

30-764

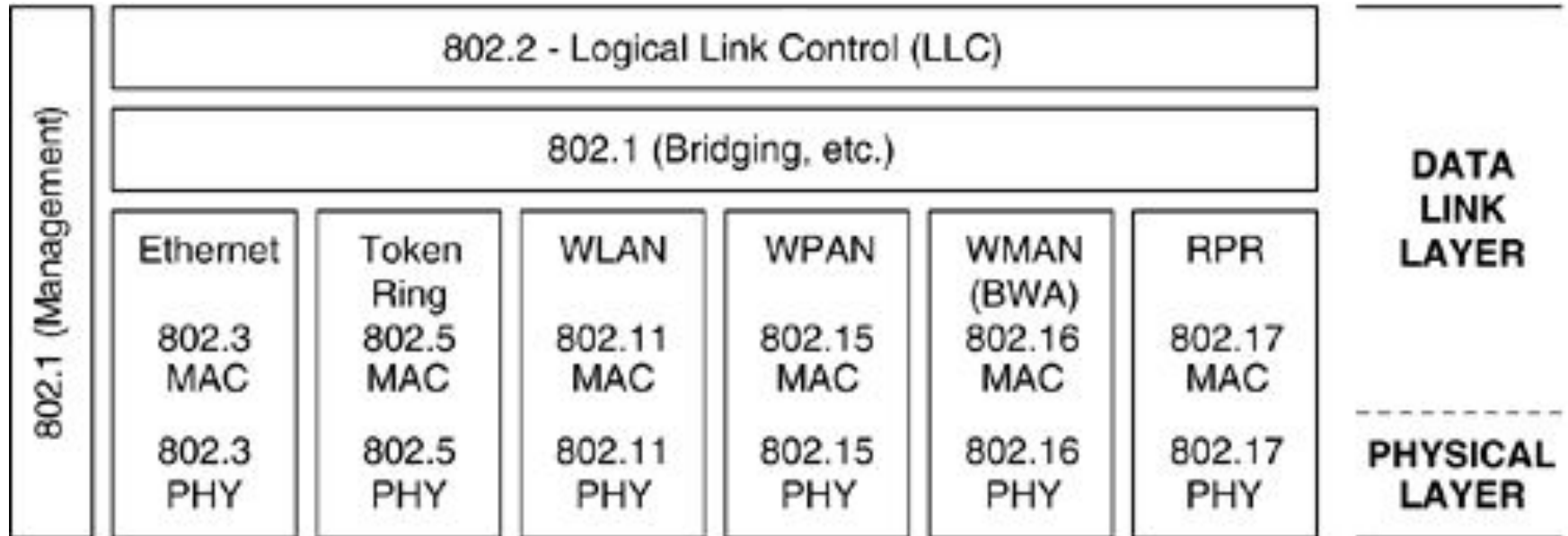
# Redes de Computadores I

MSc. Fernando Schubert

# O PROJETO IEEE 802

- Em 1985 a IEEE iniciou o projeto 802 com o objetivo de estabelecer normas para permitir a intercomunicação entre equipamentos de vários fabricantes.
- É uma maneira de especificar as funções das camadas físicas e de enlace dos principais protocolos LAN
- O IEEE dividiu a camada de enlace de dados em duas subcamadas:
  - Controle de enlace - LLC (logical link control) e
  - Controle de acesso ao meio - MAC (media access control)
- O IEEE também criou vários padrões de camada física para diferentes protocolos de LAN.

# O PROJETO IEEE 802



# O PROJETO IEEE 802

- Padronização de redes locais e metropolitanas
  - Usada em várias tecnologias
- Arquitetura baseada no modelo OSI
  - Subcamada de enlace lógico (LLC)
    - Provê serviços de comunicação de quadro
    - Controle de fluxo
    - Controle de erros

# O PROJETO IEEE 802

- Arquitetura baseada no modelo OSI (cont.)
  - Subcamada de controle de acesso ao meio (MAC)
    - Controle do acesso a um meio compartilhado
    - Enquadramento
    - Endereçamento
    - Detecção de erros
  - Camada física
    - Provê serviços de transmissão e recepção de bits
    - Interfaces elétricas e mecânicas
    - Características de sincronização
    - Especificação do meio de transmissão

# SURGIMENTO DO ETHERNET

- Início no PARC da Xerox (1973)
  - Criado por Robert Metcalfe e David Boggs.
  - Necessidade de uma rede local (LAN) eficiente para interconectar computadores.
- Primeiro Documento
  - Metcalfe escreve um memorando descrevendo o conceito de Ethernet em 22 de maio de 1973.
- Conceito Inicial
  - Baseado na tecnologia ALOHAnet.
  - Uso de cabos coaxiais para transmissão de dados.
  - Velocidade inicial de 2.94 Mbps

# SURGIMENTO DO ETHERNET

## XEROX PARC

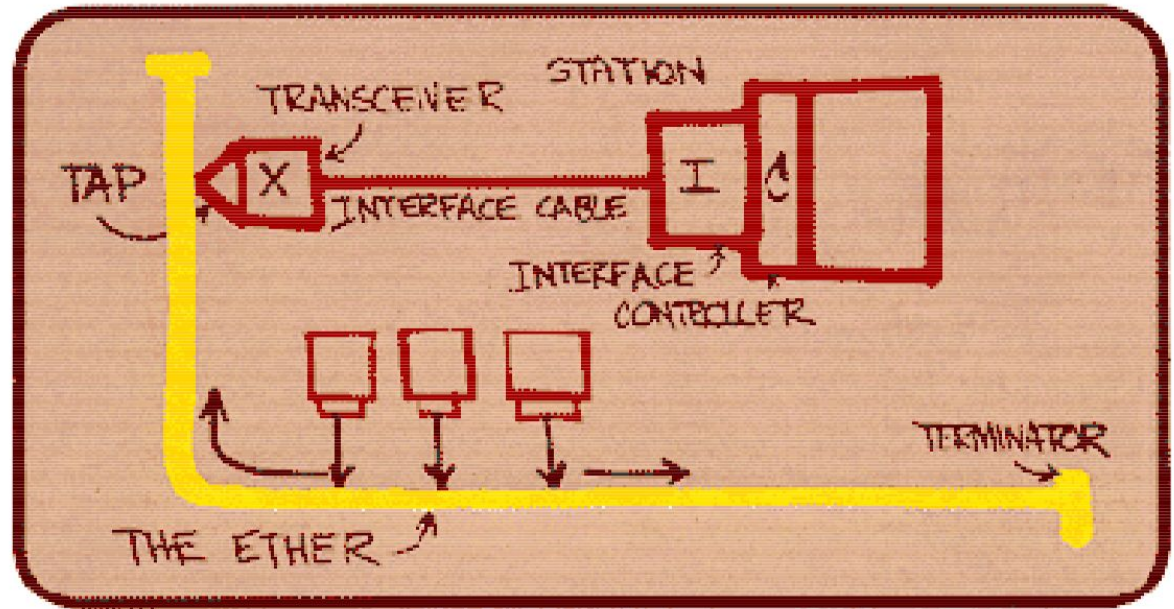
Palco de muitas  
inovações na área de  
computação



# SURGIMENTO DO ETHERNET

## ETHERNET

Apresentação inicial do  
conceito em 1975





# ETHERNET: EVOLUÇÃO E PADRONIZAÇÃO

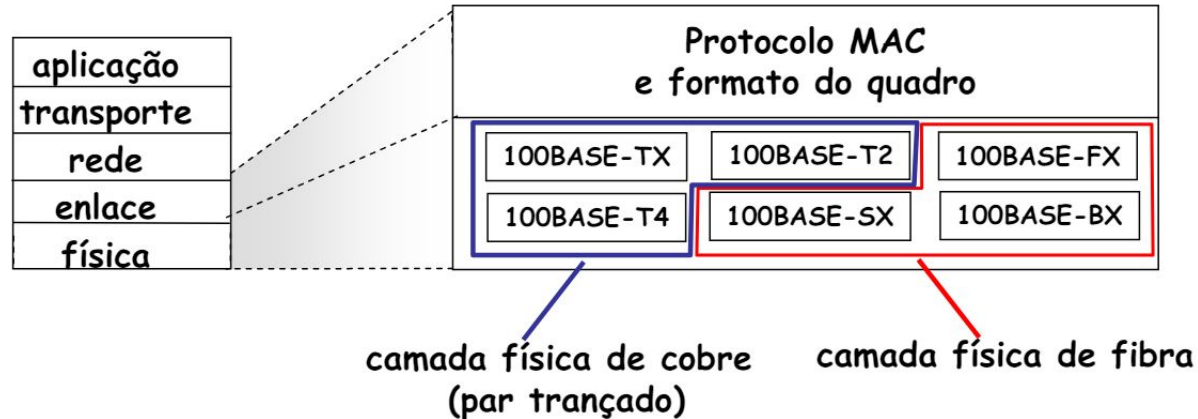
- Ethernet 1.0 (1980)
  - Publicação do padrão Ethernet pela Xerox, Intel e Digital Equipment Corporation (DEC).
  - Introdução do cabo coaxial grosso ("Thicknet").
- IEEE 802.3 (1983)
  - Padronização oficial pelo IEEE como 802.3.
  - Adotado globalmente como um padrão de rede local.
- Desenvolvimentos Subsequentes
  - Introdução de "Thin Ethernet" (1985), utilizando cabos coaxiais mais finos.
  - Evolução para cabos de par trançado e fibra ótica.

# ETHERNET

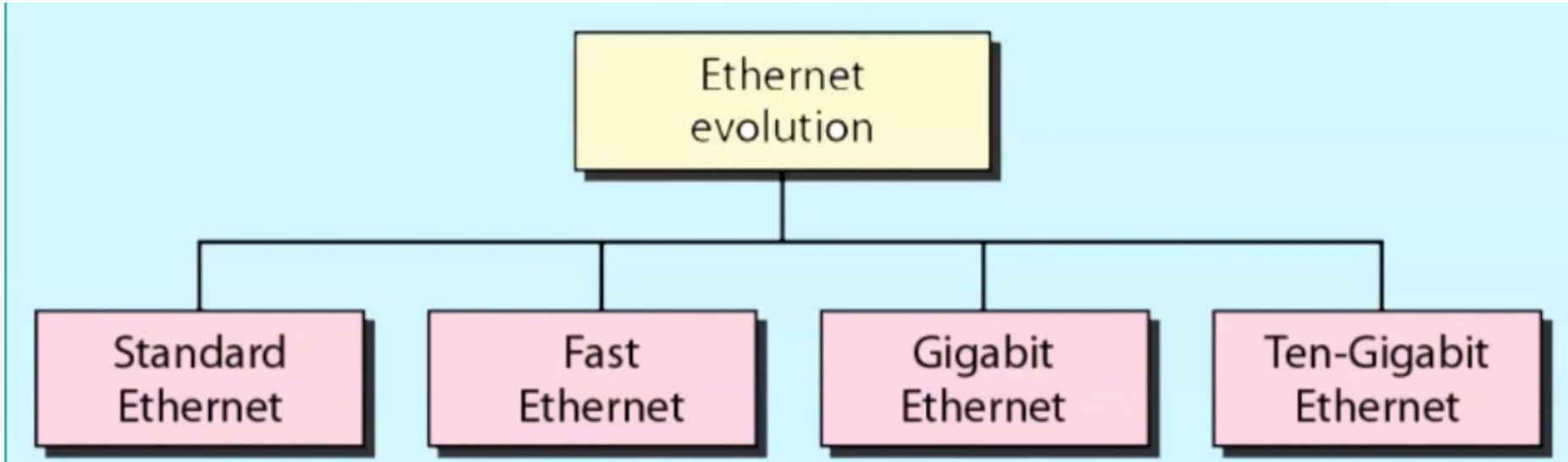
- O protocolo mais utilizado em LANs cabeadas
- Opera em duas camadas: física e enlace
- Família de protocolos definida nas normas IEEE 802.2 e 802.3
- Suporta taxas de transferência de 10, 100, 1000, 10.000, 40.000, 100.000 e 400.000 Mbps (400Gbps)
- Na camada de enlace é chamado um protocolo de enlace
- Na camada física é chamado tecnologia de camada física

# ETHERNET

- Vários tipos se diferenciam na camada física
  - Tipo de cabo, codificação, uso do CSMA/CD ou de comutação
- Todos os tipos descritos na norma IEEE 802.3
  - Exceto o padrão 10 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ae)



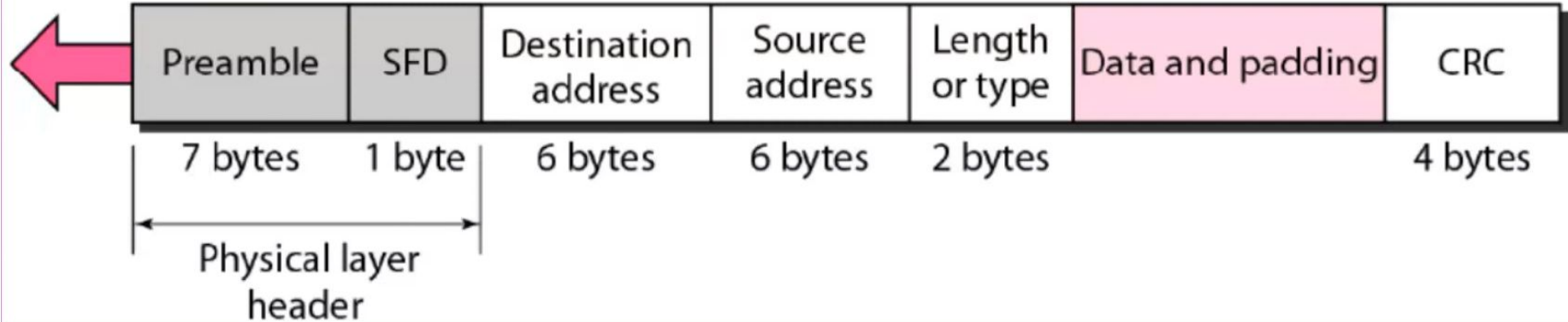
# ETHERNET: EVOLUÇÃO



# ETHERNET: FORMATO DO QUADRO

**Preamble:** 56 bits of alternating 1s and 0s.

**SFD:** Start frame delimiter, flag (10101011)



# ETHERNET: SERVIÇO

- Não orientado à conexão
  - Não há estabelecimento de conexão entre o transmissor e o receptor
- Não confiável
  - Receptor não envia ACKs ou NACKs para o transmissor
  - Fluxo de datagramas passados para a camada de rede pode conter falhas na sequência
    - i. Falhas são recuperadas se aplicação estiver usando o TCP
    - ii. Caso contrário, a aplicação recebe dados com lacunas

# REDE ETHERNET ORIGINAL (10 MB/S)

Descrição	Tipo					
	10Base2	10Base5	10Base-T	10Base-FB <sup>b</sup>	10Base-FL <sup>b</sup>	10Base-FP <sup>b</sup>
Cabo	Coaxial Fino (RG-58)	Coaxial Grosso (RG-8)	UTP Categorias 3, 4 ou 5	Fibra	Fibra	Fibra
Topologia	Barramento	Barramento	Estrela	Ponto-a-ponto	Ponto-a-ponto	Estrela
Conectores	BNC	Transceptores, cabo transceptor, AUI de 15 pinos	RJ-45, painéis, repetidoras	Transceptores de fibra ótica, ST	Transceptores de fibra ótica, ST	Transceptores de fibra ótica, ST
Comprimento de Segmento Máximo	185 metros	500 metros	100 metros	2000 metros	2000 metros	500 metros
Número máximo de nós por segmento	30 – mínimo de 0,5 entre nós	100 – espeçados em incrementos de 2,5 metros	2	2	2	33
Diâmetro Máximo	925 metros	2500 metros	500 metros	2500 metros	2500 metros	2500 metros
Outros	Terminação de 50 ohm no final de cada cabo; uma ponta aterrada.	Terminação de 50 ohm no final de cada cabo; uma ponta aterrada.	Cada nó é conectado direta ou indiretamente via hub.	Usada somente para interconectar repetidoras Ethernet; máximo 15 repetidoras.	Usado para interconectar estações de trabalho ou repetidoras; máximo 5 repetidoras.	Usado em instalações pequenas como redes locais para grupos de trabalhos.

Tabela 2: Resumo das especificações IEEE 802.3 e Ethernet de 10Mbps.

# REDE ETHERNET ORIGINAL (10 MB/S)

- Topologia em barramento compartilhado entre as estações
- Cabo coaxial amarelo conhecido como **thick Ethernet** com marcações a cada 2.5 mts indicando o ponto de conexão para as estações.
- Todos os nós no mesmo domínio de colisão
- Quadros de fontes diferentes podem colidir
- Operação em half-duplex
- Método de acesso é o CSMA/CD

## Domínio de Colisão

- **Definição:** Um domínio de colisão é um segmento de rede onde pacotes de dados podem "colidir" uns com os outros durante a transmissão.
- **Impacto da Colisão:** Quando dois dispositivos enviam pacotes simultaneamente, ocorrem colisões, causando perda de pacotes e exigindo retransmissão.
- **Hubs:** Em uma rede baseada em hub, todos os dispositivos conectados compartilham um único domínio de colisão, aumentando a probabilidade de colisões.
- **Switches:** Switches criam domínios de colisão separados para cada dispositivo conectado, reduzindo colisões e melhorando o desempenho da rede.
- **Consideração de Design de Rede:** Minimizar domínios de colisão utilizando switches em vez de hubs melhora a eficiência e a confiabilidade da rede.



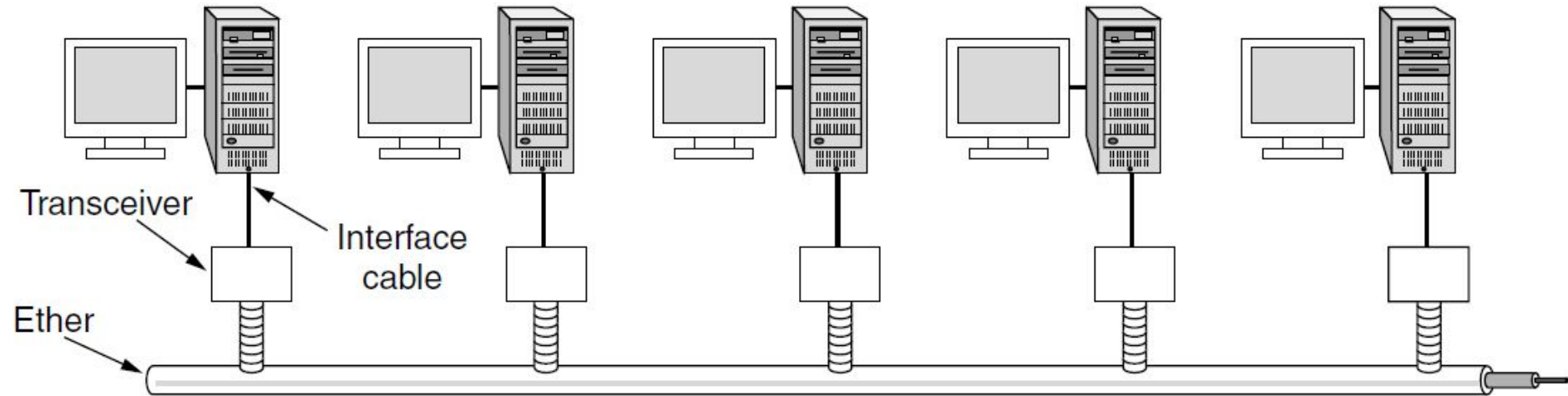
# REDE ETHERNET ORIGINAL (10 MB/S)

- Topologia em barramento compartilhado entre as estações
- Cabo coaxial amarelo conhecido como **thick Ethernet** com marcações a cada 2.5 mts indicando o ponto de conexão para as estações.
- Todos os nós no mesmo domínio de colisão
- Quadros de fontes diferentes podem colidir
- Operação em half-duplex
- Método de acesso é o CSMA/CD

## Half-Duplex

- Comunicação Bidirecional com Limitações:
  - Half-duplex permite a transmissão de dados em ambas as direções, mas não simultaneamente. Os dispositivos devem se revezar para enviar e receber dados.
- Gerenciamento de Colisões:
  - Em redes Ethernet que utilizam half-duplex, o protocolo CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) é empregado para gerenciar e detectar colisões, garantindo que apenas um dispositivo transmita de cada vez para evitar colisões de pacotes de dados.
- Uso Comum:
  - Normalmente usado em redes Ethernet mais antigas e em alguns sistemas de comunicação sem fio onde o full-duplex não é viável, levando a um desempenho potencialmente inferior em comparação com sistemas full-duplex.

# REDE ETHERNET ORIGINAL (10 MB/S)



**Figure 4-13.** Architecture of classic Ethernet.

# REDE ETHERNET ORIGINAL (10 MB/S)

- Quadro Ethernet possui um tamanho mínimo
  - Garantir a detecção de colisão
- Tempo máximo 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 (round-time trip → tempo de ida-e-volta)

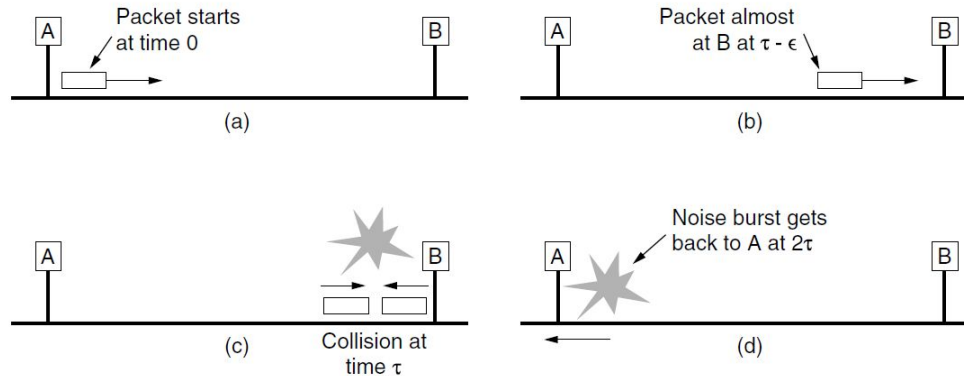
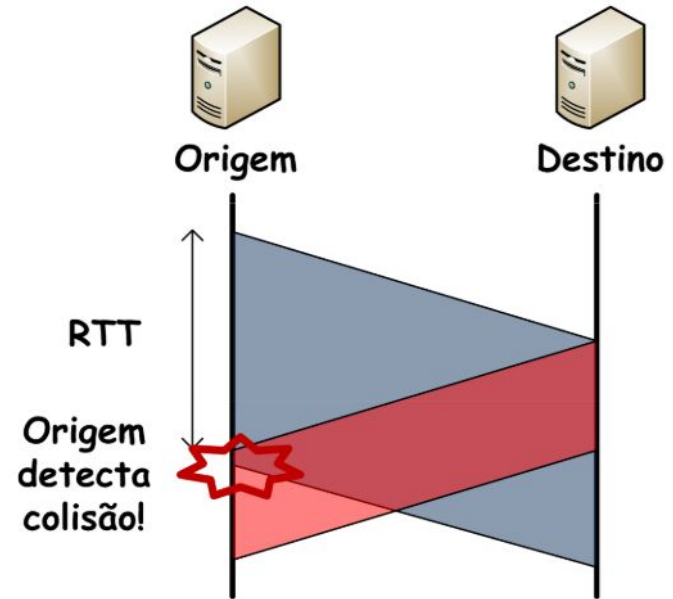
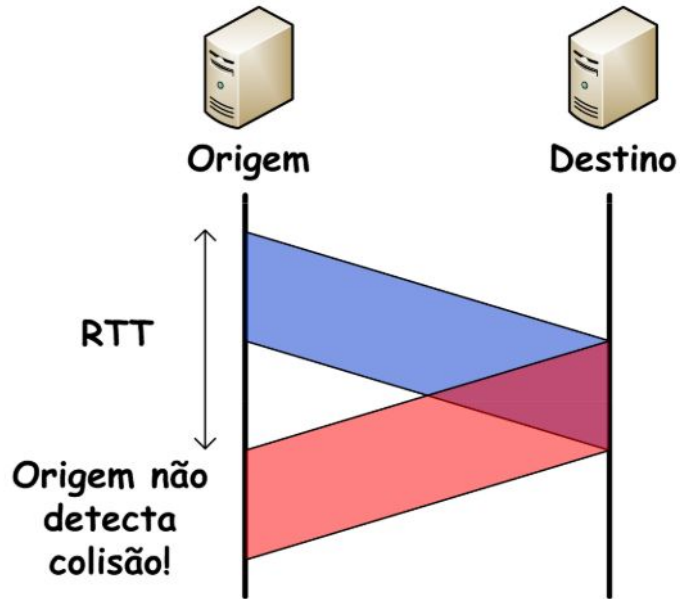


Figure 4-15. Collision detection can take as long as  $2\tau$ .

# REDE ETHERNET ORIGINAL (10 MB/S)



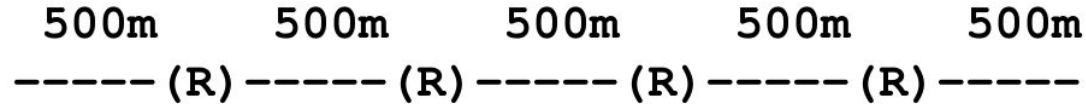
# REDE ETHERNET ORIGINAL (10 MB/S)

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

# REDE ETHERNET ORIGINAL (10 MB/S)

- Cálculo do tamanho mínimo do quadro Ethernet
  - Para o 10Base5 10 Mb/s
- Tempo para envio de um bit  $t_{\text{bit}} = 1/10^7 = 100 \text{ ns}$
- Velocidade de propagação no meio:  $v_{\text{prop}} = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$ 
  - Cada segmento Ethernet nessa especificação tem no máximo 500 m
  - Logo:  $T_{\text{prop}} = 2,5 \mu\text{s}$
- Pela norma, com o uso de repetidores é possível unir 5 segmentos de 500m  $\rightarrow$  2500 m
  - Cada repetidor introduz um atraso, na época da especificação, de aproximadamente  $3\mu\text{s}$

# REDE ETHERNET ORIGINAL (10 MB/S)



- Logo
  - $RTT = 2 * (2,5 + 3 + 2,5 + 3 + 2,5 + 3 + 2,5 + 3 + 2,5) = 49 \mu s$  50  $\mu s$ 
    - Valor mais próximo do real é 46,4  $\mu s$
- Para garantir a detecção de colisão o meio deve estar ocupado por pelo menos RTT, logo o tamanho mínimo de quadro é dado por:
  - $tam_{quadro} = RTT / t_{bit} = 50 \times 10^{-6} / 100 \times 10^{-9} = 500 \text{ bits} \rightarrow 512 \text{ bits} = 64 \text{ bytes}$

# ALGORITMO DE BACKOFF EXPONENCIAL BINÁRIO

- Objetivo:
  - Adaptar as tentativas de retransmissão à carga atual estimada
  - Alta carga espera aleatória será mais longa



# ALGORITMO DE BACKOFF EXPONENCIAL BINÁRIO

- No caso da detecção de uma colisão
  - Estação interrompe a transmissão
  - Estação 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 (Tamanho mínimo –  $RTT = 512 - 464\text{bits} = 48\text{bits}$ )
      - Garante que o jam é recebido antes do fim da transmissão

# ALGORITMO DE BACKOFF EXPONENCIAL BINÁRIO

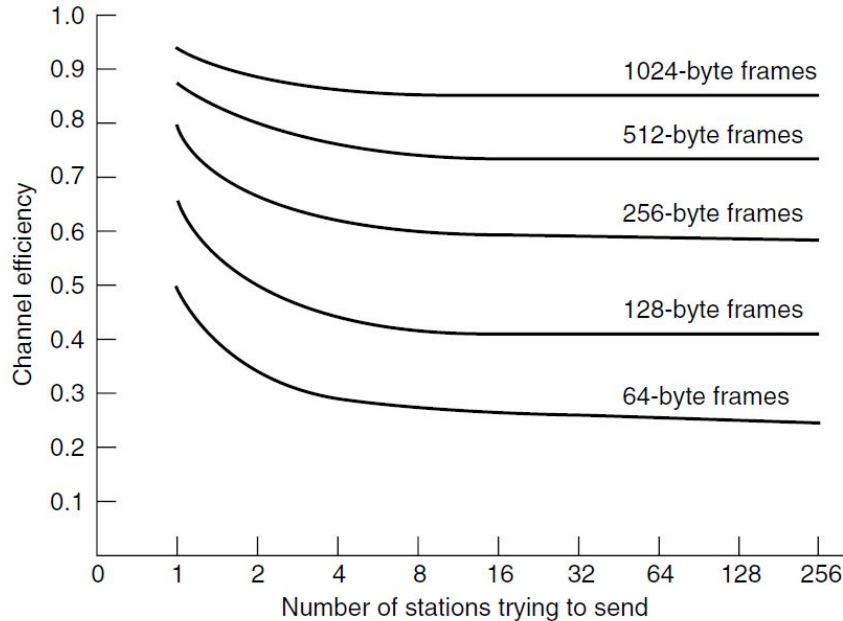
- No caso da detecção de uma colisão (cont.)
  - Estação retransmite o quadro após um tempo aleatório
    - Tempo é dado por um número aleatório ( $n$ ) que multiplica o tempo de slot (51,2  $\mu$ s)
      - Tempo de slot correspondente a  $2 \tau$ 
        - » Suficiente para 512 bits no Ethernet •
    - $n$  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
- Ethernet não possui confirmações nem correção de erros (responsabilidade das camadas superiores)

# ETHERNET: CSMA/CD

1. Adaptador recebe datagrama da camada de rede e cria um quadro
2. Se o adaptador percebe que o canal está ocioso, começa a transmitir o quadro. Se percebe que o canal está ocupado, espera que o canal fique livre e transmite
3. Se o adaptador transmitir todo o quadro sem detectar outra transmissão, o adaptador concluiu a operação com o quadro
  - a. Não houve colisão!
4. Se o adaptador detectar outra transmissão enquanto estiver transmitindo, aborta e envia sinal de reforço de colisão (jam) de 48 bits
5. Após interromper a transmissão, o adaptador entra em backoff exponencial binário
  - a. Após a  $m$ -ésima colisão, o adaptador escolhe um  $K$  aleatoriamente entre  $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$ . O adaptador espera  $512 * K$  tempos de bit e retorna ao Passo 2.

# ETHERNET: CSMA/CD

- Muito melhor do que slotted ALOHA (37%), chegando a 85% de eficiência com quadros 1024 bytes



**Figure 4-16.** Efficiency of Ethernet at 10 Mbps with 512-bit slot times.

# 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  $6,4 \mu s$
- Endereços de destino e de origem – 6 bytes cada

Octetos



# QUADRO ETHERNET ORIGINAL

- IEEE controla parte do endereço
  - Identificadores únicos de organização (Organizationally Unique Identifiers - OUI)
    - Primeiros 3 bytes (24 bits)
  - Fabricante define os outros 3 bytes
    - Antes de vender a interface de rede
  - 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 de request) •
    - 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
      - 64 bytes = dados + cabeçalho
  - Tamanho máximo de 1500 bytes
    - Maximum Transfer Unit (MTU)

Octetos





# QUADRO ETHERNET ORIGINAL

- Dados (cont.)
  - Dados passados para a camada de rede incluem o enchimento (se existente)
    - Tamanho do pacote da camada rede fará com que os dados sejam separados do enchimento
- CRC – 32 bits

Octetos



# QUADRO ETHERNET ORIGINAL

- Não há delimitador de fim de quadro
  - Delimitação indicada pela ausência de bits

Octetos



# REDE ETHERNET ORIGINAL

- Camada física
  - Cabeamento
  - Codificação

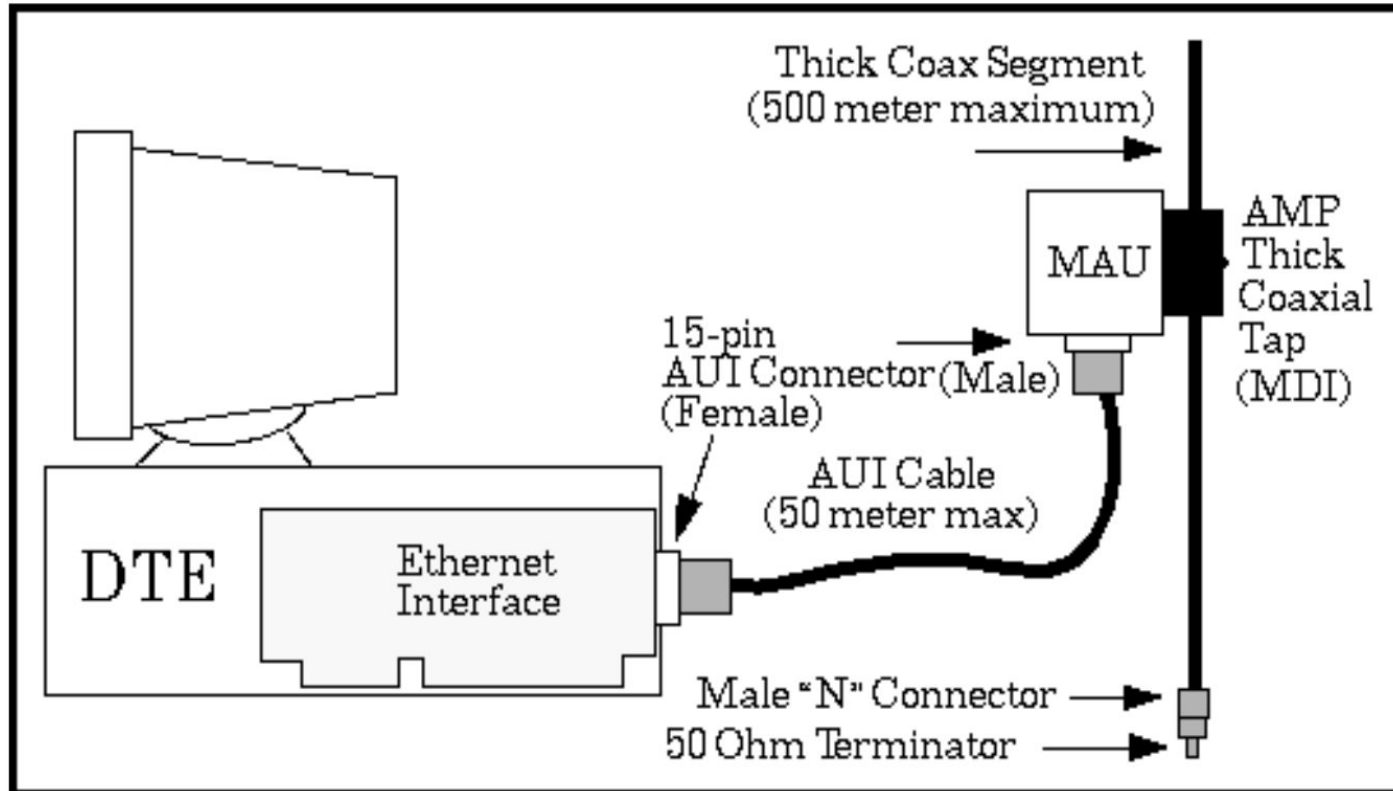
# REDE ETHERNET ORIGINAL

- 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

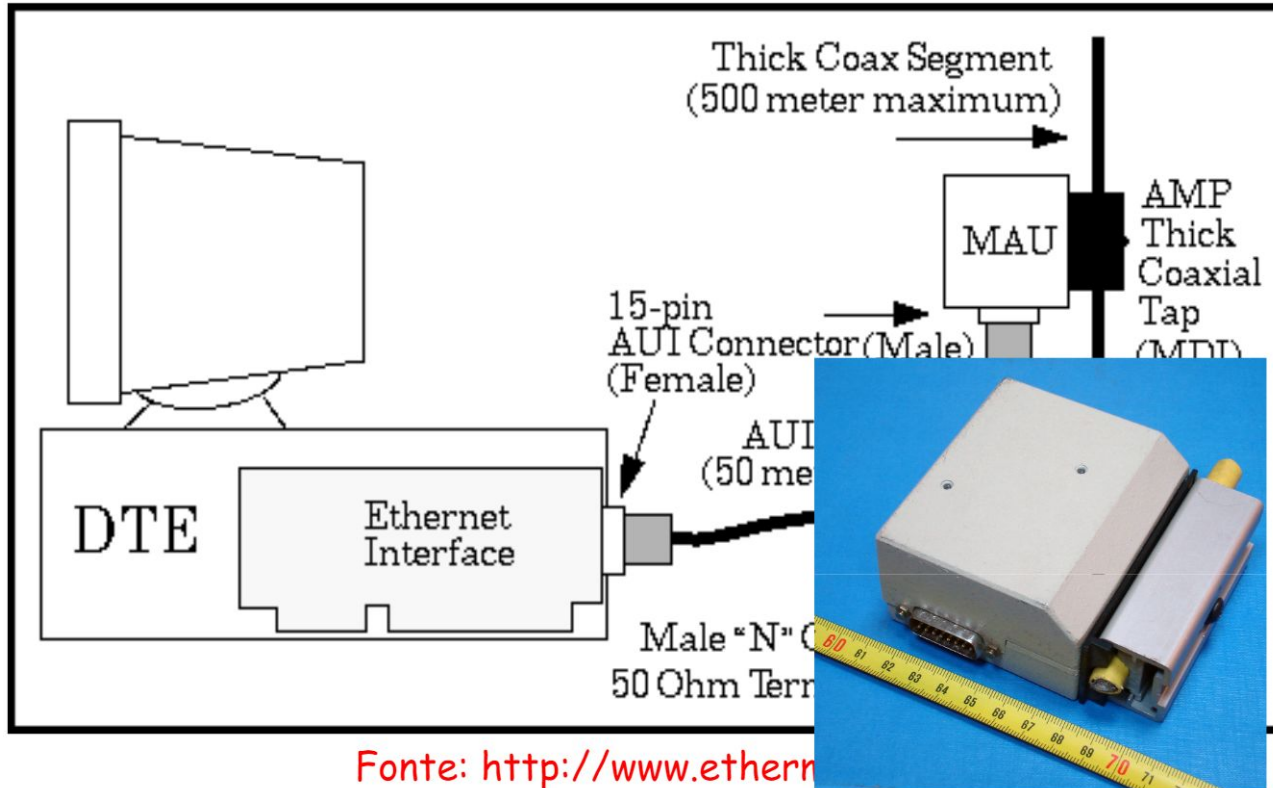
# REDE ETHERNET ORIGINAL - TIPOS DE CABEAMENTOS

- 10Base5 (Ethernet grossa):
  - Normalizada em 1980
  - Banda base
  - Topologia em barramento
  - Taxa de transmissão de 10 Mb/s
  - 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

# REDE ETHERNET ORIGINAL - TIPOS DE CABEAMENTOS



# REDE ETHERNET ORIGINAL - TIPOS DE CABEAMENTOS



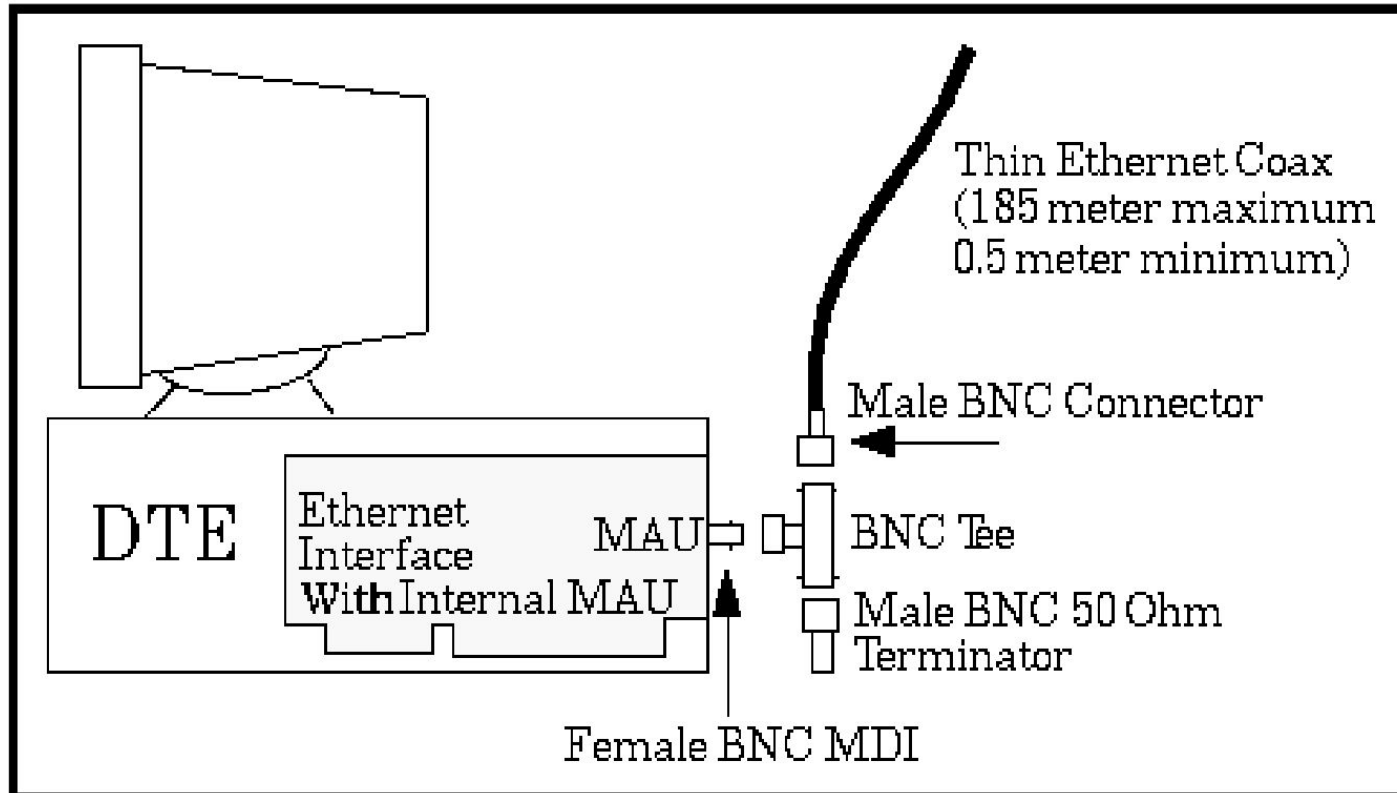
Fonte: <http://www.ethern>

# REDE ETHERNET ORIGINAL - TIPOS DE CABEAMENTOS

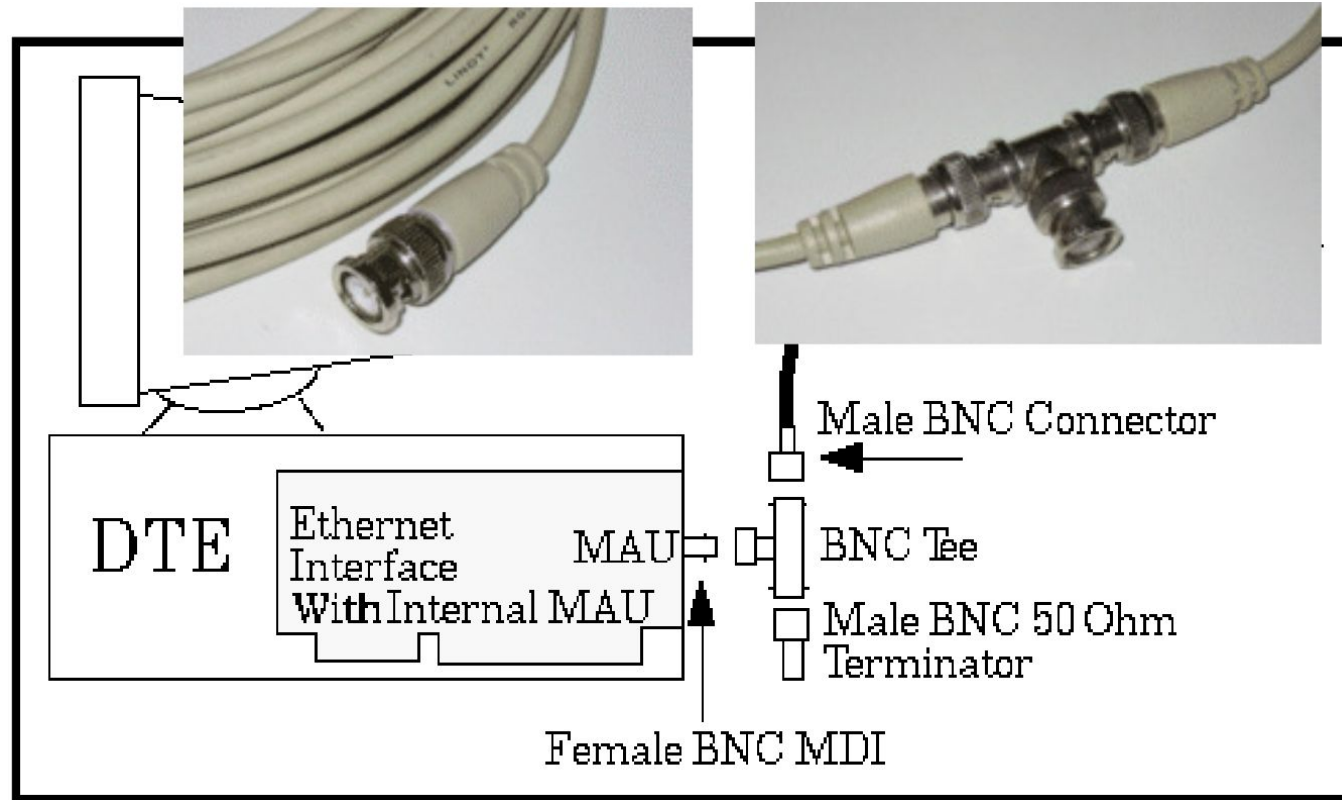
- 10Base2 (Ethernet fina)
  - Normalizada em 1987
  - Banda base
  - Topologia em barramento
  - Taxa de transmissão de 10 Mb/s
  - Segmento de até 185 m (~200 m)
  - Máximo de cinco segmentos
  - Máximo de 30 estações por segmento
  - Cabo de 0,5 cm de diâmetro
  - Conectores BNC padrão
  - Problema de identificação de cabos partidos



# REDE ETHERNET ORIGINAL - TIPOS DE CABEAMENTOS



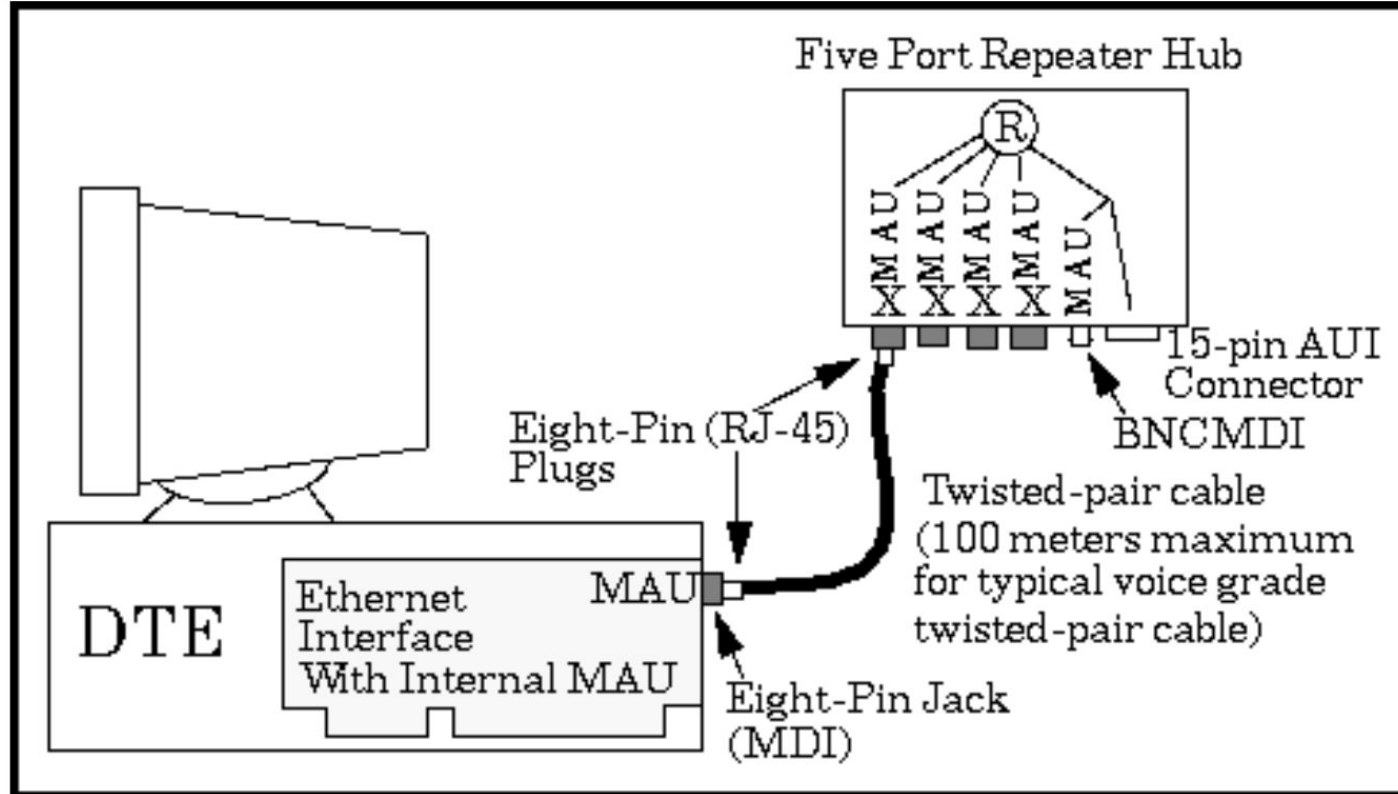
# REDE ETHERNET ORIGINAL - TIPOS DE CABEAMENTOS



# REDE ETHERNET ORIGINAL - TIPOS DE CABEAMENTOS

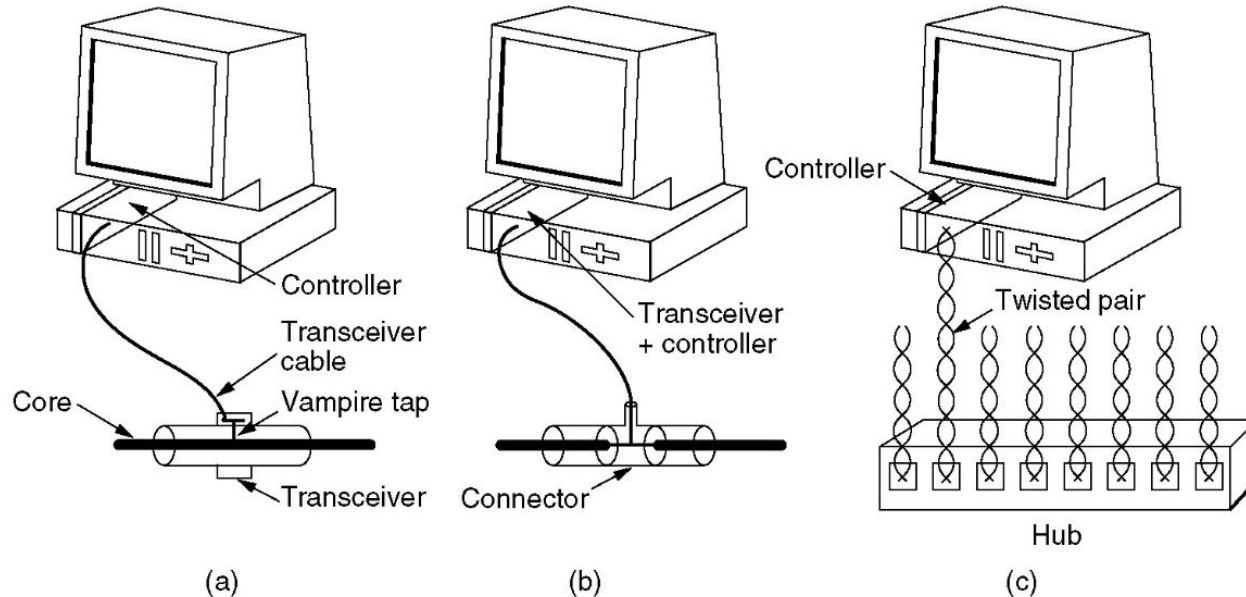
- 10Base-T:
  - Normalizada em 1990
  - T → par trançado (twisted) como meio de transmissão
  - Taxa de transmissão de 10 Mb/s
  - Estação conectada a um hub através de dois pares trançados
  - Topologia em estrela
  - Topologia lógica em barramento
  - Alcance de 100 a 200 m (do hub a uma estação)
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

# REDE ETHERNET ORIGINAL - TIPOS DE CABEAMENTOS



# REDE ETHERNET ORIGINAL - TIPOS DE CABEAMENTOS

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



# REDE ETHERNET ORIGINAL - TIPOS DE CABEAMENTOS

- 10Base-F
  - Utiliza fibra óptica
  - Possui excelente imunidade a ruído
  - Segmentos de até 2 km
  - Número máximo de estações por segmento é 1024
  - Alternativa cara em função do custo dos conectores e dos terminadores

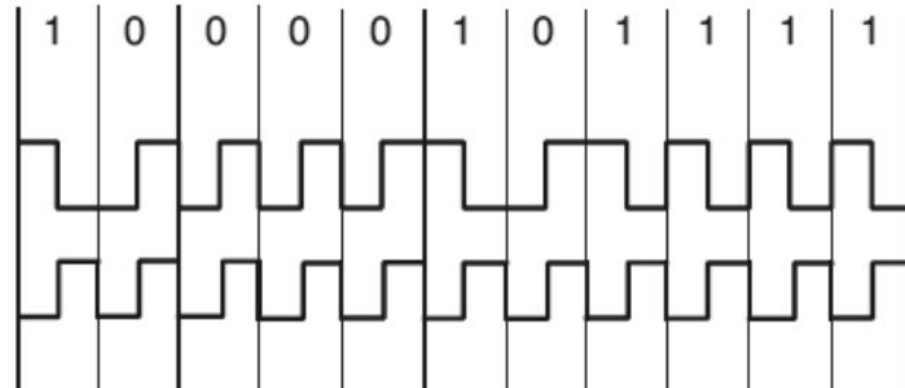
# CODIFICAÇÃO DA REDE ETHERNET ORIGINAL

- 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

(a) Fluxo de bits

(d) Manchester

(Clock com XOR nos bits)



# REDE ETHERNET DE ALTA VELOCIDADE

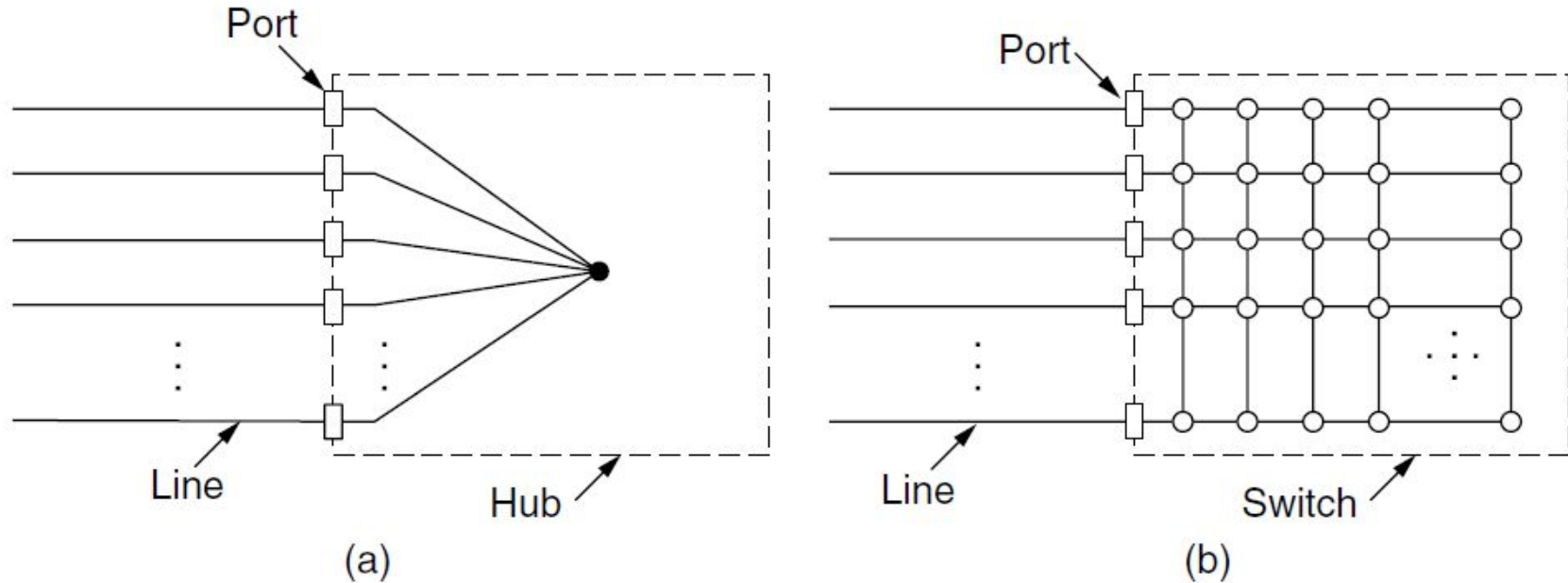
- Hub
  - Transmissão em half-duplex
  - Somente repete os dados
  - Não executa o CSMA/CD
    - Estações executam CSMA/CD
    - Encaminha jams
  - Não é escalável
    - Um único domínio de colisão
  - Permite taxas mais elevadas, pois pode reduzir as distâncias entre as estações.
    - Em compensação, ainda não resolve o problema da escalabilidade



# REDE ETHERNET DE ALTA VELOCIDADE

- Comutador (Acesso dedicado, a estação está ligada diretamente)
  - Transmissão em full-duplex
  - Processa, armazena e transmite os dados
  - Pares trançados não são compartilhados não há colisões
    - Cada porta executa 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



**Figure 4-17.** (a) Hub. (b) Switch.

# REDE ETHERNET DE ALTA VELOCIDADE

- Comutador (Acesso dedicado, a estação está ligada diretamente)
  - Transmissão em full-duplex
  - Processa, armazena e transmite os dados
  - Pares trançados não são compartilhados não há colisões
    - Cada porta executa 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
  - 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
  - Compatibilidade com o Ethernet legado
  - Funciona nos modos half-duplex e full-duplex

# FAST ETHERNET (100 MB/S)

- 10Base-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 (100 MB/S)

- 10Base-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-T4
  - Pode usar UTP cat 3
  - Usa quatro pares por estação (um para transmissão, um para recepção e os outros dois intercambiáveis)
    - Não funciona em full-duplex
- 100Base-TX
  - UTP cat 5 sinais de 125 MHz a 100 m
  - Usa dois pares (um para transmissão e outro para recepção)
    - Operação pode ser full-duplex com taxa de 100 Mb/s em cada direção

# FAST ETHERNET COM FIBRA ÓPTICA

- 100Base-FX
  - Usa dois filamentos de fibra multimodo
  - Um para cada sentido
    - Operação full-duplex
  - Possui distância máxima estação-comutador até:
    - 2 km



# FAST ETHERNET

Tipo	Padrão	Velocidade	Cabo Utilizado	Distância Máxima	Conector	Aplicação Típica
100BASE-TX	IEEE 802.3u	100 Mbps	Par trançado (Cat 5/5e)	100 metros	RJ-45	Redes locais corporativas e residenciais
100BASE-FX	IEEE 802.3u	100 Mbps	Fibra óptica multimodo	2 km	SC, ST	Conexões backbone, links de longa distância
100BASE-T4	IEEE 802.3u	100 Mbps	Par trançado (Cat 3/4/5)	100 metros	RJ-45	Redes antigas com cabos de categoria inferior
100BASE-T2	IEEE 802.3u	100 Mbps	Par trançado (Cat 3)	100 metros	RJ-45	Alternativa para cabos de par trançado de categoria mais baixa
100BASE-SX	IEEE 802.3u	100 Mbps	Fibra óptica multimodo	300 metros	SC, ST	Conexões de curta distância em fibra óptica
100BASE-BX	IEEE 802.3ah	100 Mbps	Fibra óptica monomodo	10-20 km	SC, LC	Redes de acesso, como FTTx (Fiber to the X)

# GIGABIT ETHERNET (1 GB/S)

- Normalizada em 1998
  - Usa par trançado ou fibra óptica como meio
  - Mantêm o formato do quadro
    - Tamanhos mínimo e máximo são seguidos
    - Funciona nos modos half-duplex e full-duplex
    - Modo normal é o full-duplex

# GIGABIT ETHERNET (1 GB/S)

Tipo	Padrão	Velocidade	Cabo Utilizado	Distância Máxima	Conector	Aplicação Típica
1000BASE-T	IEEE 802.3ab	1 Gbps	Par trançado (Cat 5e/6/6a)	100 metros	RJ-45	Redes locais corporativas e residenciais
1000BASE-SX	IEEE 802.3z	1 Gbps	Fibra óptica multimodo	220 - 550 metros	SC, LC	Conexões de curta distância em fibra óptica
1000BASE-LX	IEEE 802.3z	1 Gbps	Fibra óptica multimodo/monomodo	550 metros - 10 km	SC, LC	Conexões backbone e links de longa distância
1000BASE-CX	IEEE 802.3z	1 Gbps	Cabo de cobre blindado (STP)	25 metros	HSSDC	Conexões de curta distância em ambientes industriais
1000BASE-TX	TIA/EIA-854	1 Gbps	Par trançado (Cat 6)	100 metros	RJ-45	Redes locais (pouco utilizado devido ao custo e complexidade)
1000BASE-LH	IEEE 802.3z	1 Gbps	Fibra óptica monomodo	10 - 70 km	SC, LC	Links de longa distância, uso em operadoras de telecom
1000BASE-ZX	IEEE 802.3ah	1 Gbps	Fibra óptica monomodo	70 - 100 km	SC, LC	Links de longa distância e redes metropolitanas (MAN)

# 10Gigabit 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

# 10Gigabit ETHERNET (10 GB/S)

Tipo	Padrão	Velocidade	Cabo Utilizado	Distância Máxima	Conector	Aplicação Típica
10GBASE-T	IEEE 802.3an	10 Gbps	Par trançado (Cat 6a/7)	100 metros	RJ-45	Redes locais corporativas e data centers
10GBASE-SR	IEEE 802.3ae	10 Gbps	Fibra óptica multimodo	26 - 400 metros	SC, LC	Conexões de curta distância em data centers
10GBASE-LR	IEEE 802.3ae	10 Gbps	Fibra óptica monomodo	10 km	SC, LC	Links de longa distância em redes metropolitanas e operadoras
10GBASE-LRM	IEEE 802.3ae	10 Gbps	Fibra óptica multimodo	220 metros	SC, LC	Conexões de curta/média distância em edifícios antigos com fibra MMF
10GBASE-ER	IEEE 802.3ae	10 Gbps	Fibra óptica monomodo	40 km	SC, LC	Links de longa distância, uso em operadoras de telecom
10GBASE-ZR	IEEE 802.3ae (não oficial)	10 Gbps	Fibra óptica monomodo	80 km	SC, LC	Conexões de muito longa distância, uso em redes metropolitanas
10GBASE-CX4	IEEE 802.3ak	10 Gbps	Cabo de cobre (InfiniBand)	15 metros	CX4	Conexões de curta distância em data centers, racks de servidores
10GBASE-SW	IEEE 802.3ae	10 Gbps	Fibra óptica multimodo	300 metros	SC, LC	Conexões em redes SONET/SDH

# 40Gigabit ETHERNET (40 GB/S)

Tipo	Padrão	Velocidade	Cabo Utilizado	Distância Máxima	Conector	Aplicação Típica
40GBASE-KR4	IEEE 802.3ba	40 Gbps	PCB (Placa de circuito impresso)	1 metro	Conectores de backplane	Conexões internas de backplane em chassi de rede
40GBASE-CR4	IEEE 802.3ba	40 Gbps	Cabo de cobre twinaxial	7 metros	QSFP+	Conexões de curta distância em data centers (entre racks)
40GBASE-SR4	IEEE 802.3ba	40 Gbps	Fibra óptica multimodo (OM3/OM4)	100-150 metros	MPO/MTP	Conexões de curta distância em data centers
40GBASE-LR4	IEEE 802.3ba	40 Gbps	Fibra óptica monomodo	10 km	LC	Links de longa distância em redes metropolitanas e operadoras
40GBASE-FR	IEEE 802.3bm	40 Gbps	Fibra óptica monomodo	2 km	LC	Conexões de média distância
40GBASE-T	IEEE 802.3bq	40 Gbps	Par trançado (Cat 8)	30 metros	RJ-45	Conexões de curta distância em data centers

# 100Gigabit ETHERNET (100 GB/S)

Tipo	Padrão	Velocidade	Cabo Utilizado	Distância Máxima	Conector	Aplicação Típica
100GBASE-KR4	IEEE 802.3bj	100 Gbps	PCB (Placa de circuito impresso)	1 metro	Conectores de backplane	Conexões internas de backplane em chassi de rede
100GBASE-CR4	IEEE 802.3bj	100 Gbps	Cabo de cobre twinaxial	7 metros	QSFP28	Conexões de curta distância em data centers (entre racks)
100GBASE-SR4	IEEE 802.3bm	100 Gbps	Fibra óptica multimodo (OM3/OM4)	70-100 metros (OM3)	MPO/MTP	Conexões de curta distância em data centers
				100-150 metros (OM4)		
100GBASE-LR4	IEEE 802.3ba	100 Gbps	Fibra óptica monomodo	10 km	LC	Links de longa distância em redes metropolitanas e operadoras
100GBASE-ER4	IEEE 802.3bm	100 Gbps	Fibra óptica monomodo	40 km	LC	Conexões de longa distância, uso em operadoras de telecom
100GBASE-SR10	IEEE 802.3ba	100 Gbps	Fibra óptica multimodo	100 metros (OM3)	MPO/MTP	Conexões de curta distância com maior número de fibras
				150 metros (OM4)		
100GBASE-FR	IEEE 802.3cd	100 Gbps	Fibra óptica monomodo	2 km	LC	Conexões de média distância
100GBASE-DR	IEEE 802.3cn	100 Gbps	Fibra óptica monomodo	500 metros	LC	Conexões de média distância em data centers e campus



# E além...

- Terabit Ethernet:
  - 200, 400 Gigabit: já aprovados e com hardware existente
  - 800 Gigabit: padrão recentemente aprovado



# EXERCÍCIOS

1. Identifique o endereço MAC do seu computador
  - a. Informe o valor do endereço
  - b. Converta para binário
  - c. Identifique o fabricante
2. Dado o endereço MAC 01:00:5E:00:00:01, classifique-o como broadcast, unicast ou multicast.
3. O endereço MAC FF:FF:FF:FF:FF é broadcast, unicast ou multicast?
4. Dado o endereço MAC 00:1A:2B:3C:4D:5E, classifique-o como broadcast, unicast ou multicast.
5. O endereço MAC 33:33:00:00:00:01 é broadcast, unicast ou multicast?
6. Dado o endereço MAC 02:00:00:00:00:01, classifique-o como broadcast, unicast ou multicast.

# EXERCÍCIOS

1. A empresa Xispirito Enterprise está com problemas em sua rede local. O número de equipamentos passou de 25 para 50. A empresa utiliza uma rede antiga com Fast Ethernet (100 Mbps) com cabos CAT-5 e hubs para permitir a comunicação entre os computadores. Quais modificações podem ser feitas na rede para melhorar a performance?
2. Acesse <http://checkip.amazonaws.com>. Este site retornará o seu endereço IP público. Agora acesse a sua linha de comando e execute o comando arp -a (Windows). O que você vê? Copie o resultado.
  - a. Você está vendo o endereço público na tabela ARP? Caso sim, explique o processo de resolução ARP, caso não, explique por que o endereço não está visível.
  - b. O que significa cada coluna do retorno do comando?