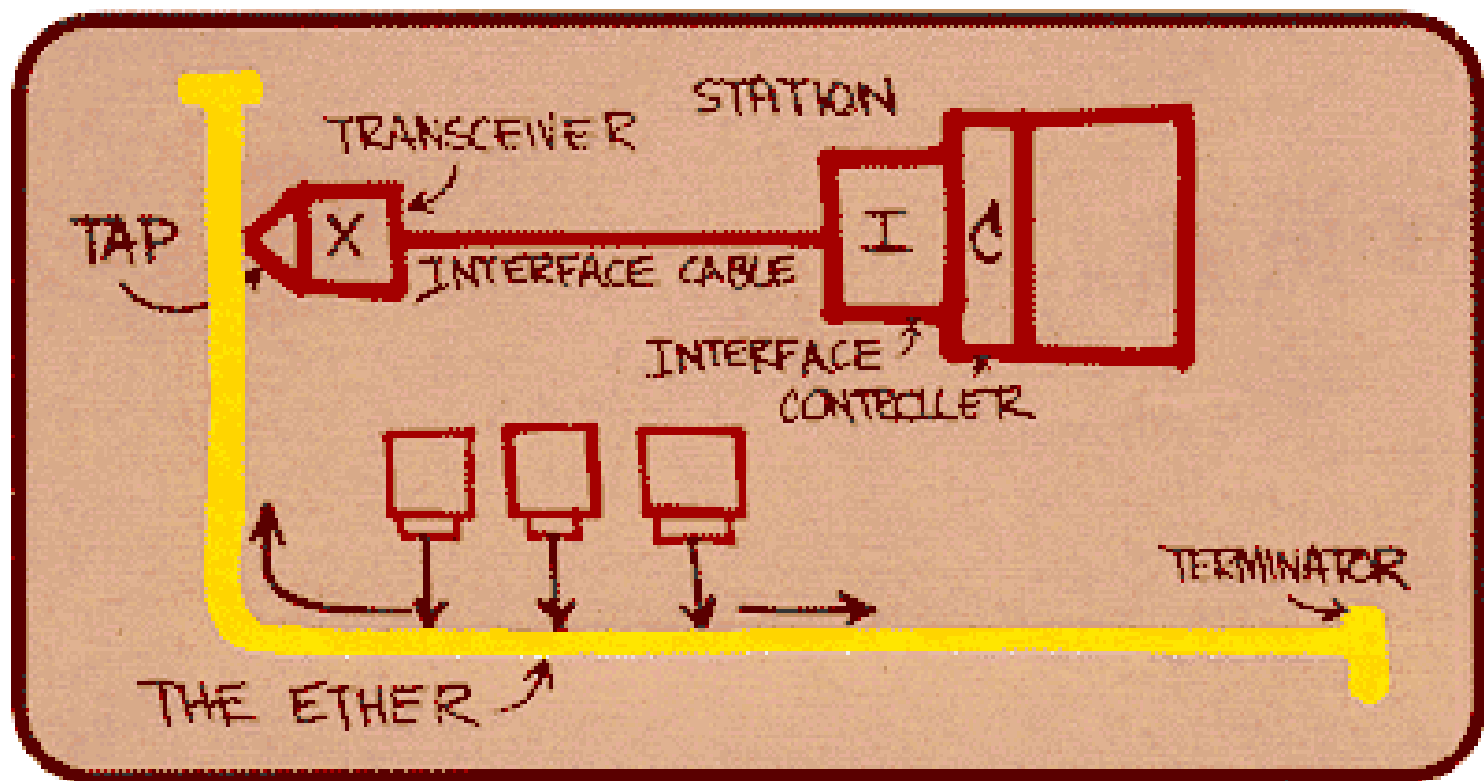
- Diversas tecnologias com características diferentes
 - Modelo IEEE 802
 - Definidas pela subcamada de acesso ao meio e a camada física
 - Rede pessoal, local ou metropolitana
- Exemplos
 - Ethernet
 - FDDI
 - ATM
 - Entre outros

Ethernet

- Grande sucesso
 - Muito barata
 - R\$30 para placas 10/100 Mb/s
 - A mais antiga das tecnologias de rede local
 - Década de 70
 - Método de acesso eficiente
 - Mais simples e com menor custo quando comparada a redes baseadas em fichas ou ATM
 - Acompanhou o aumento de velocidade
 - No início: até 10 Mb/s
 - Hoje: até 10 Gb/s

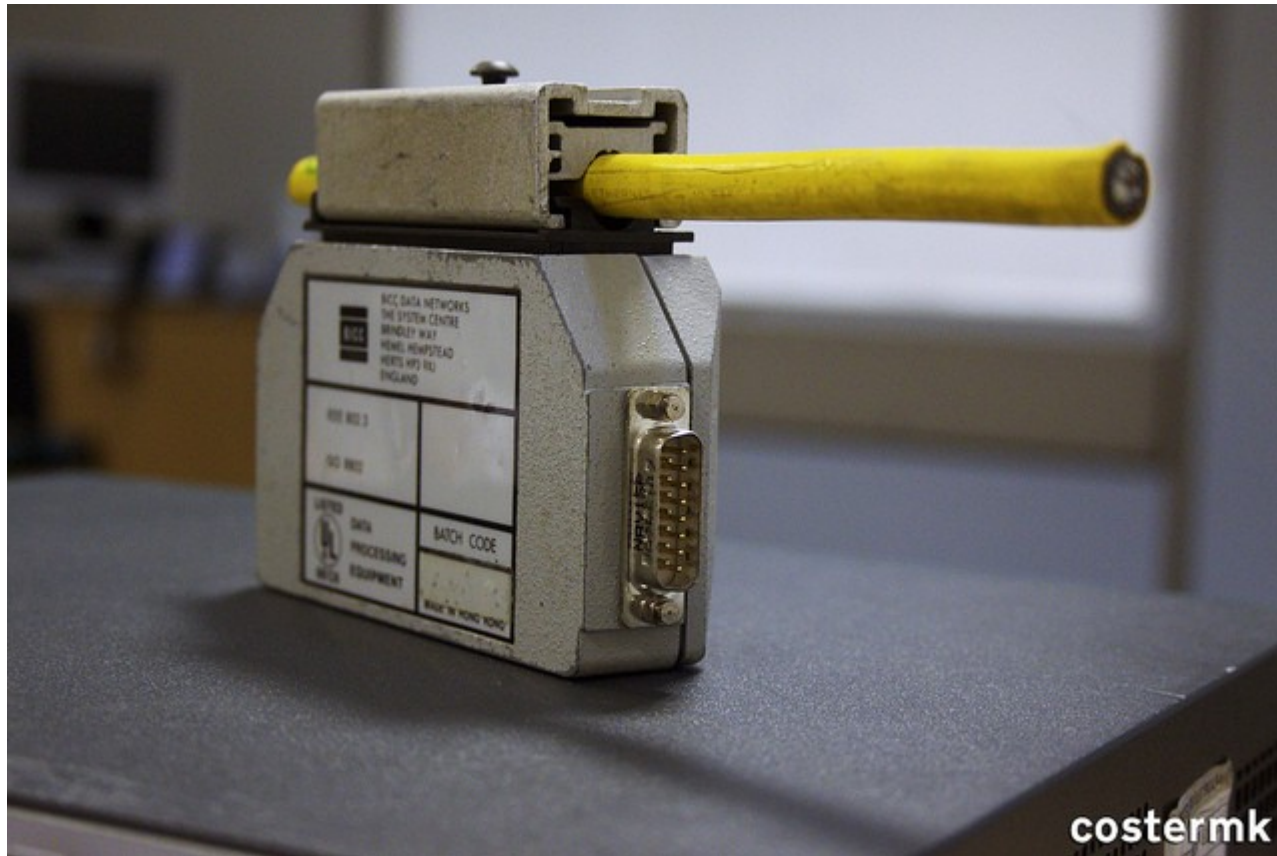
Ethernet

- Proposta por Bob Metcalfe e David Boggs em 1976
 - Funcionários da Xerox



Ethernet

- *Transceiver* “vampiro”

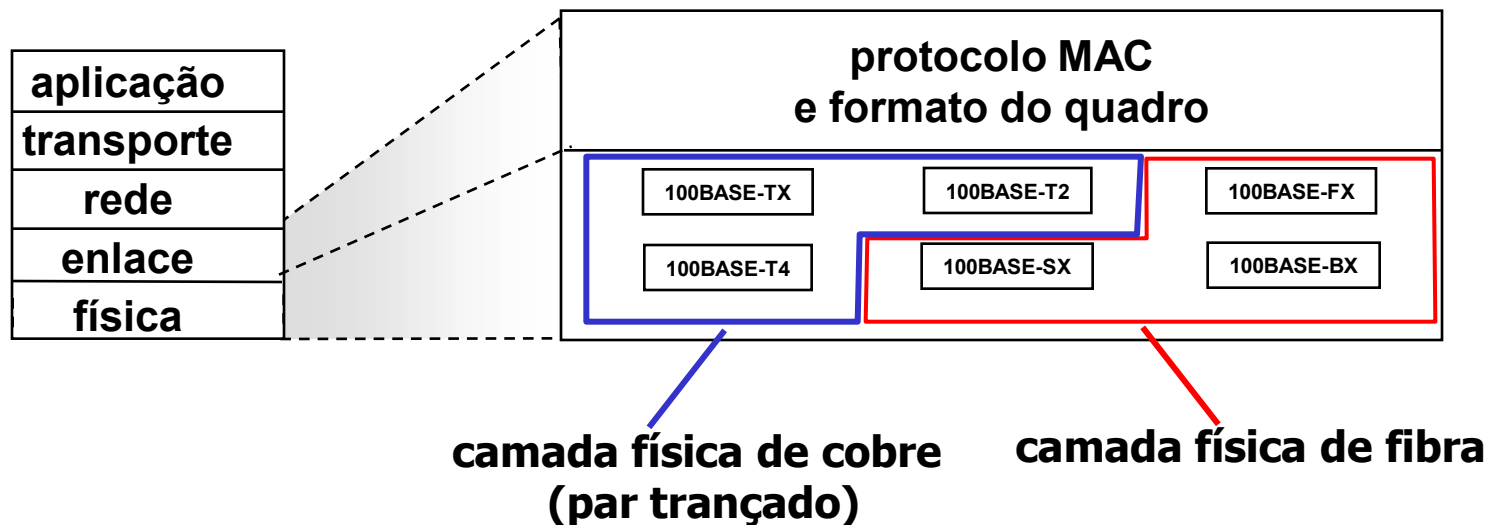


Ethernet

- *Transceiver* “vampiro”



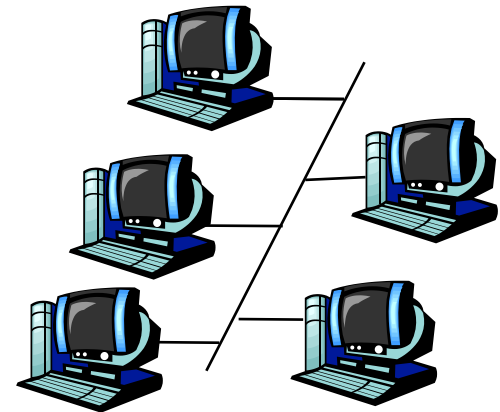
- Hoje em dia há vários tipos de Ethernet
 - Diferenciam-se na camada física e quanto ao uso do CSMA/CD ou da comutação
 - Tipo de cabo, codificação etc.
- Tipos descritos na norma IEEE 802.3 (www.ieee802.org/3)



- O mesmo serviço para todos os tipos
- Não orientado à conexão
 - Não há estabelecimento de conexão entre os adaptadores do transmissor e do receptor
- Não confiável
 - O adaptador do receptor não envia ACKs ou NACKs para o adaptador do transmissor
 - Verificação do CRC
 - Fluxo de datagramas passados para a camada de rede pode conter falhas na seqüência
 - Falhas serão recuperadas se aplicação estiver usando o TCP
 - Caso contrário, a aplicação verá as falhas

Rede Ethernet Original (10 Mb/s)

- Topologia em barramento compartilhado entre as estações
 - Todos os nós no mesmo **domínio de colisão**
 - Transmissões podem colidir
- Operação em *half-duplex*
- Método de acesso é o CSMA/CD



barramento: cabo coaxial

Rede Ethernet Original

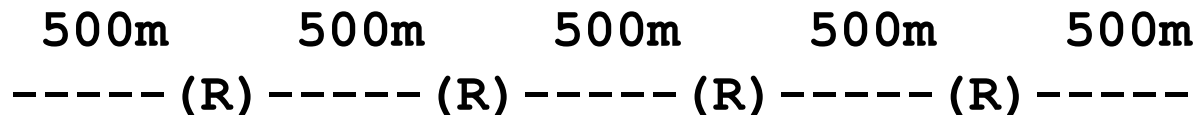
- Quadro Ethernet possui um **tamanho mínimo**
 - Garantir a **detecção de colisão**
- Tempo para transmitir o quadro mínimo
 - Tempo entre o início de transmissão de um quadro e a recepção do primeiro bit de uma mensagem de *jam*
 - É duas vezes o tempo de propagação de uma extremidade a outra do cabo
 - RTT (tempo de ida-e-volta)

Rede Ethernet Original

- Quadro Ethernet possui um **tamanho mínimo**
 - Garantir a **detecção de colisão**
- De acordo com o IEEE 802.3
 - LAN a 10 Mb/s, tamanho máximo 2500 m, 2×10^8 m/s
 - RTT (*round-trip time*) máximo = $2\tau = 50 \mu\text{s}$ (?)
 - 1 bit = 100 ns, então quadro mínimo = 500 bits
 - IEEE 802.3: 512 bits ou **64 bytes**

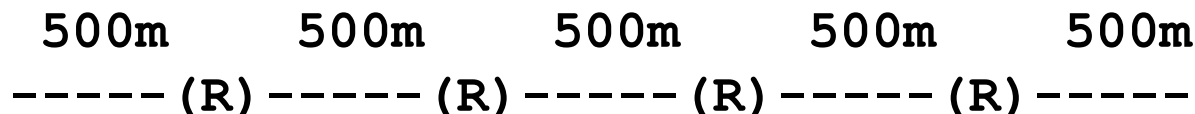
Rede Ethernet Original

- Cálculo do tamanho de quadro mínimo para o Ethernet 10Base5
 - Velocidade de propagação no meio: $s = 2 \times 10^8$ m/s
 - Comprimento de cada segmento: $d = 500$ m
 - Logo, $t_{\text{prop}} = d/s = 500/(2 \times 10^8) = 2,5 \mu\text{s}$
 - No máximo, 5 segmentos podem ser unidos com o uso de repetidores
 - Cada repetidor insere um atraso de $2,675 \mu\text{s}$



Rede Ethernet Original

- Cálculo do tamanho de quadro mínimo para o Ethernet 10Base5
 - Velocidade de propagação no meio: $s = 2 \times 10^8$ m/s
 - Comprimento de cada segmento: $d = 500$ m
 - Logo, $t_{\text{prop}} = d/s = 500/(2 \times 10^8) = 2,5 \mu\text{s}$
 - No máximo, 5 segmentos podem ser unidos com o uso de repetidores
 - Cada repetidor insere um atraso de $2,675 \mu\text{s}$



- Logo
 - $\text{RTT} = 2 * ((5*2,5) + (4*2,675)) = 2 * (23,2) = 46,4 \mu\text{s} \rightarrow \mathbf{50 \mu\text{s}}$

Rede Ethernet Original

- Para garantir a detecção de colisão o meio deve estar ocupado por pelo menos RTT
- Tamanho mínimo de quadro é $F = \text{RTT}/t_b$
 - $\text{RTT} = 50 \mu\text{s}$
 - Tempo de transmissão de 1 bit: $t_b = 1/10^7 = 100 \text{ ns}$
 - Taxa de transmissão: 10 Mb/s
 - Logo,
 - $F = 50 \times 10^{-6}/(100 \times 10^{-9}) = 500 \text{ bits} \rightarrow 512 = \mathbf{64 \text{ bytes}}$
- *Slot* Ethernet: 512 tempos de bit
 - É o tempo necessário para transmitir o quadro mínimo

Ethernet: CSMA/CD

1. Adaptador recebe um datagrama da camada de rede e cria um quadro
2. Adaptador escuta o meio
 - a. Se está livre por 96 tempos de bit , começa a transmitir o quadro
 - b. Se está ocupado, continua escutando o meio até que fique livre por 96 tempos de bit e transmite o quadro
3. Se o adaptador durante a transmissão do quadro
 - a. Não detectar outra transmissão: sucesso, não houve colisão
 - b. Detectar outra transmissão: colisão, aborta a transmissão e envia sinal de reforço de colisão (*jam*) de 48 bits

4. Após abortar a transmissão, o adaptador entra na fase de recuperação de colisão, chamada de *backoff* exponencial binário
 - a. Após a m -ésima colisão, o adaptador escolhe um número K aleatoriamente entre $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$. O adaptador espera $K * 512$ tempos de bit e retorna ao Passo 2

4. Após abortar a transmissão, o adaptador entra na fase de recuperação de colisão, chamada de *backoff* exponencial binário
 - a. Após a m -ésima colisão, o adaptador escolhe um número K aleatoriamente entre $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$. O adaptador espera $K * 512$ tempos de bit e retorna ao Passo 2

Por quê?

4. Após abortar a transmissão, o adaptador entra na fase de recuperação de colisão, chamada de *backoff* exponencial binário
 - a. Após a m -ésima colisão, o adaptador escolhe um número K aleatoriamente entre $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$. O adaptador espera $K \cdot 512$ tempos de bit e retorna ao Passo 2

Por quê?

Determinar o tempo de espera em função da carga da rede

Algoritmo de *Backoff* Exponencial Binário

- Objetivo
 - Adaptar as tentativas de retransmissão à carga atual estimada
 - Alta carga → tempo de espera tende a ser mais longo
- Retransmissão dos quadros após um tempo aleatório
 - Como esse tempo é calculado?

Algoritmo de *Backoff* Exponencial Binário

- Tempo é dado por um número aleatório (K) que multiplica o tempo de *slot* ($51,2 \mu\text{s}$)
 - Tempo de *slot* correspondente a 2τ
 - Suficiente para 512 bits no Ethernet
- K entre 0 e $2^i - 1$, onde i é o número de colisões
 - Após 10 colisões
 - Intervalo aleatório congelado em 1023 *slots*
 - Após 16 colisões
 - Quadro é descartado
 - Falha é reportada para a camada superior

Algoritmo de *Backoff* Exponencial Binário

- Exemplos
 - Atraso é de $K \times 512$ tempos de transmissão de um bit
 - Na primeira colisão
 - Escolhe K entre $\{0,1\}$
 - Após a segunda colisão
 - Escolhe K entre $\{0,1,2,3\}$...
 - Após 10 colisões
 - Escolhe K entre $\{0,1,2,3,4,\dots,1023\}$

Reforço de Colisão (*Jam*)

- No caso da detecção de uma colisão, a estação
 - Interrompe a transmissão
 - Envia um sinal de reforço de colisão (*jam*)
 - É necessário, pois nem sempre o número de bits do quadro interrompido é suficiente para a detecção de colisão
 - Tamanho igual a 48 bits
 - Quadro mínimo – RTT “exato” = $512 - 464 = 48$ bits
 - » Voltar algumas transparências...
 - Garantir que o *jam* será recebido antes do fim da transmissão

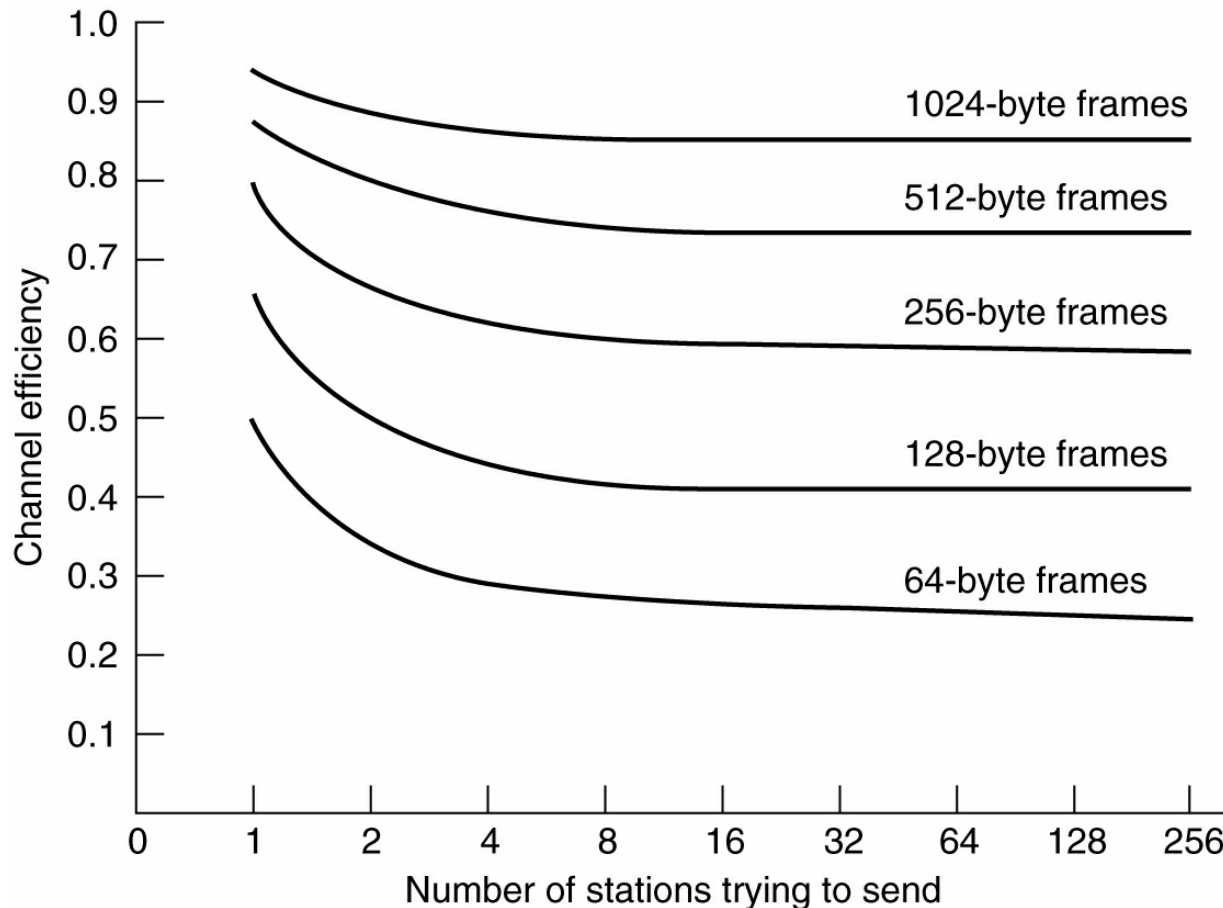
- t_{prop} = atraso máximo de prop. entre dois nós
- t_{trans} = tempo para transmitir quadro de tamanho máximo

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

- Eficiência vai para 1 à medida que:
 - t_{prop} vai para 0
 - t_{trans} vai para infinito
- Muito mais do que ALOHA
 - Ainda é descentralizado, simples e barato

Rede Ethernet Original

Eficiência do Ethernet a 10 Mb/s e tempo de *slot* de 512 bits
(fonte: Tanenbaum)



Quadro Ethernet original

- Preâmbulo
 - Sincronização entre relógios
 - 7 bytes 10101010 e o último byte 10101011
 - Espécie de delimitador de início de quadro
 - Codificação Manchester produz uma onda quadrada de 10 MHz durante aproximadamente $6,4 \mu\text{s}$
 - Não é computado no tamanho do quadro
- Endereços de destino e de origem: 6 bytes cada

Octetos



Quadro Ethernet Original - Endereços

- IEEE controla parte do endereço
 - Identificadores únicos de organização (*Organizationally Unique Identifiers* - OUI)
 - Primeiros 24 bits
- Bit mais significativo igual a 1
 - *Multicast* ou difusão
- Todos os bits em um
 - Difusão

Quadro Ethernet Original

- Endereços de destino e origem
 - O adaptador recebe um quadro com endereço de destino igual ao seu, ou com endereço de broadcast (ex., pacote ARP)
 - Passa os dados do quadro para o protocolo da camada de rede
 - Caso contrário
 - O adaptador descarta o quadro

Octetos



Quadro Ethernet Original

- Tipo
 - Protocolo usado pela camada superior
- Dados
 - Tamanho mínimo de 46 bytes
 - Quadro de 64 bytes garante a detecção de colisão
 - Tamanho máximo de 1500 bytes
 - *Maximum Transfer Unit* (MTU)

Octetos



Quadro Ethernet Original

- Dados (cont.)
 - Dados passados para a camada rede incluem o enchimento (se existente)
 - Tamanho do pacote da camada rede fará com que os dados sejam separados do enchimento

- CRC

- 32 bits

- $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 +$

- $+ x^4 + x^2 + x^1 + 1$

Octetos



Quadro Ethernet Original

- Não há delimitador de fim de quadro
 - Delimitação indicada pela ausência de bits
- Espaço entre quadros (*Interframe Gap*)
 - Após a transmissão de um pacote, um nó deve escutar o meio livre por no mínimo 96 tempos de bit antes de transmitir o próximo quadro

Octetos



Rede Ethernet Original

- Camada física
 - Cabeamento
 - Codificação

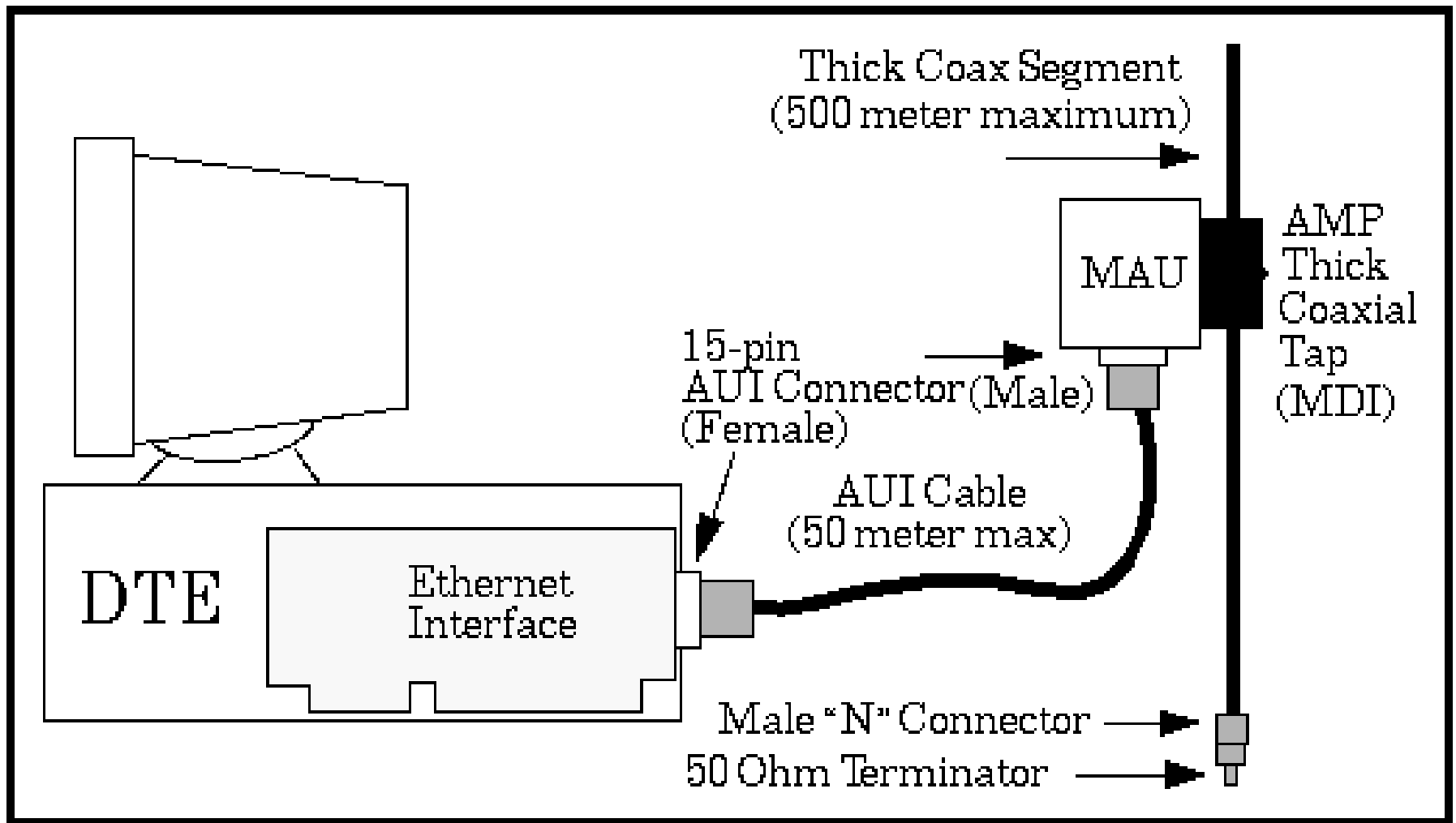
Rede Ethernet Original

- Tipos de cabeamentos (802.3)
 - Nomenclatura
 - $\langle x \rangle \langle \text{sinal} \rangle \langle y \rangle$
 - x é a taxa de transmissão em Mb/s
 - sinal é o tipo de sinalização usada
 - y é o comprimento máximo do cabo coaxial / 100 em metros ou o tipo de meio físico

Tipos de Cabeamentos

- 10Base5 (Ethernet grossa)
 - Normalizada em 1980
 - Banda básica
 - Topologia em barramento
 - Segmento de até 500 m
 - Máximo de cinco segmentos
 - Máximo de 100 estações por segmento
 - Cabo coaxial de 1 cm de diâmetro
 - Custo alto dos cabos e conectores
 - Pouca flexibilidade do cabo

10Base5



Tipos de Cabeamentos

- 10Base2 (Ethernet fina ou Cheapnet)
 - Normalizada em 1987
 - Banda básica
 - Topologia em barramento
 - Segmento de até 185 m (\approx 200 m, por isso o “2” no nome)
 - Máximo de cinco segmentos
 - Máximo de 30 estações por segmento
 - Cabo de 0,5 cm de diâmetro

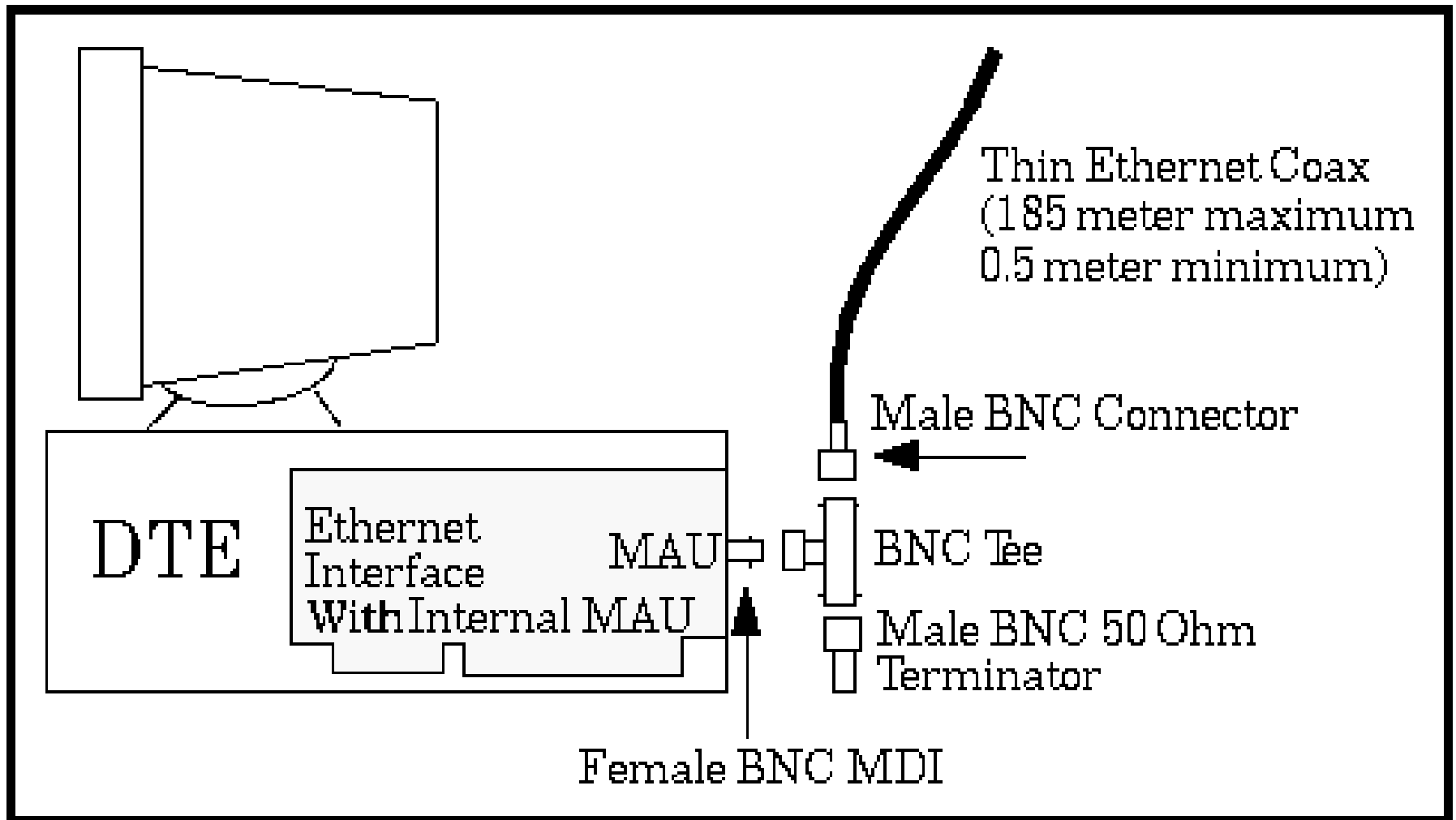
Tipos de Cabeamentos

- 10Base2 (Ethernet fina ou Cheapnet)
 - Conectores BNC padrão



- Problema de identificação de cabos partidos

10Base2

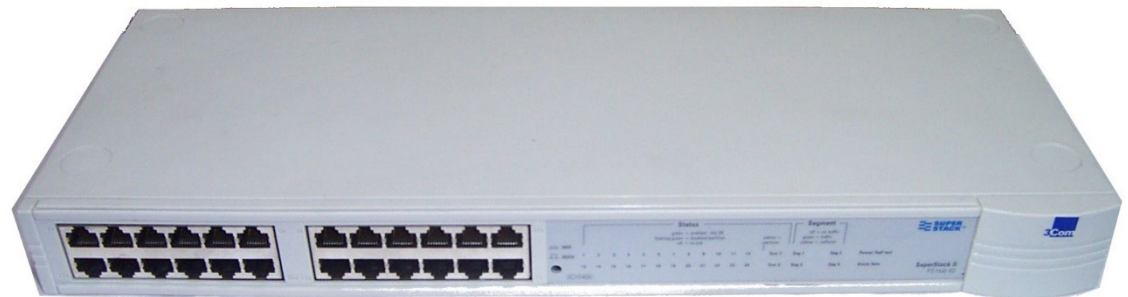


Tipos de Cabeamentos

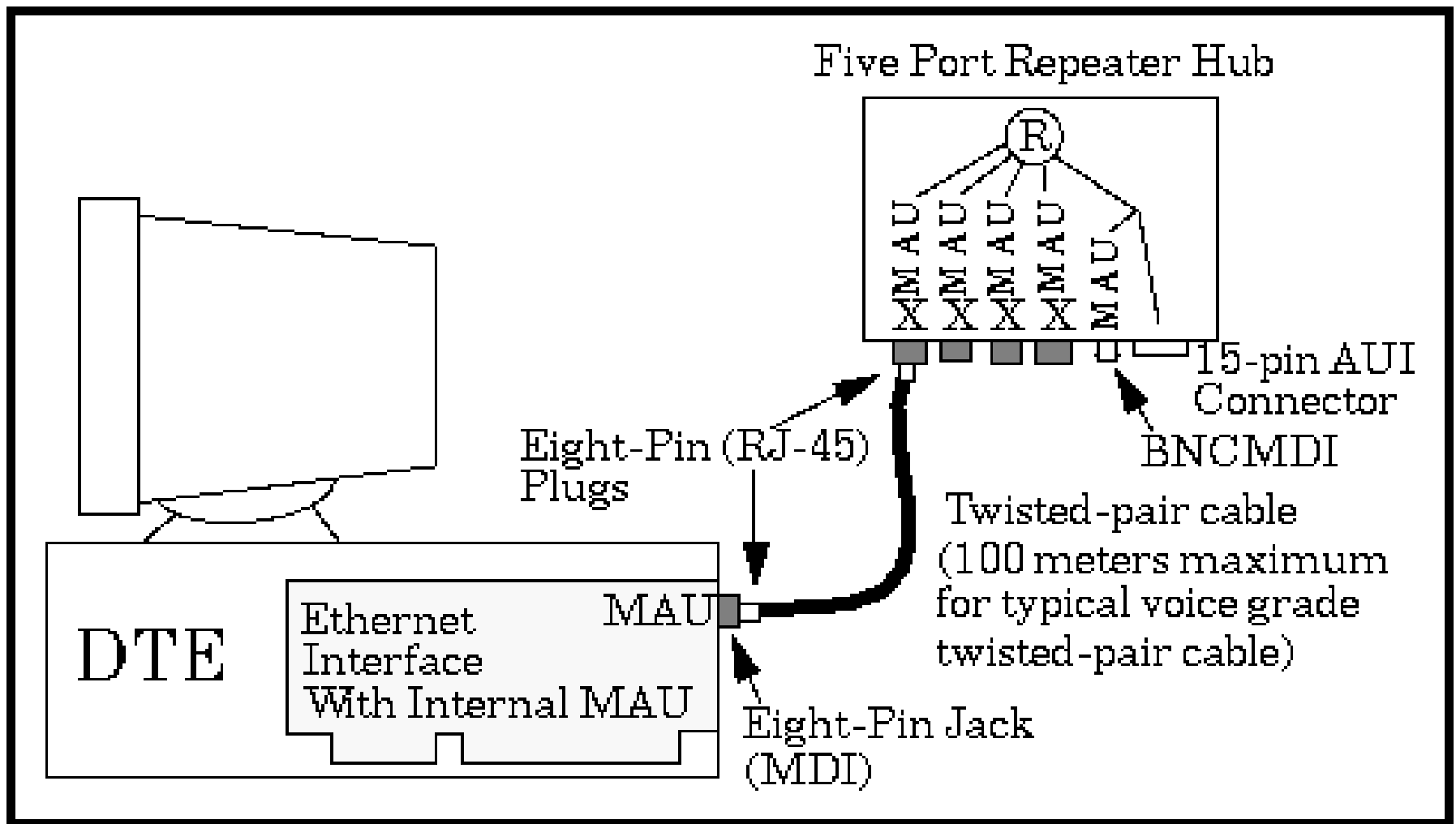
- 10Base-T
 - Normalizada em 1990
 - T → par trançado como meio de transmissão
 - Estação conectada a um *hub* através de dois pares trançados
 - Topologia em estrela
 - Topologia lógica em barramento
 - Alcance de 100 a 200 m (do hub a uma estação)
 - Depende da qualidade do cabo
 - Número máximo de estações por segmento é 1024

10Base-T

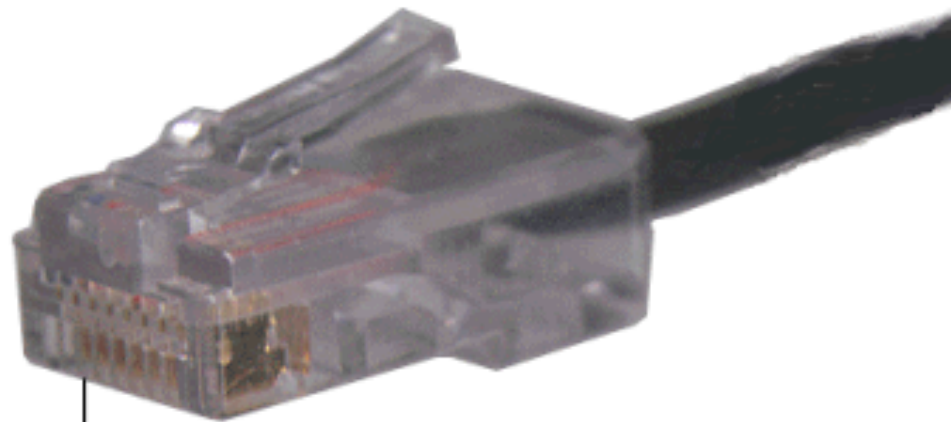
- Hub
 - Transmissão em *half-duplex*
 - Só repete os dados
 - Não roda todo o CSMA/CD
 - Estações rodam CSMA/CD
 - Detecta colisões e envia *jams*
 - **Não é escalável**
 - Um único domínio de colisão



10BaseT

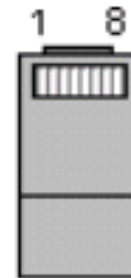


Conector RJ 45

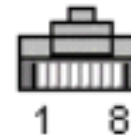


Pin 1

TOP:

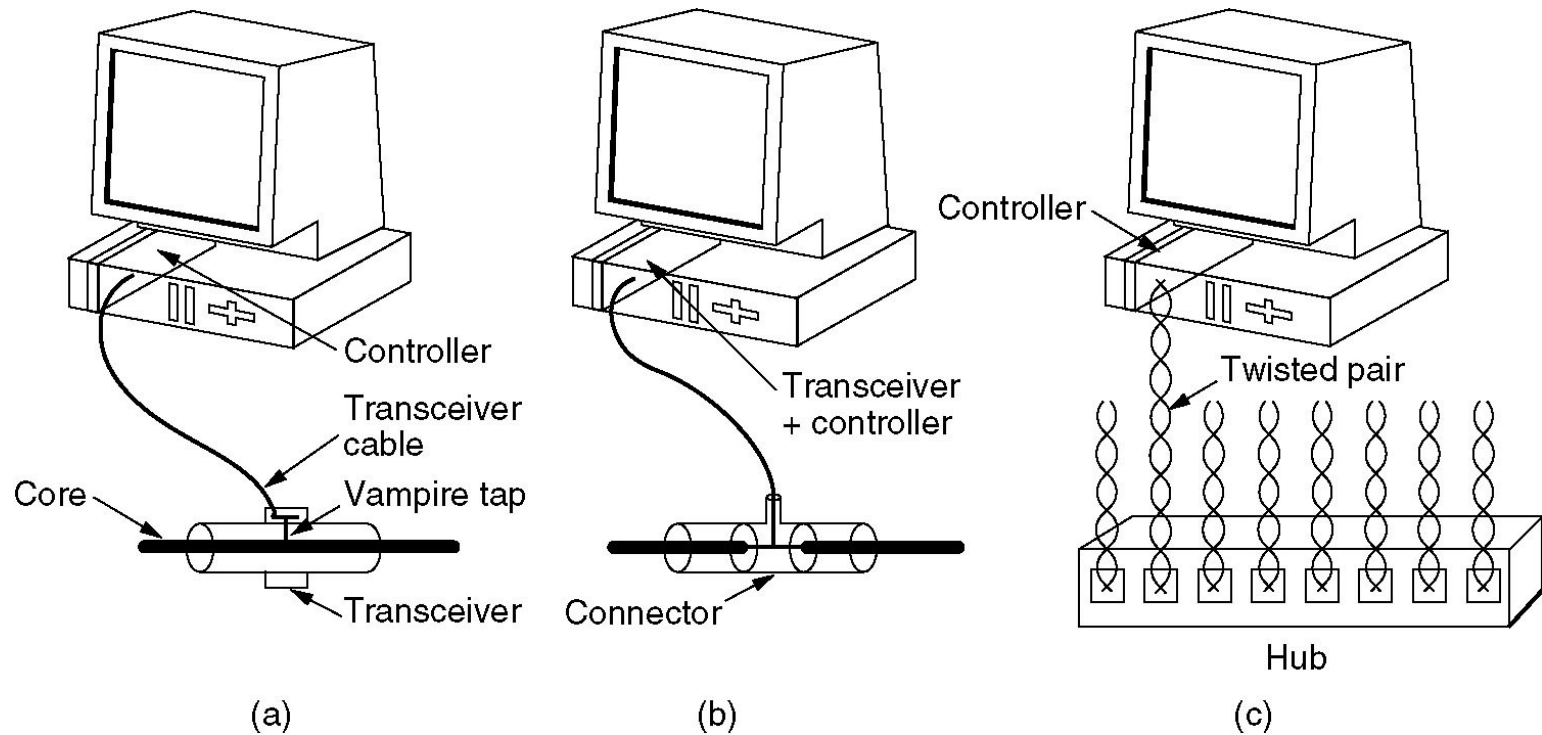


FRONT:



Tipos de Cabeamentos

10Base5 (a), 10Base2 (b) e 10Base-T (c) (fonte: Tanenbaum)

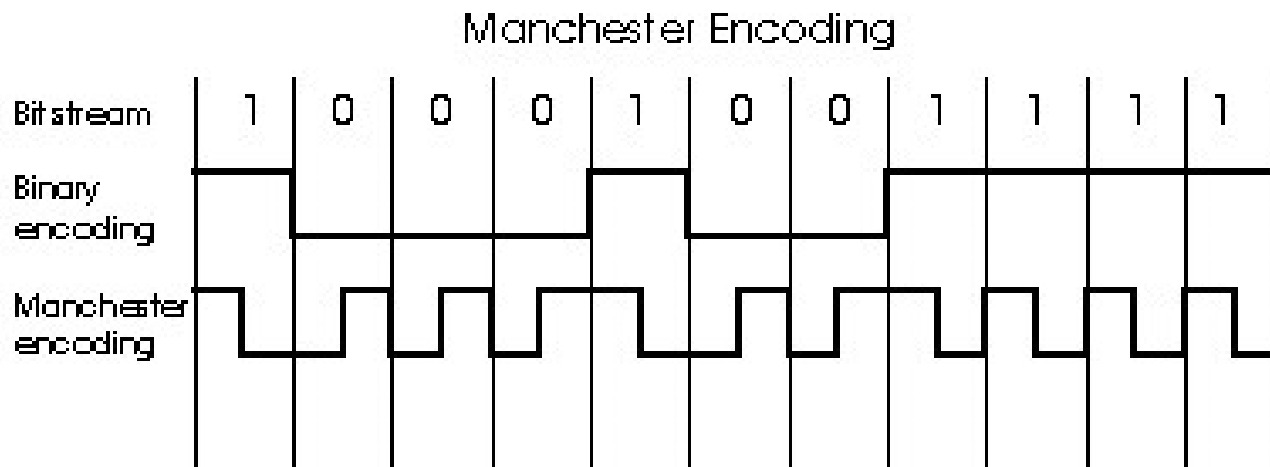


Tipos de Cabeamentos

- 10Base-F
 - Utiliza fibra óptica
 - Possui excelente imunidade a ruído
 - Segmentos de até 2000 m
 - Número máximo de estações por segmento é 1024
 - Alternativa cara em função do custo dos conectores e dos terminadores

Rede Ethernet Original

- Codificação
 - Não usa codificação binária direta
 - Problemas de temporização (perda de sincronismo)
 - Uso de codificação Manchester
 - Determina-se o início e o fim de cada bit sem o uso de um relógio externo → **transição**



Rede Ethernet de Alta Velocidade

- Década de 90

**Sucesso do
Padrão Ethernet**



**evolução da capacidade
de processamento
dos microcomputadores**



**Aumento da taxa
de transmissão**

Rede Ethernet de Alta Velocidade

- Década de 90

**Sucesso do
Padrão Ethernet**



**evolução da capacidade
de processamento
dos microcomputadores**



**Aumento da taxa
de transmissão**

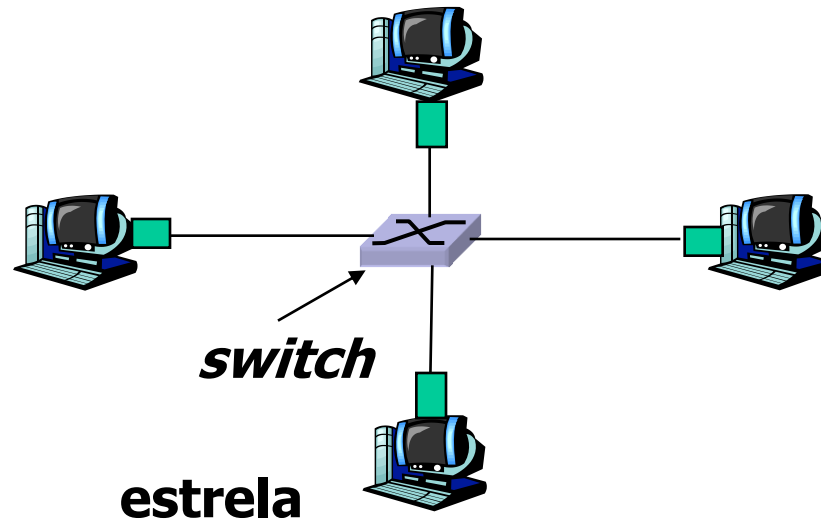
Como?

- Na topologia de cabo coaxial poderiam existir duas soluções
 1. $51,2 \mu\text{s}$ a $100 \text{ Mb/s} \rightarrow 5120 \text{ bits}$
 - Aumenta-se o tamanho mínimo do quadro para 5120 bits
 - Pode comprometer o desempenho de algumas aplicações
 2. Tempo de detecção de $5,12 \mu\text{s}$
 - Divide-se por 10 os tamanhos máximos dos cabos
 - Também não é uma boa solução
- Não se usa coaxial na Ethernet de mais de 10 Mb/s
- Solução \rightarrow usar **elementos centralizadores**

- Comutador (acesso dedicado - estação ligada diretamente)
 - Transmissão em *full-duplex*
 - Processa, armazena e transmite os dados
 - Pares trançados não são compartilhados → **não há colisões**
 - Cada porta roda o protocolo Ethernet separadamente
 - Escalável
 - Aumento de eficiência da rede
 - Limitação passa a ser dada pela banda do meio físico ou pela capacidade de comutação

Rede Ethernet de Alta Velocidade

- Comutador (acesso dedicado - estação ligada diretamente)
 - Topologia em estrela



Fast Ethernet (100 Mb/s)

- Primeira evolução
- Normalizada em 1995
- Usa par trançado ou fibra óptica como meio
- Mantêm o formato e os tamanhos mínimo e máximo do quadro
 - Questões de compatibilidade
- Funciona nos modos *half-duplex* e *full-duplex*

Fast Ethernet com Par Trançado

- 100Base-T
 - UTP cat 3 → sinais de 25 MHz
- Fast Ethernet
 - *Half-duplex*
 - Tamanho máximo da rede deveria ser de 250 m
 - Limitação vem do tamanho máximo do cabo (100 m)
 - » Alcance de 200 m
 - *Full-duplex*
 - Limitação vem do tamanho máximo do cabo (100 m)
 - » Alcance de 200 m

Fast Ethernet com Par Trançado

- 100Base-TX
 - UTP cat 5 → sinais de 125 MHz a 100 m
 - Usa dois pares (um para transmissão e outro para recepção)
 - Também não usa Manchester pois exigiria 200 MHz de banda
 - Codificação 4B/5B

Fast Ethernet com Par Trançado

- Esquema de autonegociação
 - Selecciona
 - Velocidade de operação
 - 10 ou 100 Mbps
 - Modo de operação
 - *Half* ou *full-duplex*

Fast Ethernet com Fibra Óptica

- 100Base-FX
 - Usa fibras de até 400 m

Gigabit Ethernet (1 Gb/s)

- Normalizada em 1998
- Usa par trançado ou fibra óptica como meio
- Mantêm o formato e os tamanhos mínimo e máximo do quadro
 - Compatibilidade com os padrões anteriores
- Funciona nos modos *half-duplex* e *full-duplex*

Gigabit Ethernet com Par Trançado

- *Half-duplex*
 - Meio *broadcast*
 - Tamanho máximo da rede deveria ser de 25 m
 - Soluções
 - Extensão de portadora
 - Envio de quadro em rajadas

Gigabit Ethernet com Par Trançado

- *Half-duplex* (cont.)
 - Extensão de portadora: hardware usa enchimento (após o CRC) para estender o quadro até 512 bytes
 - Vantagem: software não precisa ser mudado
 - Desvantagem: menor eficiência da rede

Gigabit Ethernet com Par Trançado

- *Half-duplex* (cont.)
 - Envio de quadro em rajadas
 - Primeiro quadro enviado normalmente (com extensão, se necessária)
 - Demais quadros são enviados em rajada até um limite de 65536 tempos de bit mais a transmissão do quadro final
 - Sem nenhuma extensão
 - Símbolos são usados nos intervalos entre quadros para não deixar outra estação obter o meio
 - Vantagem: mais eficiente que a extensão de portadora
 - Tamanho mínimo de 512 bytes → tamanho do *slot* é de 512 bytes e tamanho da rede é de até 200 m

Gigabit Ethernet com Par Trançado

- *Full-duplex*
 - Tamanho da rede é de até 200 m
- Controle de fluxo
 - Estação pode receber pedido para parar de transmitir por até 33,6 ms

Gigabit Ethernet com Par Trançado

- 1000Base-T
 - UTP cat 5 → 4 pares
 - Codificação 5-PAM
 - Quatro valores para dados e um para controle e enquadramento
 - Enviados 2 bits por símbolo em paralelo em cada um dos pares
 - Relógio a 125 MHz → oito bits permitem 1 Gb/s
 - Esquema de autonegociação

Gigabit Ethernet com Fibra Óptica

- Funciona nos modos *half-duplex* e *full-duplex*
- Pode usar controle de fluxo quando no modo *full-duplex*

Gigabit Ethernet com Fibra Óptica

- 1000Base-LX
 - Fibra monomodo
 - Tamanho máximo do segmento de 5000 m
 - Fibra multimodo
 - Tamanho máximo do segmento de 550 m
 - Codificação 8B/10B
- 1000Base-SX
 - Fibra multimodo
 - Tamanho máximo do segmento de 550 m
 - Codificação 8B/10B

10-Gigabit Ethernet (10 Gb/s)

- IEEE 802.3ae (2002)
 - Usa fibra óptica como meio
 - Mantêm o formato e os tamanhos mínimo e máximo do quadro
 - Funciona no modo *full-duplex*

- IEEE 802.3an (2006)
 - Usa par trançado como meio

40/100-Gigabit Ethernet (40-100 Gb/s)

- IEEE 802.3ba (2010)
- IEEE 802.3bj (2014)
 - Usa par trançado de cobre

Futuro...

- IEEE P802.3bs 400 Gb/s Ethernet Task Force
 - <http://www.ieee802.org/3/bs/index.html>

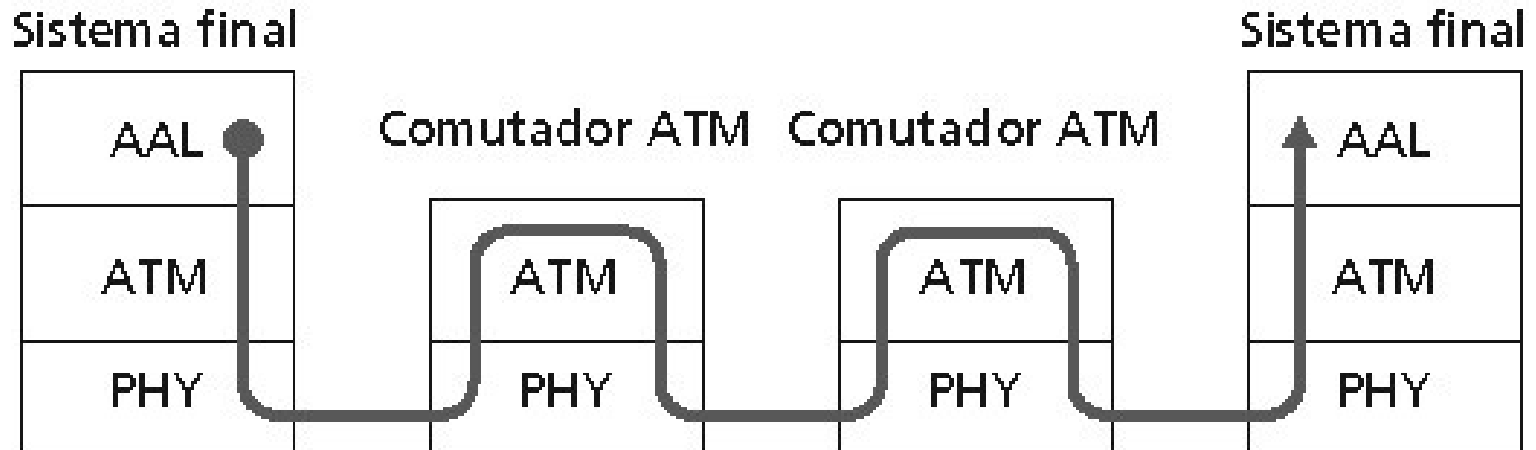
ATM

(Asynchronous Transfer Mode)

- *Asynchronous Transfer Mode*
- Padrão de alta velocidade
 - Proposto nos anos 90
 - 155 Mb/s a 622 Mb/s e superiores)
 - Arquitetura da RDSI-FL (Rede de Serviços Integrados – Faixa Larga)

- Objetivo
 - Transporte fim-a-fim integrado para voz, vídeo e dados
 - Atender os requisitos de sincronismo e QoS para voz e vídeo
 - Ao contrário do modelo de melhor esforço da Internet
 - “Próxima geração” da telefonia
 - Raízes técnicas no mundo da telefonia
- Características principais
 - Comutação de **células** usando **circuitos virtuais**
 - Pacotes de **comprimento fixo**

Arquitetura ATM

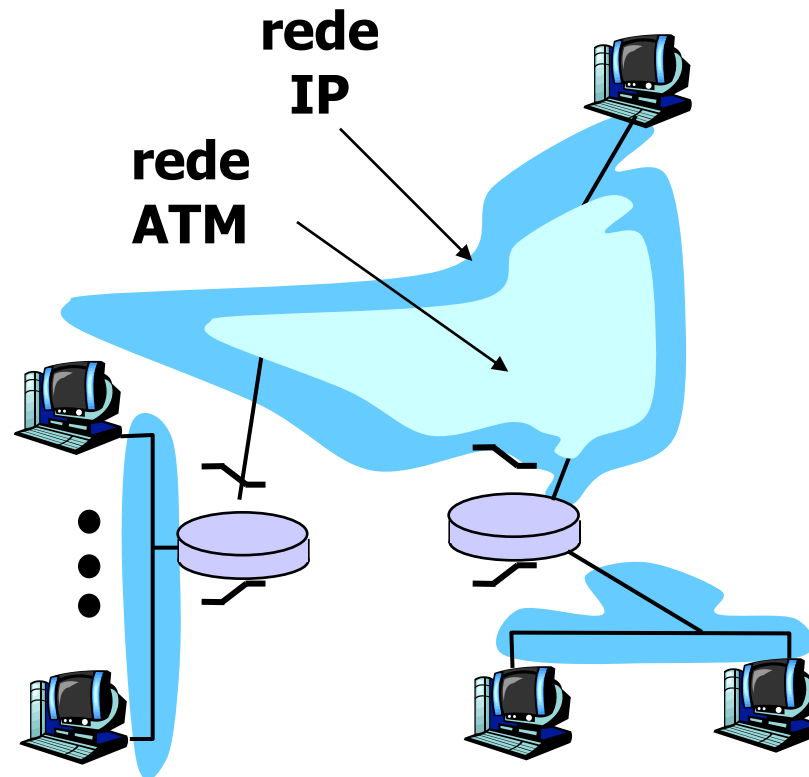


- Camada de adaptação (AAL)
 - Apenas nas bordas de uma rede ATM
 - Segmentação e remontagem dos dados
 - Analogia com a camada de transporte
- Camada ATM
 - Comutação de células e roteamento
 - Analogia com a camada de rede
- Camada física (PHY)

ATM: Rede ou Enlace?

- Conceitualmente
 - Transporte fim-a-fim
 - Entre estações
 - ATM é uma tecnologia de rede
- Na realidade
 - Usada para conectar roteadores de um *backbone* IP
 - “IP sobre ATM”
 - ATM como uma camada de enlace comutada, conectando roteadores IP

ATM: Rede ou Enlace?



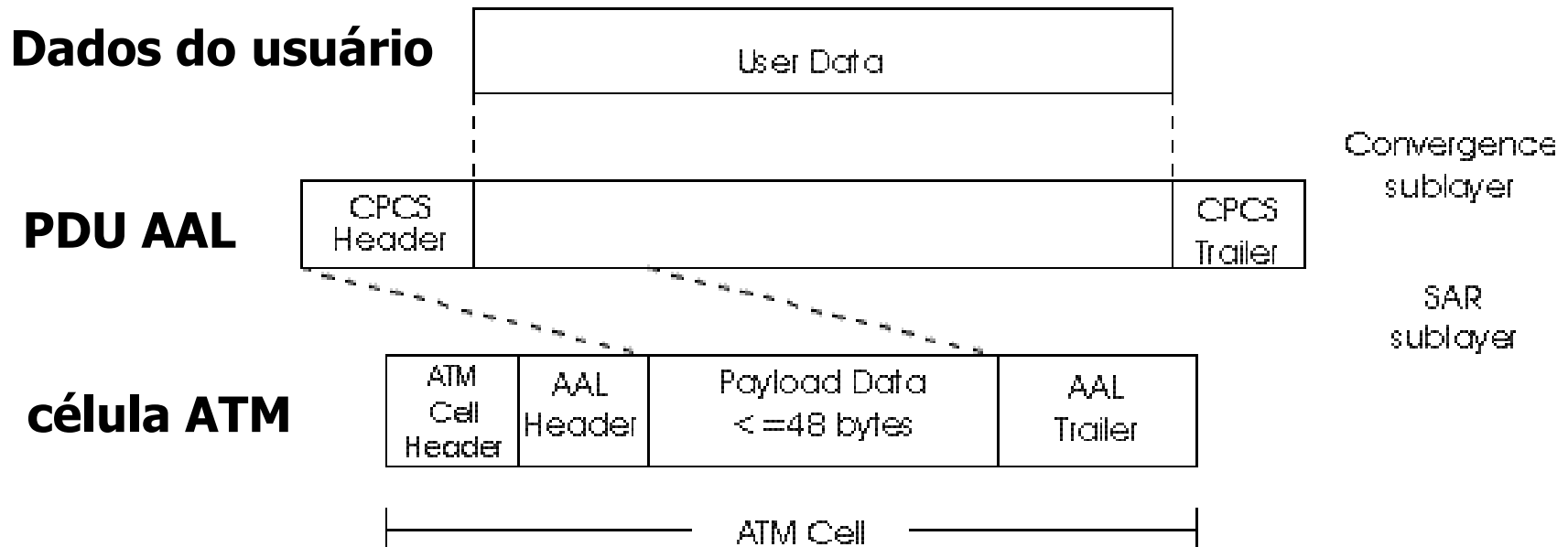
Camada de Adaptação ATM

- AAL (*ATM Adaptation Layer*)
 - É responsável por “adaptar” as camadas superiores (IP ou aplicações nativas ATM) à camada ATM abaixo
- AAL está presente **apenas nos sistemas finais**
 - Não nos comutadores ATM
- Segmento AAL (campos de cabeçalho/cauda, dados) são fragmentados em múltiplas células ATM
 - Analogia
 - Segmento TCP em muitos pacotes IP

Camada de Adaptação ATM

- 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 de Adaptação ATM



- É responsável por transportar células através da rede ATM
 - Análoga à camada de rede IP
 - Porém, com **serviços muito diferentes** aos da camada IP
 - CBR (*Constant Bit Rate*)
 - Tráfego com taxa constante
 - VBR (*Variable Bit Rate*)
 - Tráfego em rajadas com garantia de banda
 - ABR (*Available Bit Rate*)
 - Tráfego em rajadas sem garantia de banda
 - UBR (*Unspecified Bit Rate*)
 - Tráfego que não tem requisitos de tempo, perdas e banda

Camada ATM

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

- 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 identificação 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 “semelhante” a um circuito

Camada ATM: Circuitos Virtuais

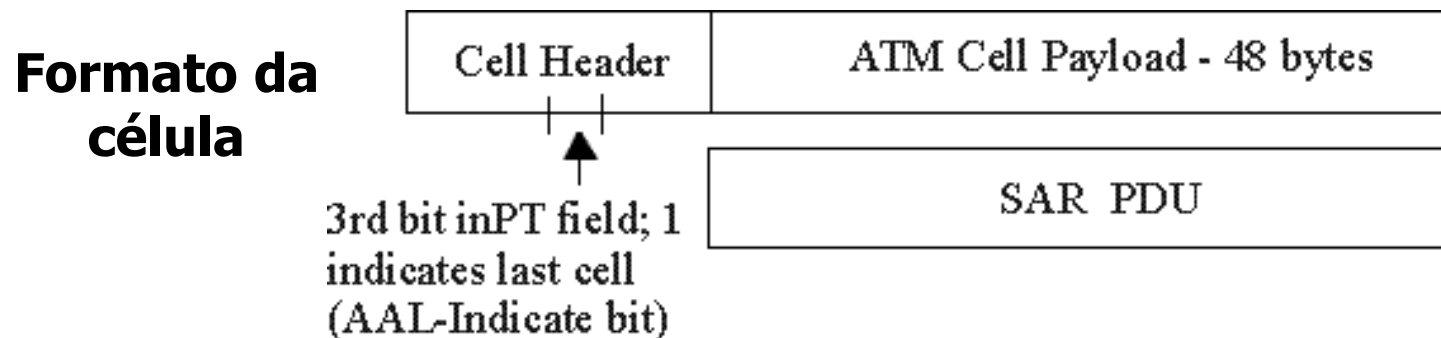
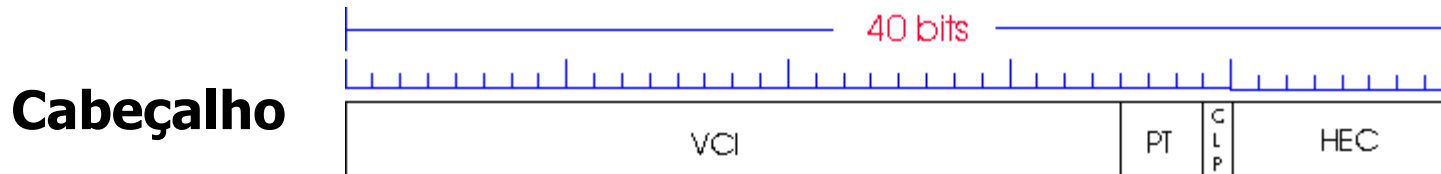
- CVs Permanentes (PVCs)
 - Conexões de longa duração
 - Típico
 - Rota “permanente” entre roteadores IP
- CVs Comutados (SVCs)
 - Estabelecimento dinâmico a cada chamada

Camada ATM: Circuitos Virtuais

- Vantagens da abordagem de CVs do ATM
 - Garantia de desempenho de QoS para a conexão é mapeada no CV
 - Largura de banda, 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
 - Sobrecarga de processamento para conexões de curta duração

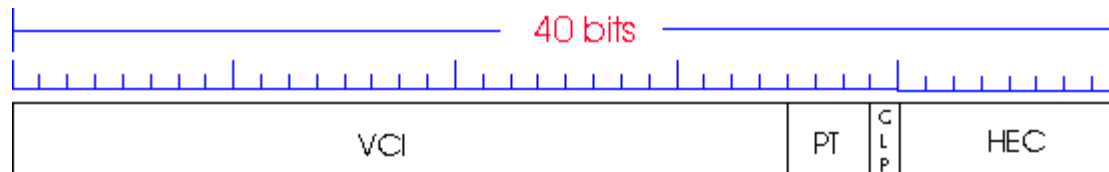
Camada ATM: Célula

- Cabeçalho da célula ATM de 5 bytes
- Carga útil (*payload*) de 48 bytes
- Por quê?
 - Pequena carga → curto tempo de criação de célula para voz digitalizada



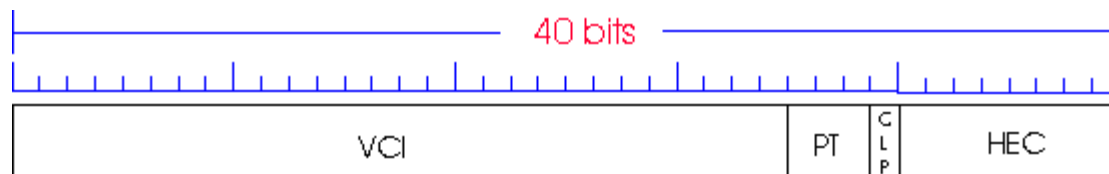
Cabeçalho da Célula ATM

- VCI
 - ID do circuito virtual
 - Mudará a cada enlace através da rede
- PT
 - Tipo da carga
 - Ex. célula de dados



Cabeçalho da Célula ATM

- 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*)
 - Verificação de redundância cíclica



MPLS

(MultiProtocol Label Switching)

Encaminhamento x Roteamento

- Roteamento
 - Decisão de qual caminho seguir
- Encaminhamento
 - Busca depois da decisão tomada

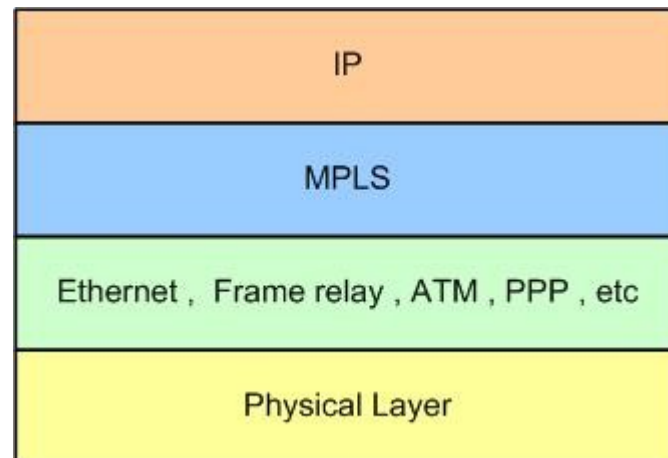
Encaminhamento x Roteamento

- Algoritmo de roteamento
 - Decide em qual enlace de saída um pacote deve ser transmitido
 - Constrói a tabela de roteamento
 - Contém o mapeamento entre os endereços de rede e estações e as portas de saída do roteador
- Algoritmo de encaminhamento
 - Faz a busca de qual porta de saída está associada a um endereço

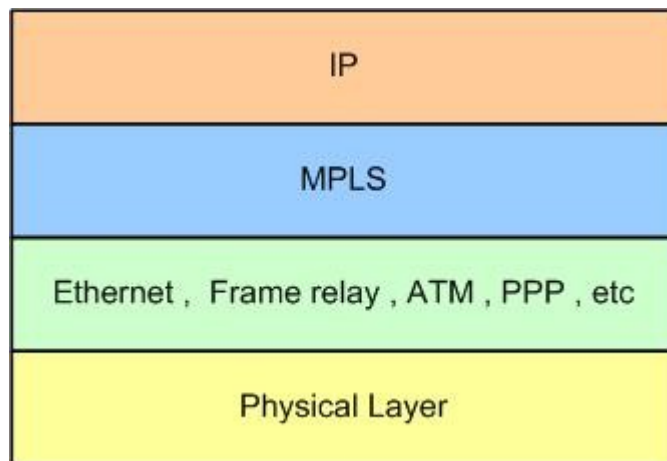
Encaminhamento x Roteamento

- Comutadores
 - Mais rápido
 - Menor custo
 - Sem endereçamento hierárquico
- Roteadores
 - Mais lento
 - Maior custo
 - Endereçamento hierárquico

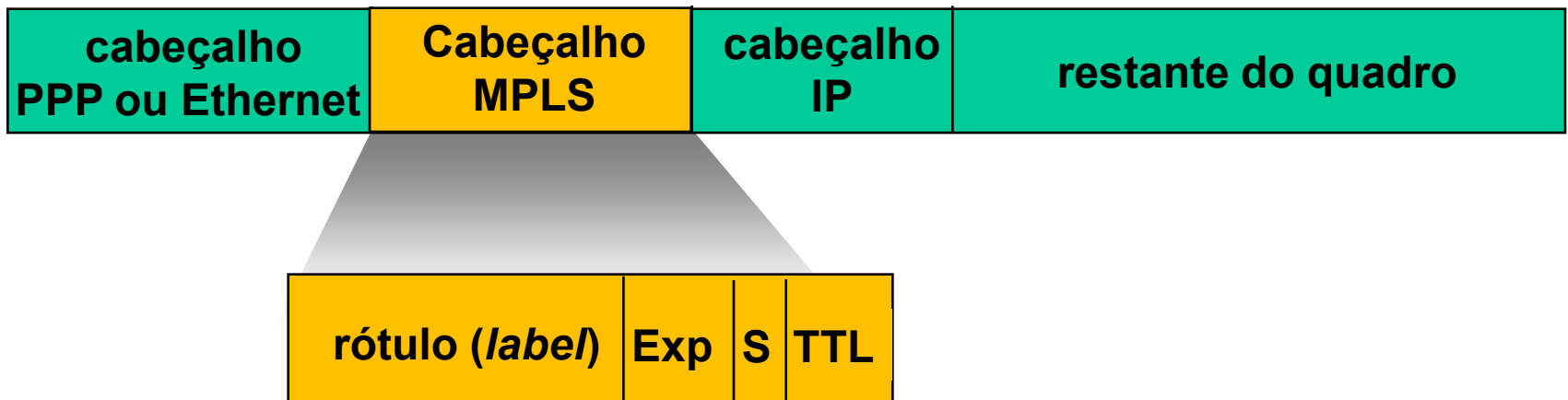
- *Multiprotocol Label Switching*
 - Comutação por rótulos
 - Construção de circuitos virtuais
 - Diminuir o custo computacional do roteamento



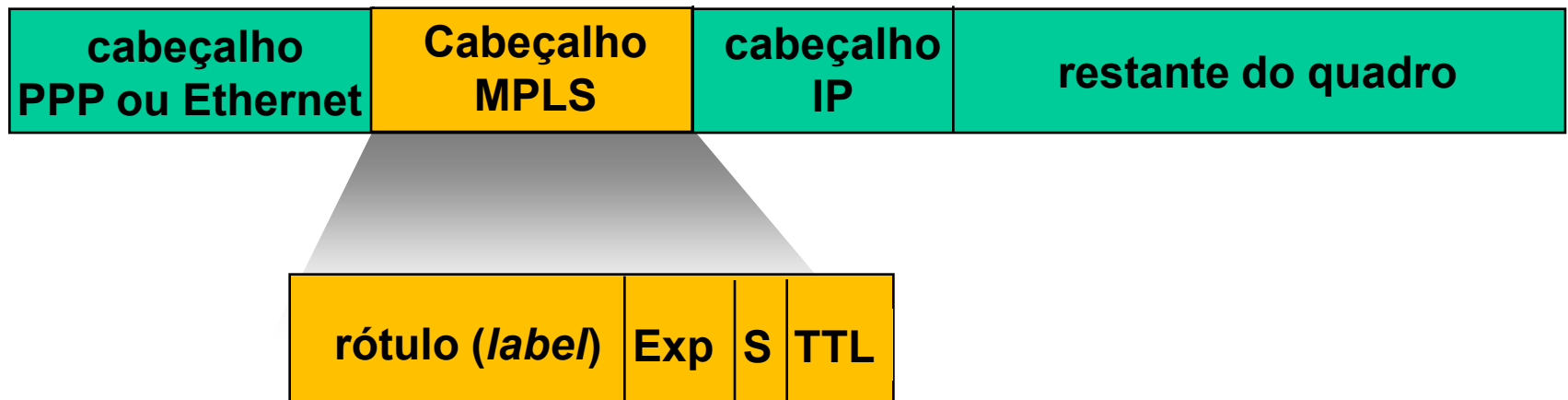
- *Multiprotocol Label Switching*
 - Garantir encaminhamento rápido dos pacotes e QoS
 - Indexação rápida em uma tabela de comutação
 - Circuitos virtuais possibilitam a reserva de recursos
 - Análise do cabeçalho IP
 - Muita informação para escolher somente o próximo salto



- Comutação de rótulos
- Objetivo inicial
 - Acelerar o encaminhamento IP
 - Uso de **rótulo de comprimento fixo** ao invés de endereço IP



- Idéias similares às da abordagem de circuitos virtuais
 - Mas os datagramas ainda mantêm o endereço IP
- Usado para fazer **engenharia de tráfego**



Roteador com Suporte ao MPLS

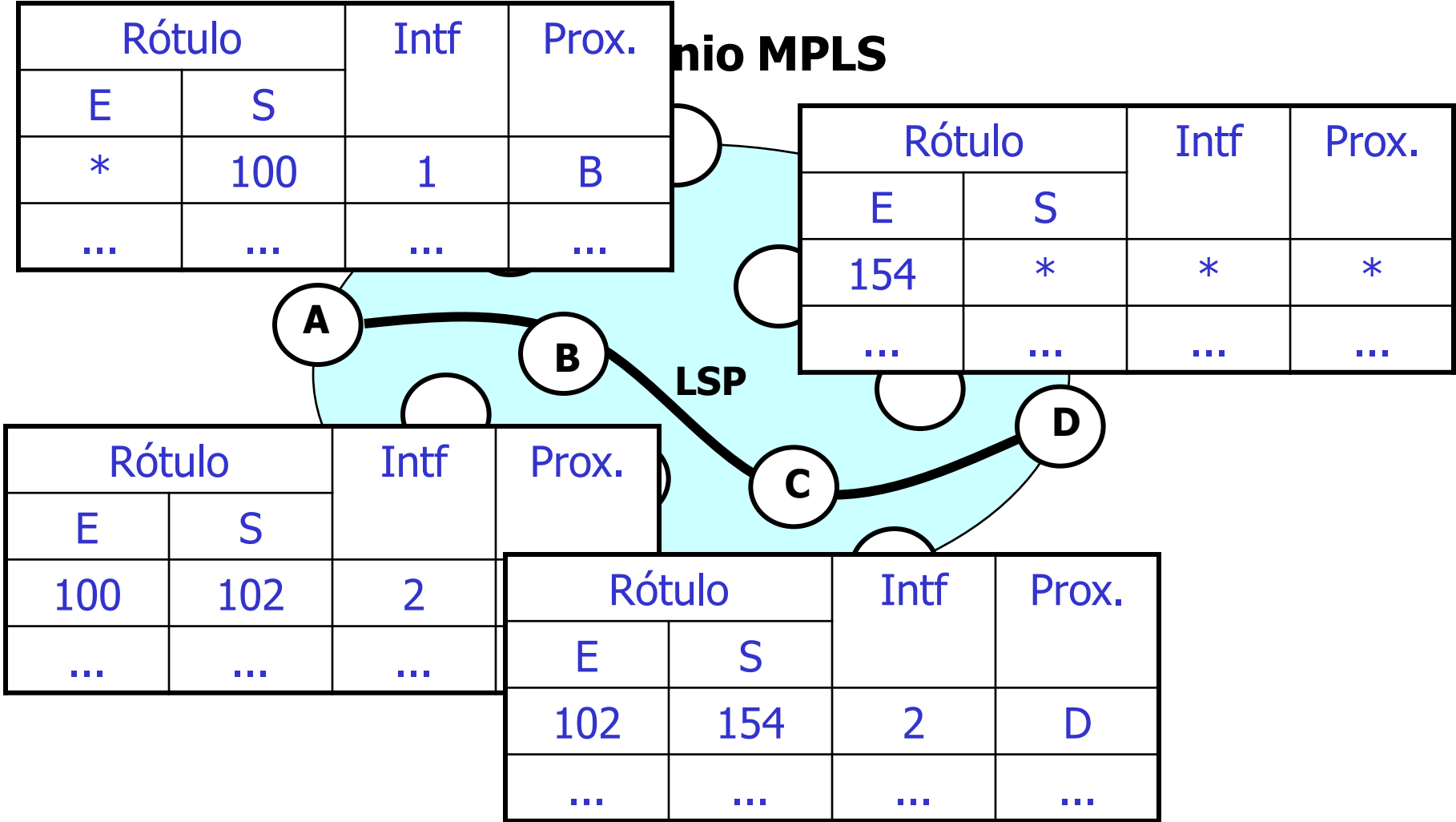
- Chamado de LSR (*Label-switched Router*)
- Encaminha os pacotes para a interface de saída baseada apenas no valor do rótulo
 - Não verifica o endereço IP
- A tabela de encaminhamento do MPLS é distinta da tabela de encaminhamento do IP

Roteador com Suporte ao MPLS

- É necessário protocolo de sinalização para criar as rotas
 - Chamadas de LSPs (*Label Switched Paths*)
 - Sinalização usando o RSVP-TE
 - Repasse possível através de caminhos que o IP sozinho não permitiria
 - Ex.: roteamento específico da origem
 - Engenharia de tráfego
- Deve coexistir com roteadores apenas IP

- Roteador comutado por rótulo – LSRs
 - Encaminhamento de acordo com o rótulo e interface
 - Rótulo trocado a cada salto
 - Mapeamento constante
- Caminho dos pacotes – LSPs
- Pacotes com mesmo rótulo pertencem a mesma classe de encaminhamento (FEC)

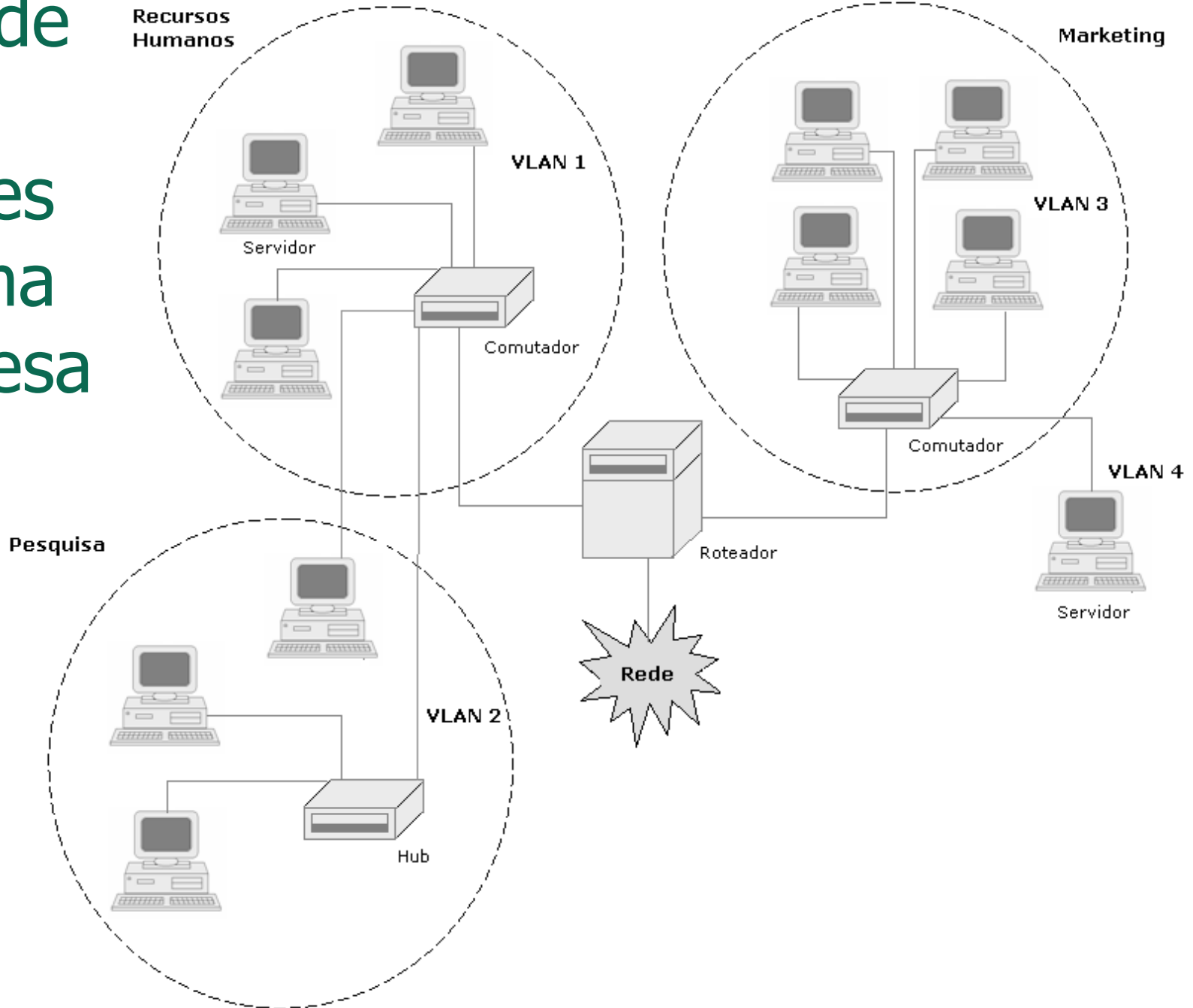
Encaminhamento no MPLS



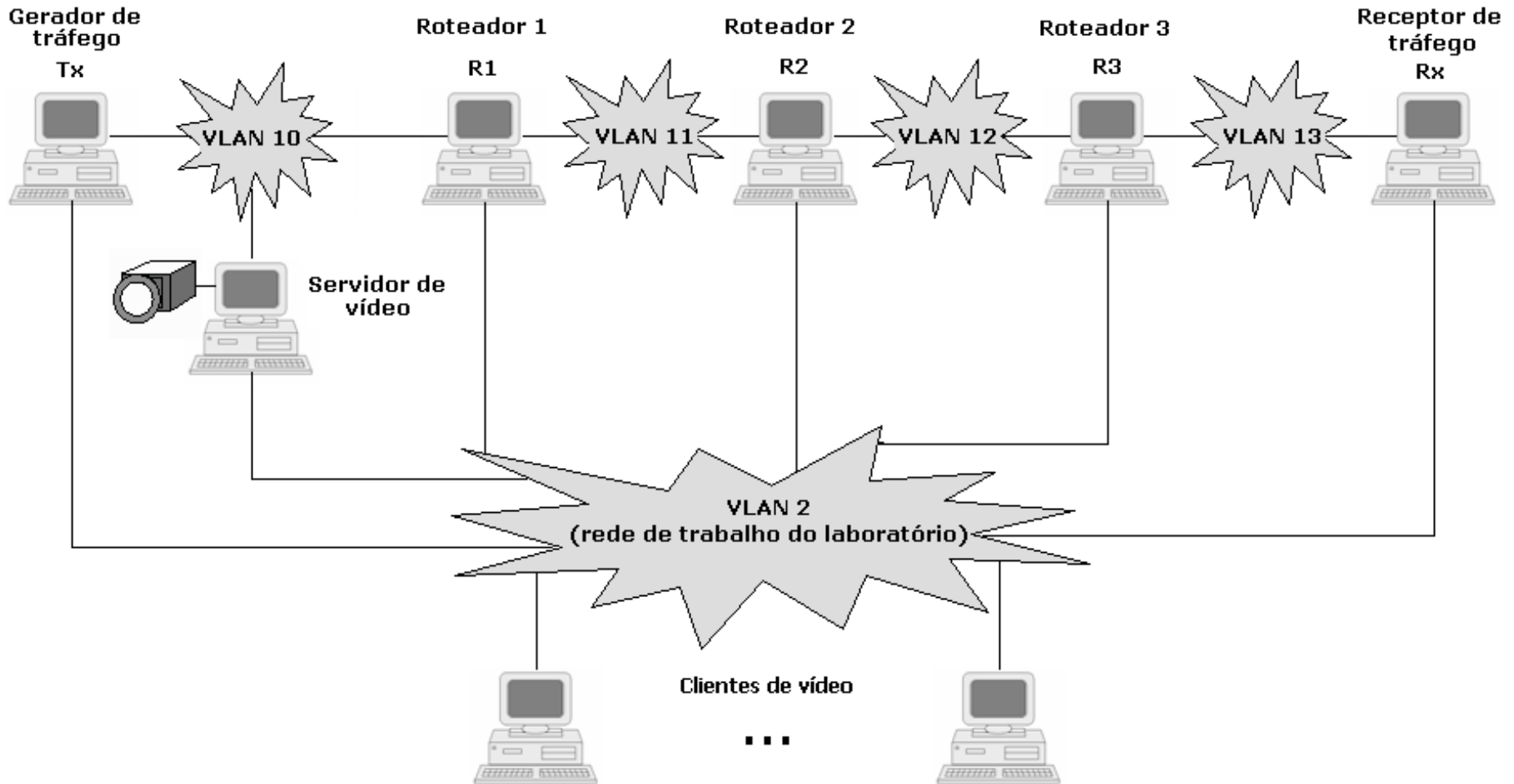
Redes Locais Virtuais (VLANs)

- *Virtual Local Area Networks*
 - Geralmente, definidas pelo padrão IEEE 802.1Q
- Objetivo
 - **Segmentar**, logicamente, uma rede local em **vários domínios de *broadcast***
- Comutadores filtram os quadros
 - Com base em alguma informação
 - Só encaminham para algumas porta
- É uma solução alternativa ao uso de roteadores para segmentação da rede

Caso de Uso: Setores de uma Empresa



Caso de Uso: Experimentos



Vantagens

- Controle do tráfego *broadcast*
- Segmentação lógica da rede
- Redução de custos e facilidade de gerenciamento
- Independência da topologia física
- Maior segurança
 - Controle de acesso

Tipos de VLANs

- VLANs baseadas em
 - Portas
 - Intuitiva, rápida e de fácil gerenciamento
 - Endereço MAC
 - Tipo de protocolo
 - Endereço IP
 - Camadas superiores: aplicações ou serviços
- Padrão IEEE 802.1Q
 - Define somente as VLANs das Camadas 1 e 2

Exemplo de VLAN por Porta

- Menu de edição de um comutador

```

Edit VLANs                                     Layer 2 Switch
-----
Action: <Add/Modify> VLAN Name:[rede10          ]      Total Entries:5
VLAN Type:  1Q VLAN                VID:  10
          Port  1 to 8 9 to 16 17 to 24 25  26
Membership (U/T/-):  [-----][-----][TUU-----] [-]  [-]          APPLY
-----
VID      VLAN Name          1 to 8 9 to 16 17 to 24 25  26
-----
1        default           -----
2        rede00            UUUUUUUU  UUUUUUUU  -----  T  U
10       rede10            -----  -----  UU-----  T  -
11       rede11            -----  -----  --UU-----  -  -
12       rede12            -----  -----  ----UU--  -  -
13       rede13            -----  -----  -----UU  -  -

```

Tratamento de Quadros

- É necessário um comutador com suporte ao padrão IEEE 802.1Q
- Ao receber um quadro o comutador deve identificar a qual VLAN ele pertence
- Existem três tipos de quadros
 - Sem rótulo (*untagged frames*)
 - Com rótulo de prioridade (*priority-tagged frames*)
 - Com rótulo VLAN (*VLAN-tagged frames*) - VID

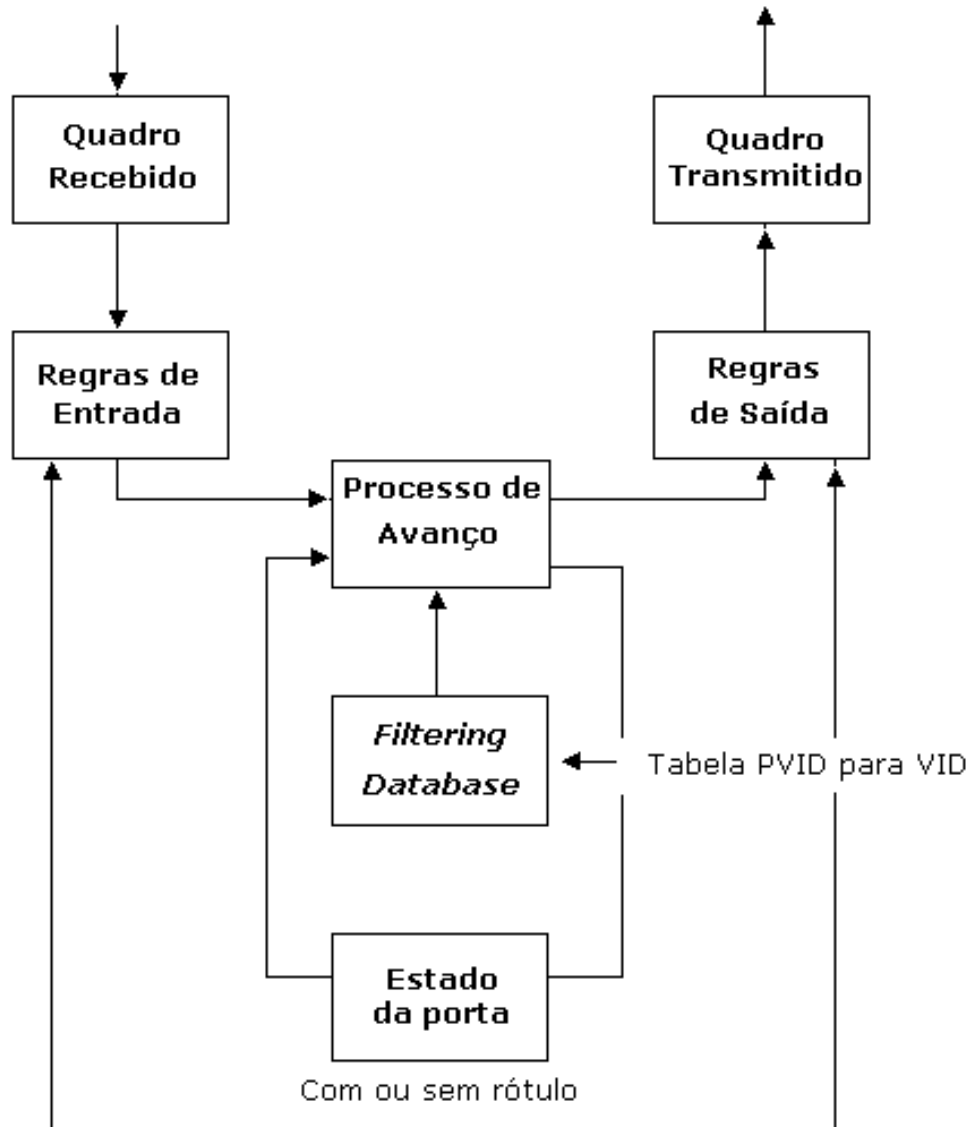
Tratamento de Quadros

- Internamente, o comutador possui um identificador para cada porta, chamado PVID (*Port* VLAN ID)
- Um quadro recebido em uma dada porta é associada ao PVID desta porta
- O relacionamento entre o VID (externo) e o PVID (interno) se dá na base de dados (*filtering database*)
- Devido a existência do PVID, é possível a coexistência de dispositivos com e sem suporte a VLANs numa mesma rede

Tratamento de Quadros

- O encaminhamento de quadros é baseado em três regras
 - Entrada
 - Encaminhamento entre portas
 - Saída

Tratamento de Quadros

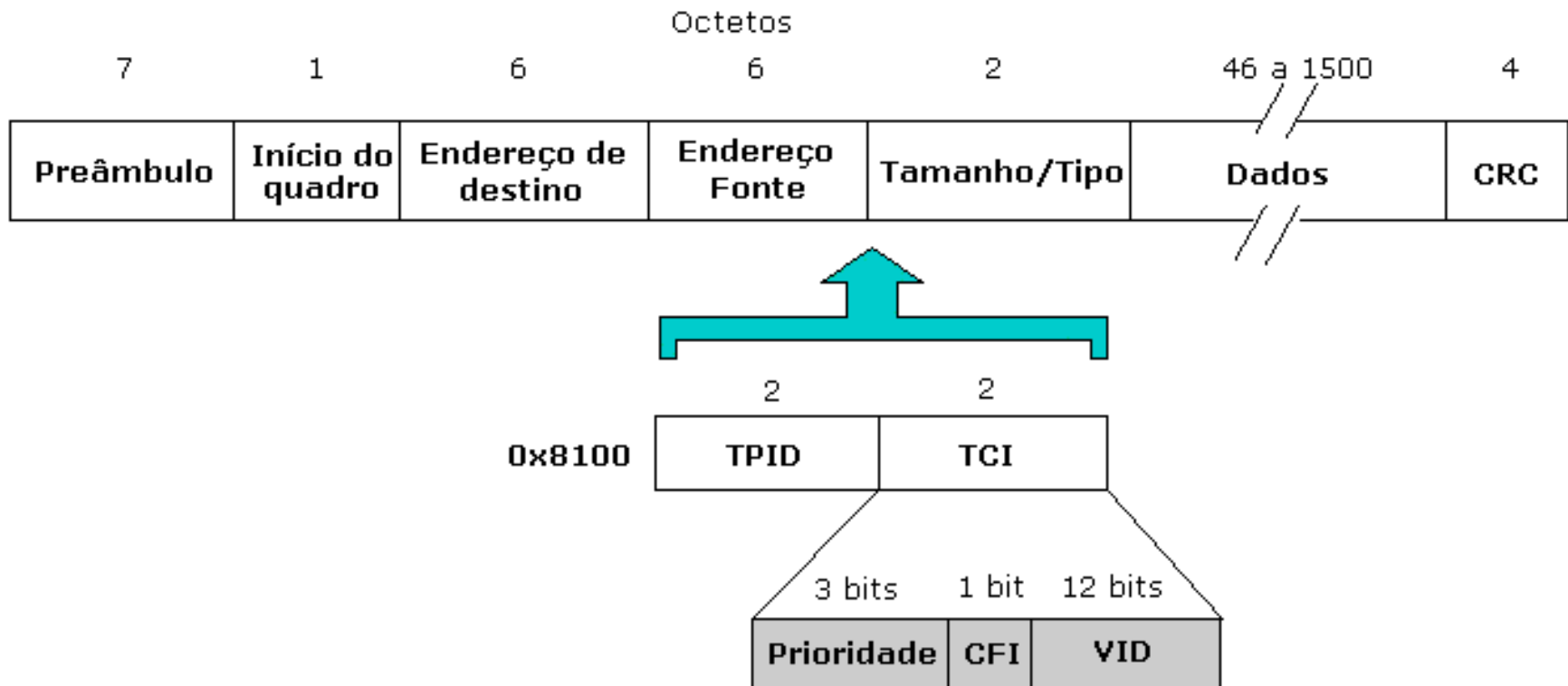


Marcação de Quadros

- É necessário que os quadros possuam um meio de indicar a qual VLAN pertencem
- Existem dois tipos de marcação
 - Implícita
 - Explícita
- No caso do quadro Ethernet são adicionados 4 bytes
 - 2 para identificação do tipo de protocolo (TPID)
 - 2 para informações de controle (TCI)
- O VLAN ID possui 12 bits e está contido no campo TCI

Marcação de Quadros

- Inserção do rótulo 802.1Q no quadro Ethernet



Aulas 5 e 6

Camada de Enlace

Tecnologias de rede, MPLS e VLANs

Igor Monteiro Moraes
Redes de Computadores II