Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda

Fundamentos de Redes de Comunicação

Técnico Superior Profissional em Redes e Sistemas Informáticos

Camada de Ligação de Dados

Professor: António Godinho

2025/2026

SUMÁRIO

CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE SINAIS

MEIOS DE TRANSMISSÃO

TOPOLOGIAS DE REDE

MECANISMOS DE CONTROLO DE ACESSO AO MEIO

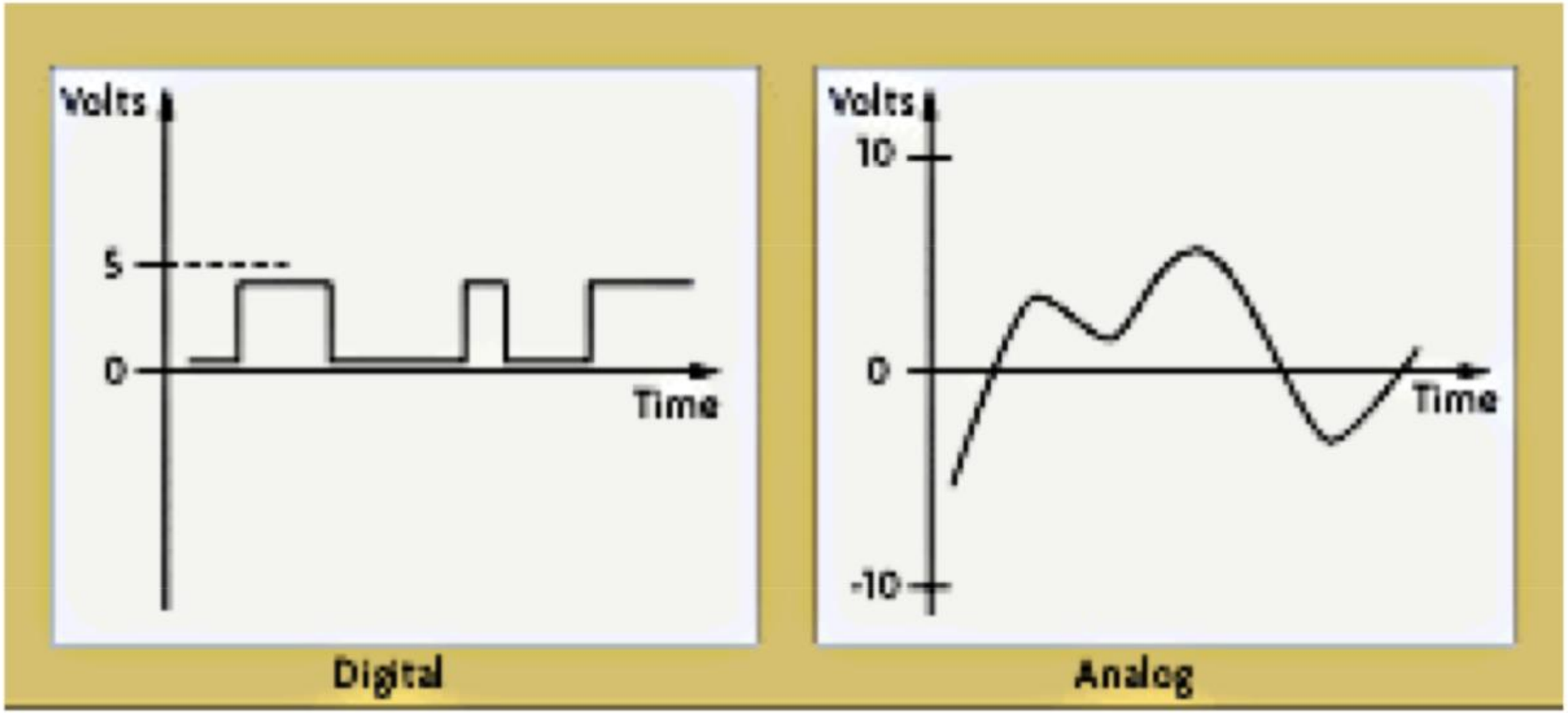
TECNOLOGIAS DE ACESSO

PROTOCOLOS DA CAMADA MAC

1

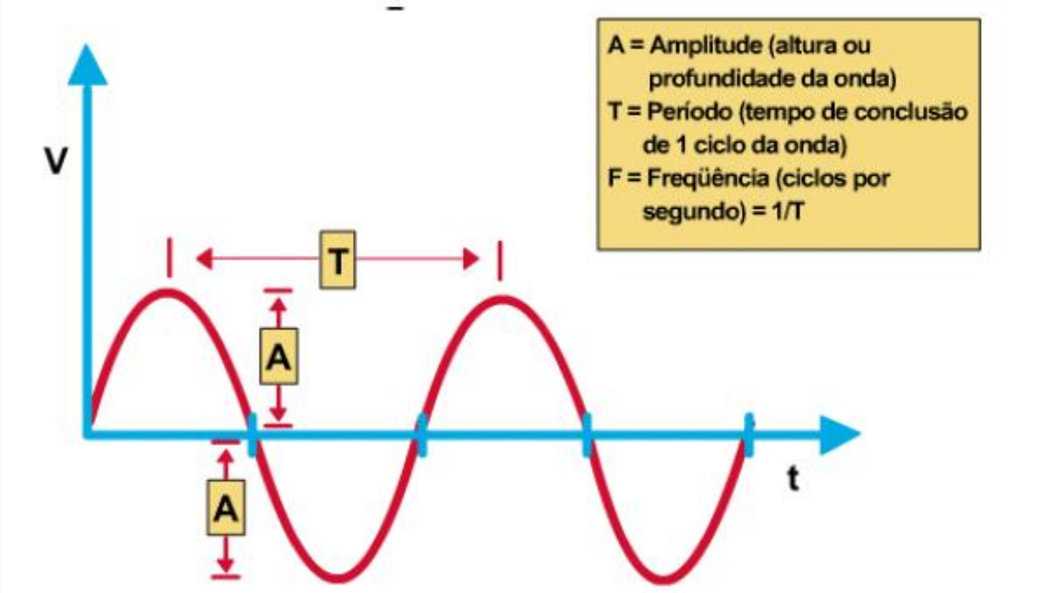
CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE SINAIS

SINAIS ANALÓGICOS VS SINAIS DIGITAIS



SINAIS ANALÓGICOS

- Apresentam uma **variação contínua** ao longo do tempo, podendo ter características de amplitude e frequência bastante variáveis.
- As ondas sonoras correspondentes à voz podem considerar-se como representativas de dados analógicos (devido às características de variação contínua que apresentam).
  - São convertidas no aparelho telefónico, num sinal eléctrico analógico.



SINAIS ANALÓGICOS

- Os dados analógicos representados por sinais analógicos ocupam em geral um espectro de frequências relativamente limitado.

- Assim, **a largura de banda** necessária para a sua transmissão é, no caso dos sinais de áudio sem preocupação de grande fidelidade de reprodução, de **valor bastante aceitável.**

- A maior parte da energia presente na voz humana está compreendida numa faixa de frequências reduzida, pelo que é frequente no sistema telefónico limitá-la a uma banda de frequências compreendida entre 300 e 3400 Hz , zona em que ela mantém a inteligibilidade, permitindo o seu reconhecimento pelas pessoas que a ouvem.

SINAIS DIGITAIS

- Um sinal digital do tipo binário é uma sequência de dois níveis de impulsos de tensão ou de corrente com amplitude definida, e sucedendo-se a intervalos de tempo regulares.

- A sua transmissão ao longo dos circuitos de telecomunicações, exige uma **grande largura de banda**.

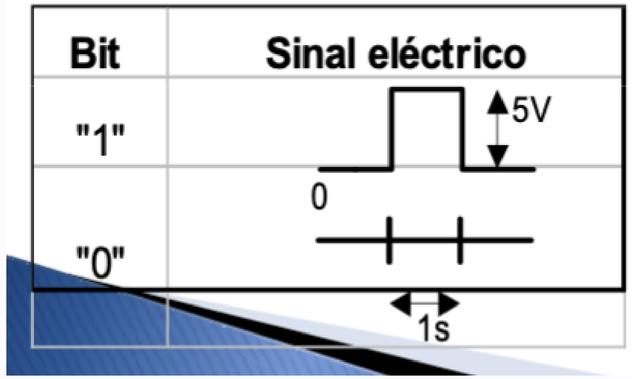
CAMADA FÍSICA

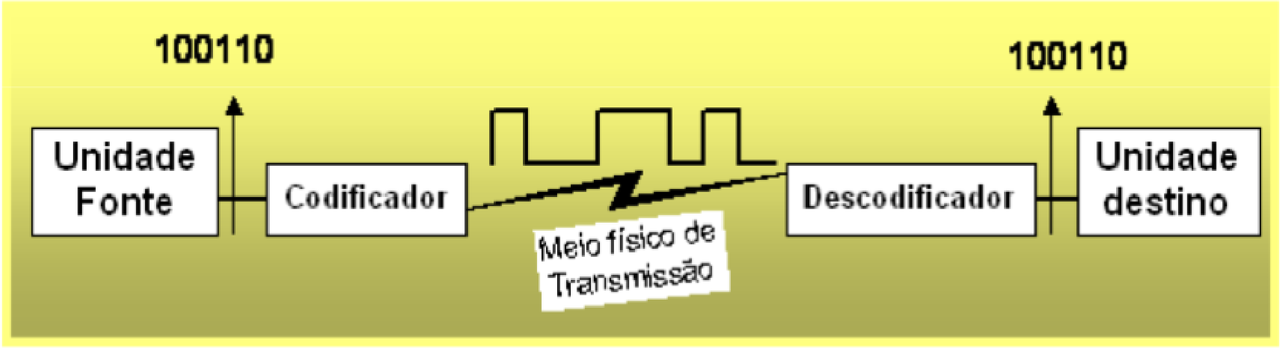
- A responsabilidade da camada física é transmitir dados (*bits*), definindo as especificações eléctricas entre a fonte e o destino.

- Os dados binários, que podem consistir em texto, figuras, áudio ou vídeo, são conduzidos pelos cabos e são representados pela presença de pulsos eléctricos no caso de cabos de cobre, ou pulsos de luz em fibras ópticas.

CAMADA FÍSICA

- **Representação de bits (transmissão de dados binários)**
  - *Bit* é um conceito algo imaterial.
  - É necessário representar os bits por algo com existência corpórea, que possa ser transmitido através de um meio físico de transmissão.
  - Um *bit* é representado por um sinal eléctrico que corresponde ao binário 0 ou ao binário 1 (Ex. 0 volts para o binário 0 e +5 volts para o binário 1, durante a duração do bit).
  - **Fases na transmissão de dados binários:**
    - Codificação
    - Transmissão/Recepção
    - Descodificação



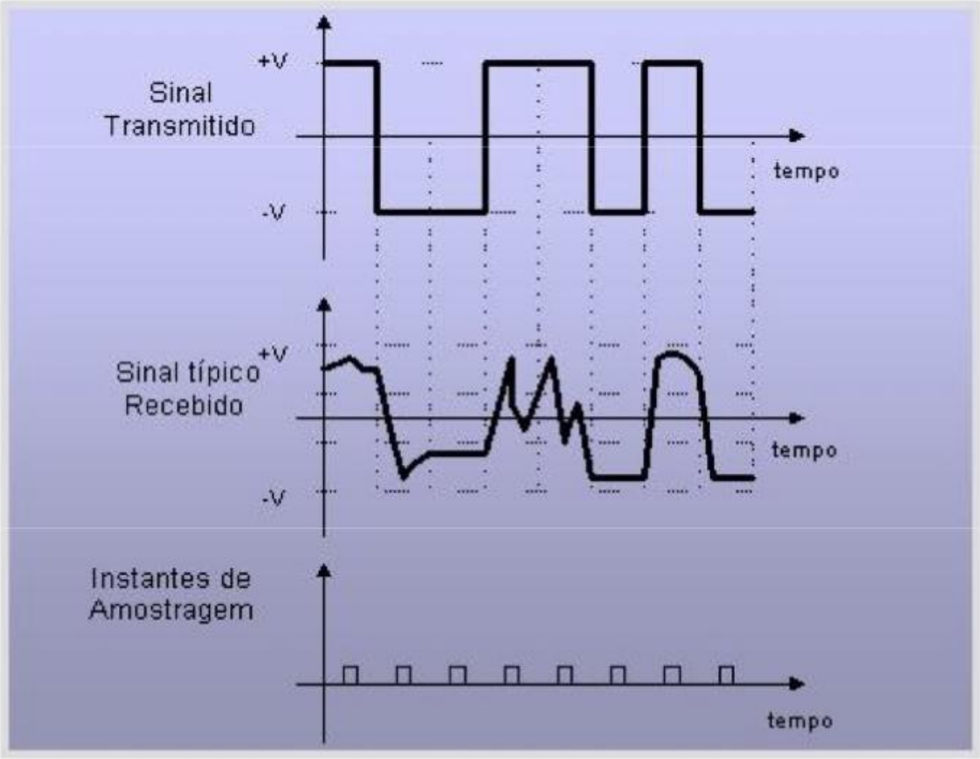


CAMADA FÍSICA

- **Representação de bits (continuação)**
  - **Sinal de referência** é um importante conceito relativo a todos os meios de rede que usam tensões.
    - Estabelece os 0 volts do sinal.
  - Com **sinais ópticos**, o binário 0 será codificado como uma intensidade baixa, ausência de luz. O binário 1 será codificado como uma intensidade de luz mais alta (brilho), ou outros padrões mais complexos.
  - Com **sinais sem fios**, o binário 0 poderá ser codificado como uma curta sequência de ondas. O binário 1 poderá ser codificado como uma sequência mais longa de ondas, ou outro padrão mais complexo.

O QUE É O RUÍDO, A ATENUAÇÃO, A DISTORÇÃO E O CROSSTALK?

- Cada suporte físico tem características próprias, mas há conceitos e problemas comuns à transmissão de sinais eléctricos.
- Taxa de erros depende destes problemas.



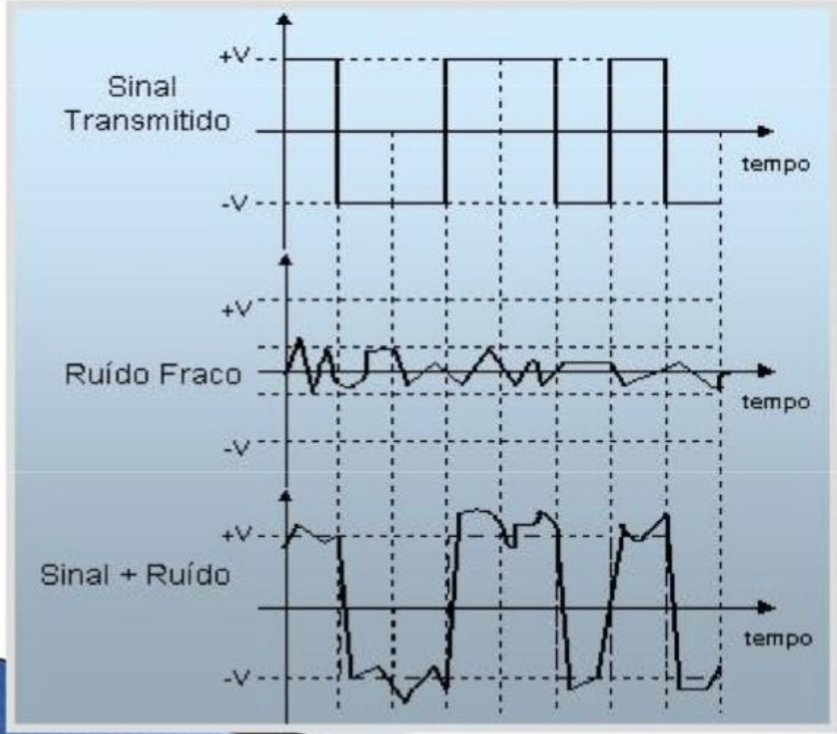
RUÍDO

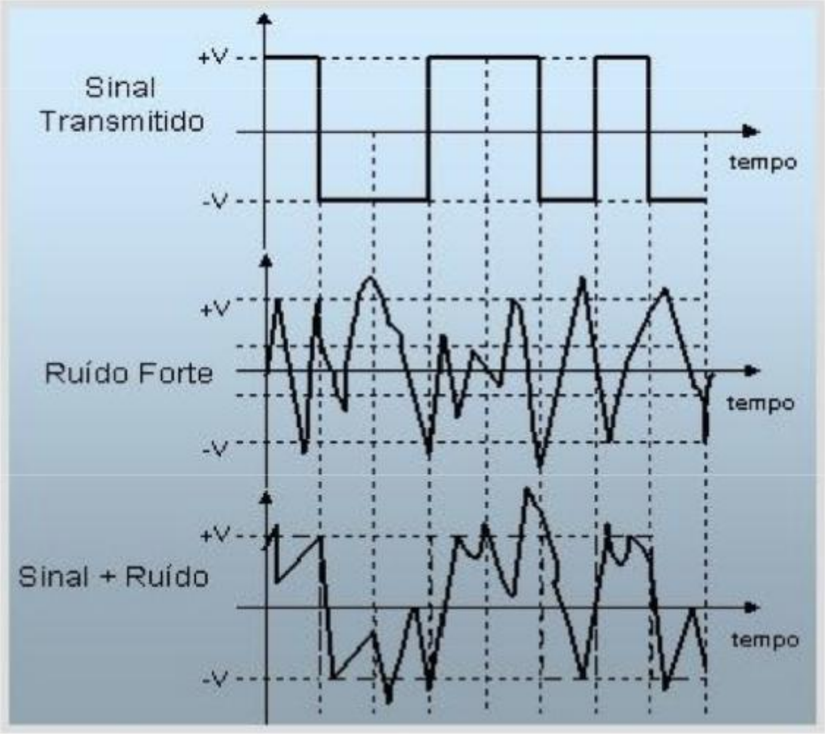
- O ruído consiste numa alteração de alguma das características do sinal transmitido por efeito de um outro sinal exterior ao sistema de transmissão, ou gerado pelo próprio sistema de transmissão.

- Ao contrário da interferência, estes sinais indesejados são de natureza aleatória, não sendo possível prevêr o seu valor num instante de tempo futuro.

RUÍDO

- Sinais indesejáveis que ao longo do caminho entre o Tx e o Rx se vão adicionando ao sinal.
- **Caso grave:** Ruído de amplitude semelhante à amplitude do sinal.
- Quais são as soluções para minimizar o efeito do ruído?

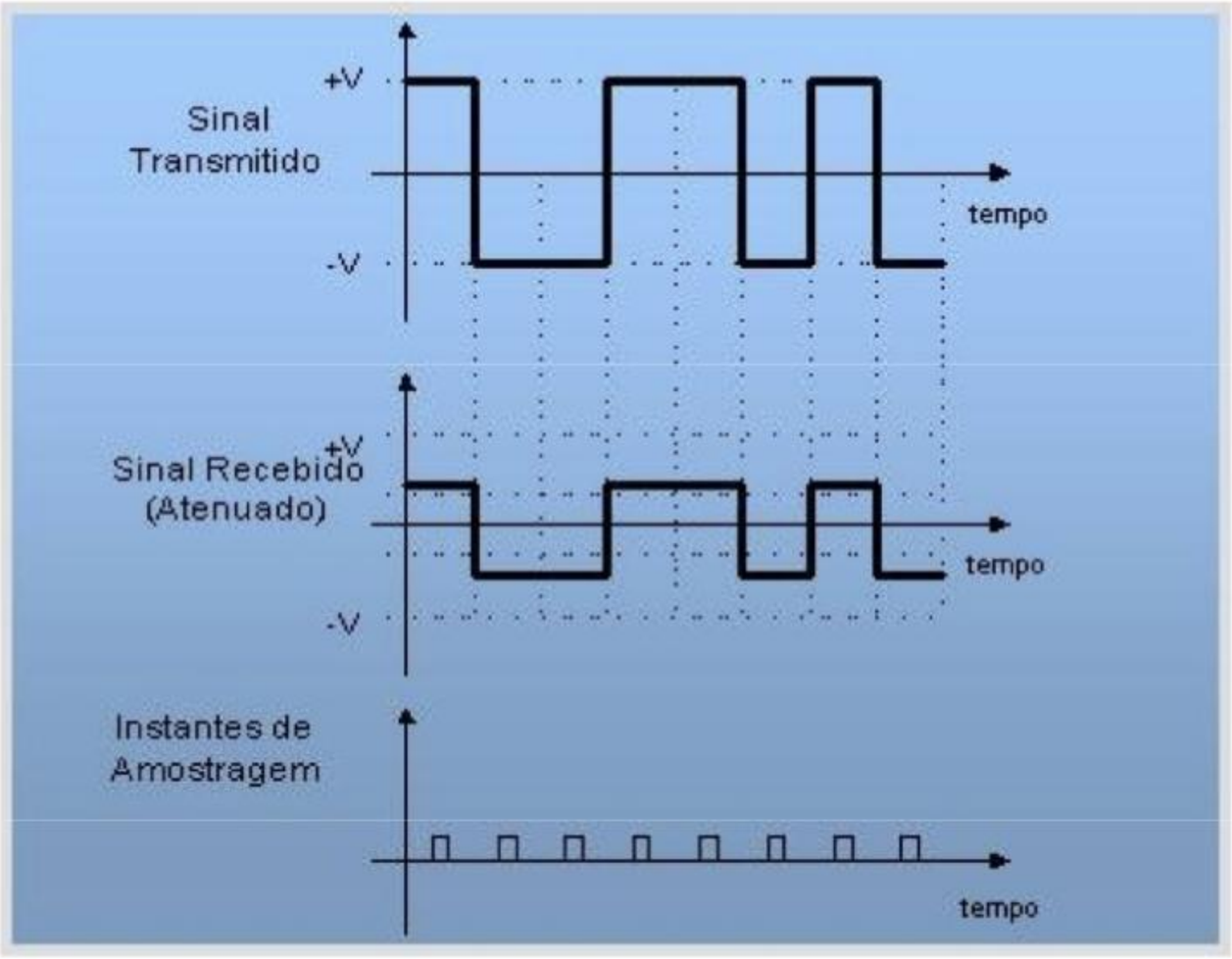




ATENUAÇÃO

- A atenuação consiste numa redução da potência do sinal ao longo do meio de transmissão.
  - Resulta da perda de energia do sinal por absorção ou por fuga de energia.
  - A amplitude de um sinal diminui sempre com a distância.
- Perdas de atenuação excessivas podem impedir a descodificação do sinal pelo receptor.
- Normalmente é expressa em dB.

ATENUAÇÃO


+V
Sinal
Transmitido
-V
tempo
+V
Sinal Recebido
(Atenuado)
-V
tempo
Instantes de
Amostragem
tempo

ATENUAÇÃO

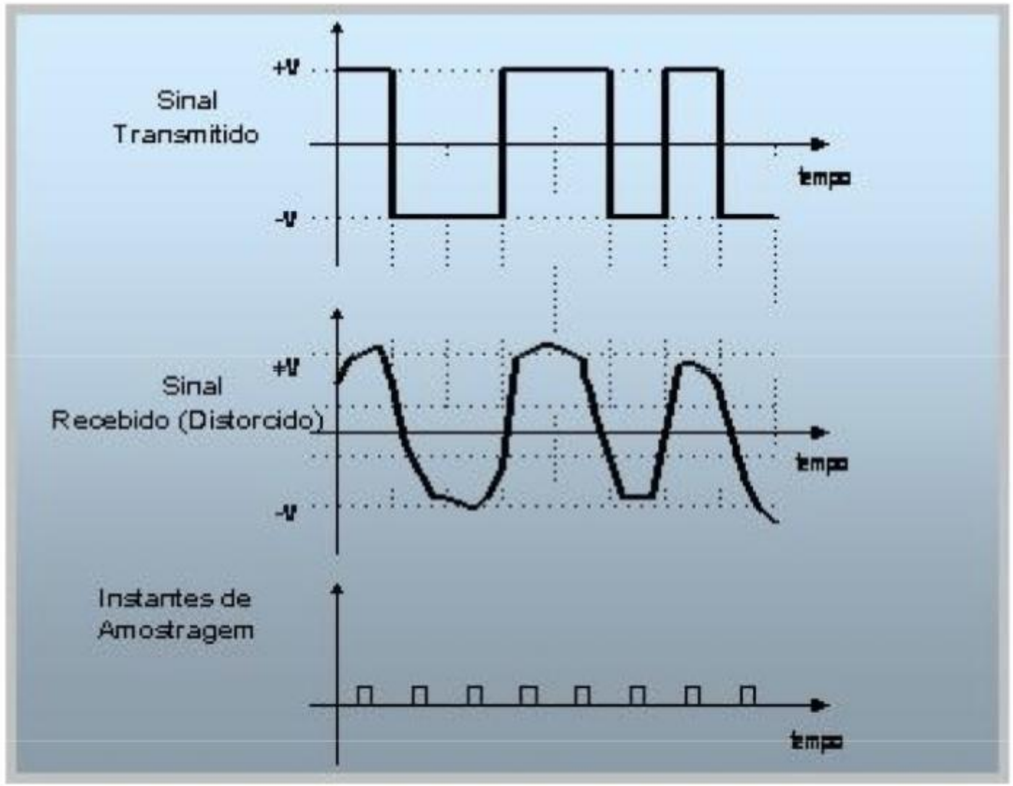
- **Caso atenuação excessiva:**
  - O sinal chega ao receptor tão fraco que nem sequer é detectado.
    - **Resolução:** Uso de amplificadores.
  - O sinal é detectável, mas com um nível próximo do nível do ruído.
    - **Resolução:** Uso de um repetidor.
      - **Questão:** Porquê é que um amplificador não resulta?

DISTORÇÃO

- A distorção consiste numa alteração indesejável na forma do sinal durante a sua propagação desde o emissor até ao receptor, e é causada pelas próprias características do meio.
  - Pode resultar do comportamento não-linear de alguns dos componentes que compõem o percurso do sinal ou pela simples resposta em frequência do meio de transmissão.

- Um sinal tem várias componentes.
  - **Sinal lento** => só componentes lentas.
  - **Sinal rápido** => provavelmente só rápidas.
  - **No geral** => mistura
  - Os meios de transmissão dos sinais eléctricos reagem de forma diferente às componentes lentas e às componentes rápidas.
  - A distorção será maior quanto maior for a diferença de tratamento dado pelo meio às várias componentes do sinal.

DISTORÇÃO



- **Resolução:**
  - Uso de um equalizador (do tipo adaptativo).

CROSS TALK (OU DIAFONIA)

- É uma das principais limitações ao aumento da frequência dos sinais (e consequentemente do débito).
- Deve-se ao acoplamento electromagnético entre sinais eléctricos de meios de transmissão adjacentes.
- Efeito da diafonia caracterizado pela grandeza **atenuação diafónica**.
  - Diferença entre a potência do sinal transmitido e a potência induzida em cada um dos meios de transmissão adjacentes.
  - Expressa em dB.
  - O aumento da frequência aumenta a diafonia e consequentemente diminui a atenuação diafónica.

CROSSS TALK (OU DIAFONIA)

- **Factores que contribuem para o aumento da diafonia**
  - Frequência.
  - Factores relacionados com as características físicas dos cabos.
    - O enrolamento dos condutores contribui para a redução da diafonia.
  - Factores relacionados com a instalação e manutenção dos cabos.
    - Aplicação de uma força de tracção excessiva.
    - Cabos com um raio de curvatura apertado.
    - Esmagamento devido a agressão mecânica sobre os cabos.
  - Factores relacionados com a utilização dos sistemas de cablagem.
  - Processo de interligação dos cabos entrançados com outros cabos ou equipamentos de comunicações.

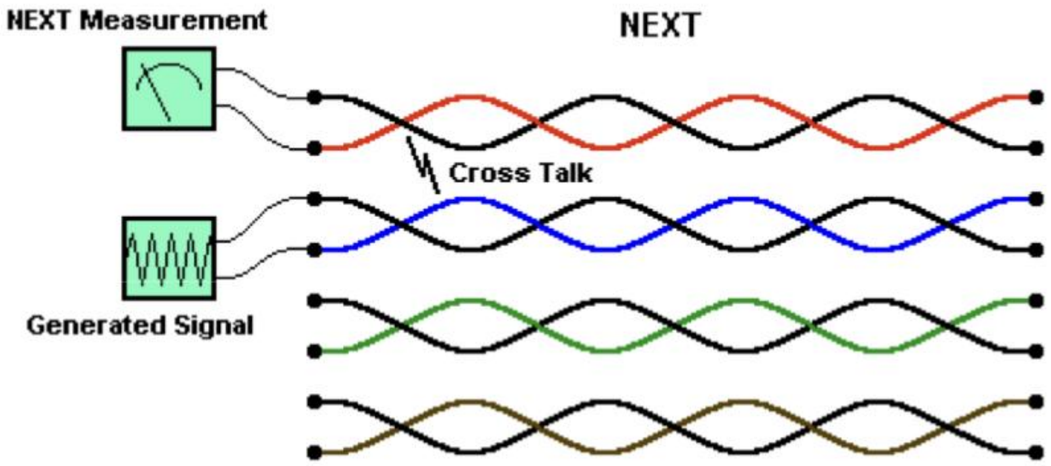
CROSS TALK (OU DIAFONIA)

- Particularmente importante nos cabos de **condutores metálicos**.

- Várias formas de avaliar o efeito da diafonia nos meios de transmissão metálicos:
  - NEXT (*Near End Cross Talk*)
  - FEXT (*Far End Cross Talk*)
  - ACR (*Attenuation Cross Talk Ratio*)
  - ELFEXT (*Equal Level Far End Cross Talk*)
  - PSNEXT, PSEXT, PSACR, PSELFEXT (*Power Sum* das medidas anteriores)

CROSS TALK (OU DIAFONIA)

- **Formas de avaliar o efeito da diafonia**
  - **NEXT (*Near End Cross Talk*)**
    - Mede a atenuação diafónica na extremidade mais próxima do transmissor.
    - Permite avaliar o efeito sobre os sinais recebidos (sinais atenuados pelo canal) da diafonia provocada pelo sinal transmitido (sinal forte à saída do transmissor).
    - O efeito do NEXT é agravado pelo facto de os sinais virem desvanecidos em consequência das perdas de atenuação no canal de transmissão.



CROSS TALK (OU DIAFONIA)

- **Formas de avaliar o efeito da diafonia**
  - **NEXT (continuação)**
    - Num cabo com vários pares, o NEXT deve ser medido em todas as combinações de pares.
    - **Quanto maior foi o NEXT para um dado valor da frequência, melhor a qualidade do meio de transmissão a essa frequência!**

2

MEIOS DE TRANSMISSÃO

CABOS METÁLICOS

- Linhas de condutores aéreos: pares de cabos aéreos, isolados pelo ar;

- Cabos simples: cabos paralelos isolados (flatcable). Distancias curtas e poucas centenas de kbps.

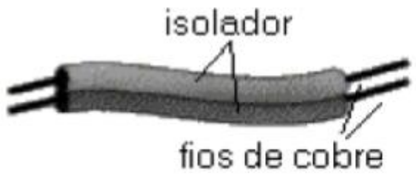
- Cabos de pares entrelaçados: com ou sem blindagem a 100m com alguns Gbps- UTP - Unshielded Twisted Pair.
  - Categoria 3 – 16MHz.
  - Categoria 5 – 100MHz.
  - Categoria 6 – 250MHz.
  - Categoria 7 – 600MHz.

- Cabos coaxiais: condutor revestido por isolante e blindagem coaxias, várias centenas de metros e 10 Mbps.

- Cabos mais modernos chegam ao GHz.

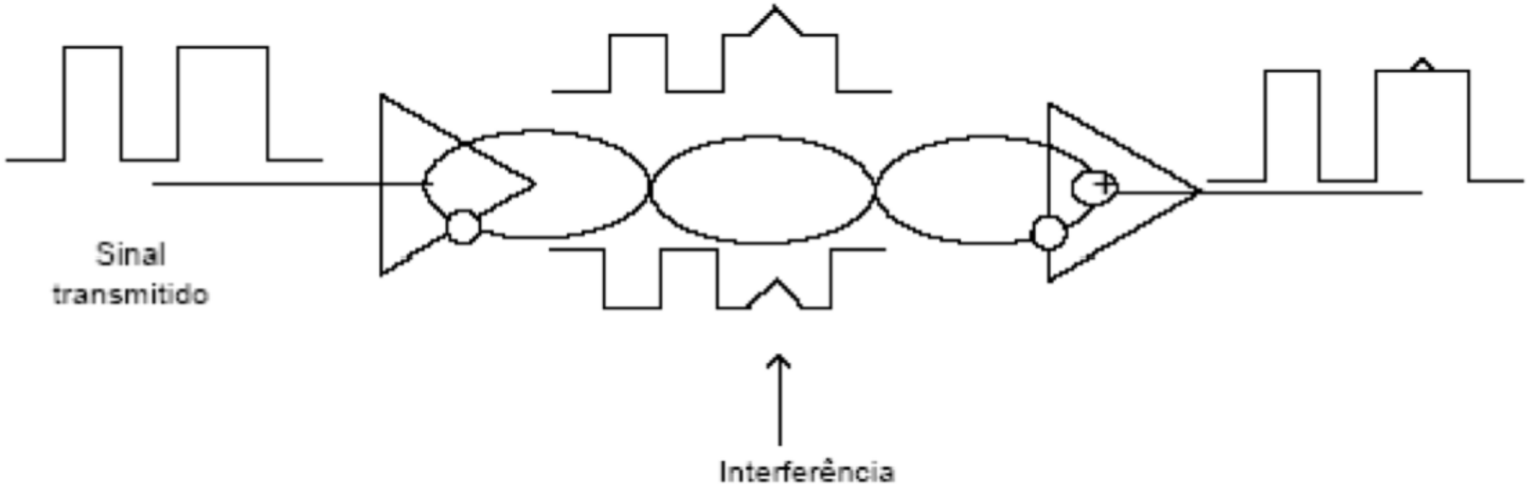
CABOS METÁLICOS

- **Cabos simples (Pares bifilares)**
  - É o meio mais simples.
  - São constituídos por dois ou mais condutores, normalmente em cobre, envolvidos por um material isolante e agrupados em feixe, com um isolamento exterior envolvente, ou dispostos lado-a-lado em faixa (*flat cable*).
  - Podem também dispor de **blindagem** exterior envolvente em fita ou malha metálica.
  - Bastante utilizado para transmissão em distâncias curtas (tipicamente até 50m).
  - Podem suportar débitos na ordem das centenas de kbps (tipicamente até 19200 bit/s).
  - Utilizados para ligação de computadores a periféricos (ligações a modems).



CABOS METÁLICOS

- **Cabos simples (continuação)**
  - **Limitações:**
    - **Ruído** - Devido a fontes de radiação electromagnética externa.
      - Podem ser atenuadas pela existência de blindagem.
    - **Diafonia (*cross talk*)** - Devido ao acoplamento capacitivo entre os condutores paralelos (fios adjacentes do mesmo cabo).



CABOS METÁLICOS

- **Cabos de pares entrançados**
  - Garantem aos sinais uma protecção contra interferências muito superior aos cabos simples.
  - Os pares condutores de cobre com isolamento individual são enrolados em torno de si próprios, formando uma trança.
  - Um cabo de pares entrançados possui, normalmente, vários pares entrançados protegidos por um isolamento exterior envolvente.

  - **Vantagens**:
    - Grande redução dos níveis de radiação electromagnética (EMR) produzida pelo cabo.
    - Protecção contra interferências electromagnéticas (EMI), que pode ser reforçada pela utilização de blindagens individuais em cada par, ou blindagem colectiva envolvendo todos os pares.

CABOS METÁLICOS

Cabos de pares entrançados (continuação)

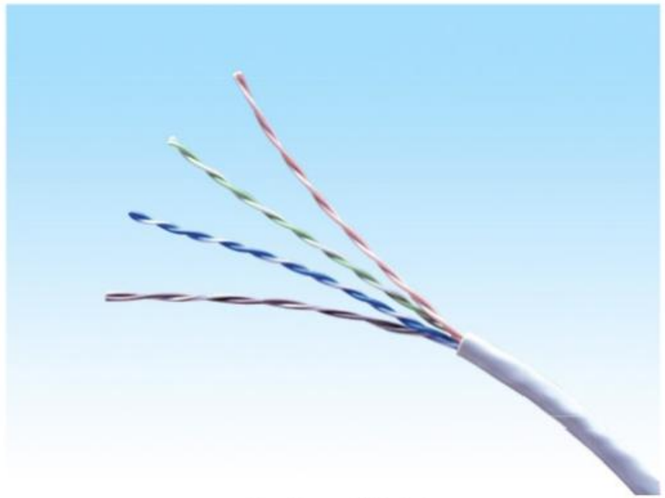
- São designados de acordo com o tipo de blindagem que possuem.

  - **Cabo UTP (*Unshielded Twisted Pair*)**
    - Cabos sem qualquer tipo de blindagem individual ou colectiva.

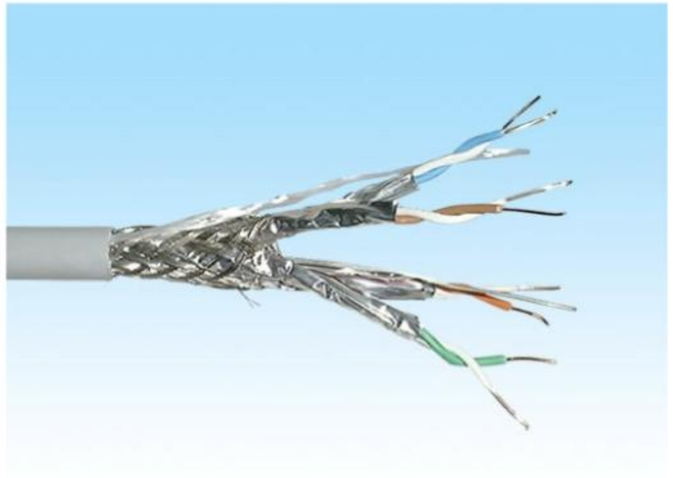
  - **Cabo STP (*Shielded Twisted Pair*)**
    - Cabos com blindagem exterior envolvente de todos os pares, e com blindagem individual em cada par.

  - **Cabo S/UTP (*Screened / Unshielded Twisted Pair*) ou ScTP (*Screened Twisted Pair*)**
    - Cabos com uma protecção exterior *(screen)* envolvente de todos os pares, mas sem blindagem individual.
    - **FTP (*Foiled Twisted Pair*)**: a protecção exterior é constituída por uma fita metálica (foil) enrolada em torno dos condutores.

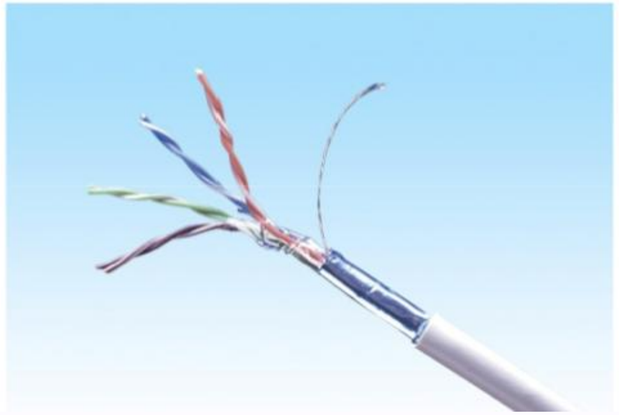
CABOS METÁLICOS



Cabo UTP



Cabo STP



Cabo FTP

CABOS METÁLICOS

- **Cabos de pares entrançados (continuação)**
  - Tipicamente utilizados nas redes de voz dos edifícios e nos acessos de assinante das redes dos operadores telefónicos.
    - Distâncias até poucos quilómetros.
    - Débitos na ordem das centenas de kbps ou com tecnologias mais recentes, da ordem dos Mbps.
  - Extensivamente utilizados em edifícios, na construção de sistemas de cablagem para transmissão de dados.
    - Distâncias até 100 metros.
    - Débito até aos Gbps com as tecnologias mais recentes.

CABOS METÁLICOS

- **Cabos de pares entrançados (continuação)**
  - Transmissão dos sinais eléctricos afectada por um fenómeno electromagnético chamado **efeito peculiar**:
    - Tendência para a circulação da corrente eléctrica pela periferia dos condutores metálicos com o aumento da frequência do sinal.
    - Impede a utilização da totalidade da secção do condutor na condução da corrente.
    - Tem como consequência o <u>aumento da atenuação do sinal</u>.
    - Associado ao aumento das perdas de sinal por radiação, com o aumento da frequência dos sinais transmitidos, constitui o principal factor de limitação deste tipo de cabos em termos de taxa de transmissão.

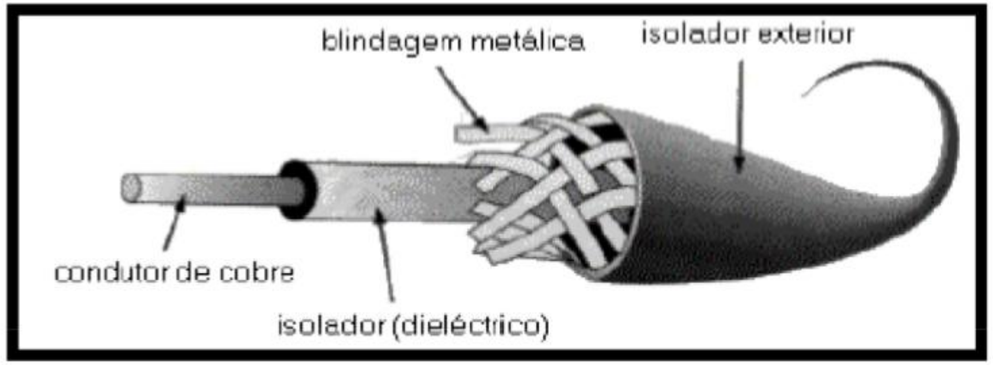
CABOS METÁLICOS

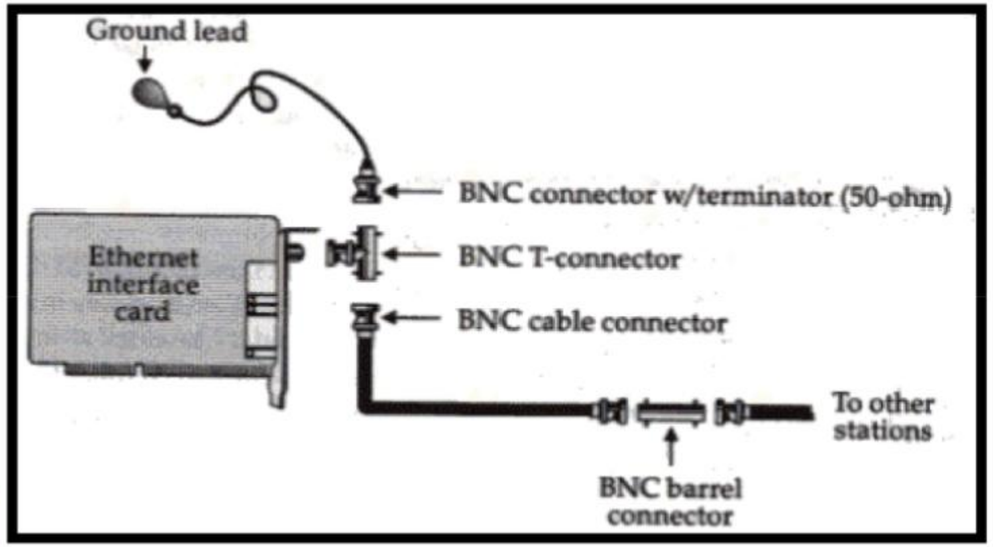
- **Cabos coaxiais**
  - Nestes cabos os sinais eléctricos são conduzidos através de um condutor metálico, normalmente em cobre ou alumínio, instalado de forma concêntrica relativamente a uma blindagem exterior envolvente, normalmente constituída por uma malha metálica.
  - Espaço entre o condutor central e a blindagem revestido por um material isolante.
  - Blindagem exterior também revestida por uma bainha de material isolante e protector.

  - **Dois tipos:**
    - ***Thick*** (usado em backbones das redes)
    - ***Thin***

CABOS METÁLICOS

- **Cabos coaxiais (continuação)**

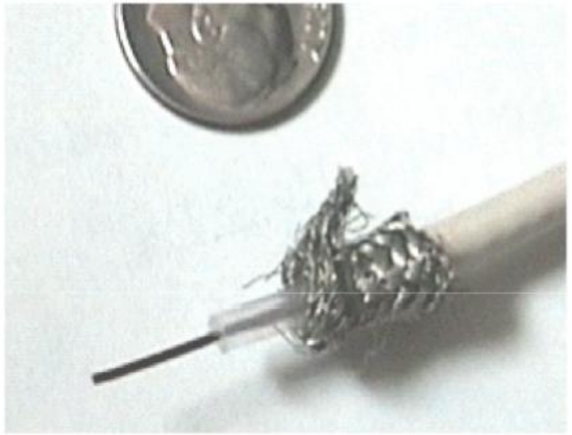




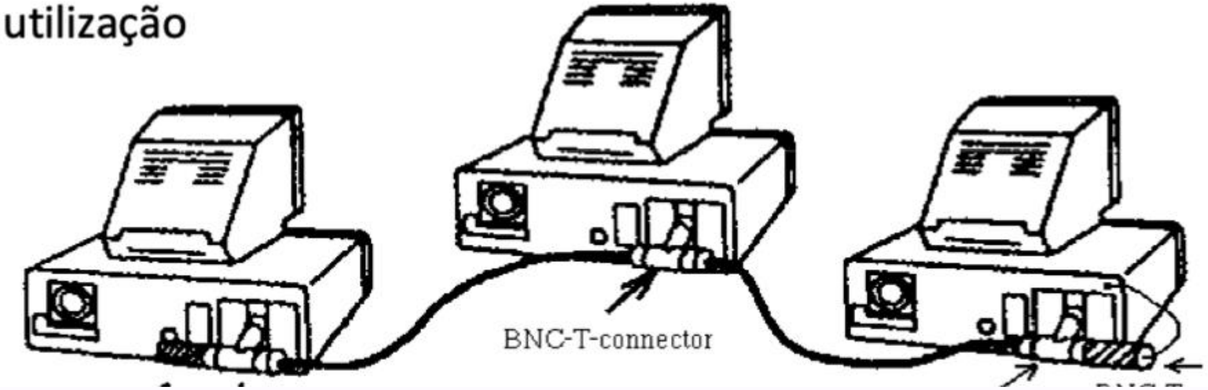
CABOS METÁLICOS

Cabos coaxiais (continuação)

- Existem dois tipos: *Thick* (grosso) e *Thin* (fino).



- Exemplo de utilização



CABOS METÁLICOS

Cabos coaxiais (continuação)

- A geometria dos cabos garante uma limitação eficaz das perdas por radiação e efeito peculiar.

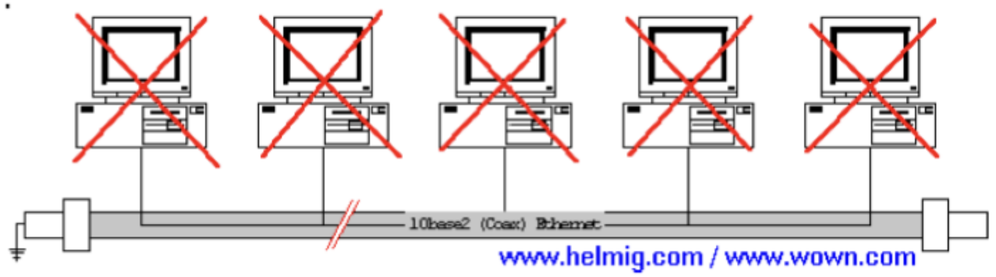
- Utilizados na construção de redes de distribuição de TV por cabo:
  - Distâncias inferiores a 1 quilómetro.
  - Transportam várias dezenas de canais de TV e canais de dados (para acesso à Internet por cabo).

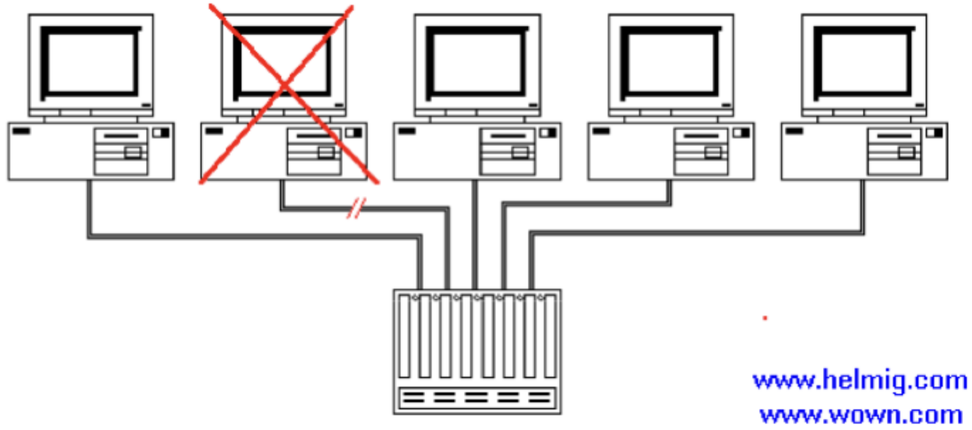
- Também são usados nas redes de distribuição dos operadores telefónicos:
  - Distâncias até alguns quilómetros
  - Débitos na ordem dos vários Mbps.

- Em redes locais são preteridos por cabos de pares entrançados, mas podem suportar tecnologias na ordem dos 10 Mbps, em distâncias até várias centenas de metros.

CABOS METÁLICOS

- **Cabo entrançado *vs* cabo coaxial**
  - Ambos permitem débitos elevados.
  - O cabo coaxial poderá apresentar preços superiores, mas a utilização de cabo entrançado obriga a investimentos em equipamento activo.
  - O cabo coaxial permite cobrir distâncias maiores.
  - As configurações que usam o cabo entrançado apresentam maior fiabilidade.





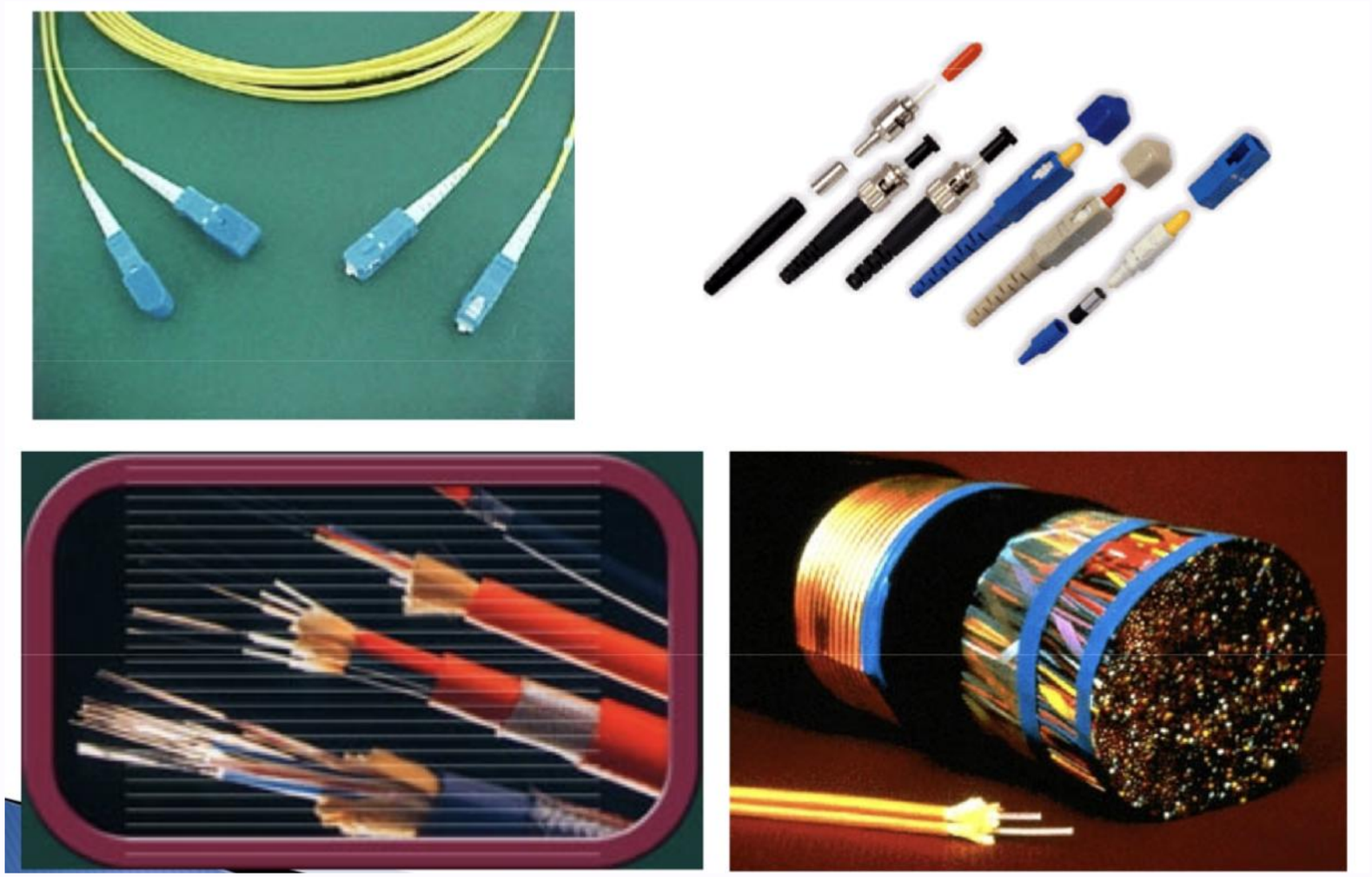
FIBRA ÓPTICA

- **Ambição em transmitir os dados a débitos cada vez mais elevados…**
- Aumento de débitos e distâncias põem a claro as limitações do cobre!

Meios de fibra óptica

- A fibra óptica oferece uma alternativa viável ao cobre.
- A comunicação em fibra óptica foi introduzida nos finais da década de 70, por iniciativa dos grandes operadores de comunicações.

FIBRA ÓPTICA



FIBRA ÓPTICA

Meios de fibra óptica

- O transporte de informação é suportado pela codificação de um feixe de luz.
- O sinal luminoso é gerado por um dispositivo optoelectrónico:
  - Díodo LED *(Light-Emitting Diode)*
  - Emissor laser.
- A recuperação do sinal é normalmente realizada por um foto-díodo ou por um foto-transístor.
- Pelo facto de utilizarem sinais de luz, os meios de comunicação em FO têm uma capacidade muito superior à dos meios de transmissão eléctricos e electromagnéticos.

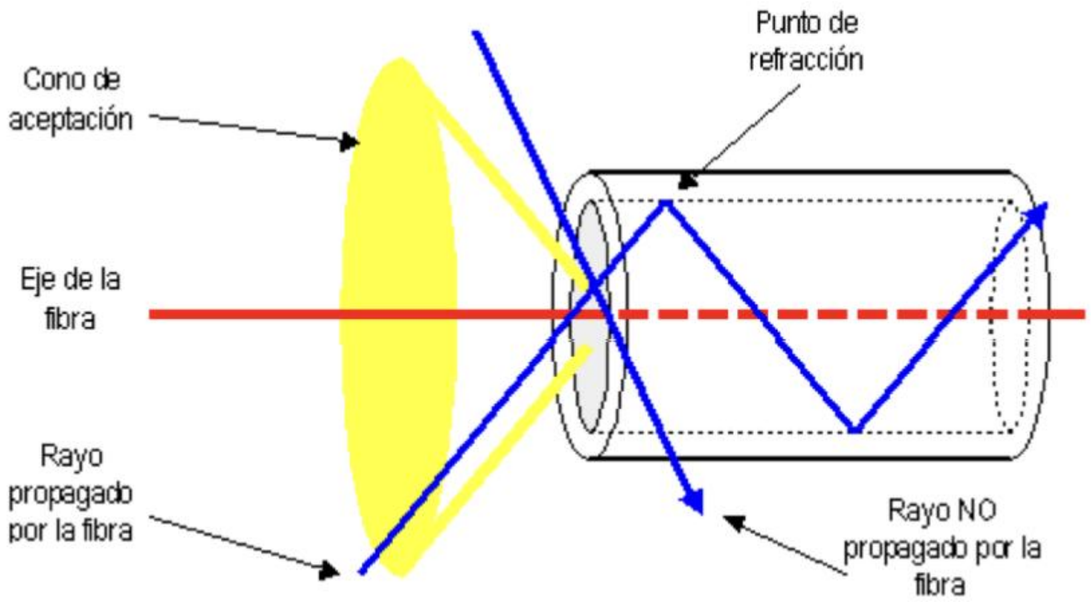
FIBRA ÓPTICA

- **Meios de fibra óptica (continuação)**
  - A largura de banda disponível numa fibra óptica pode suportar uma capacidade total de 75 Tbps (considerando uma sinalização de 1 bit por Hz).
  - **Mas** tal capacidade não está ainda ao alcance dos dispositivos de transmissão e recepção!
    - São o principal factor de limitação na utilização plena das capacidades da FO.
  - As fibras ópticas são particularmente úteis em ambientes sujeitos a fortes campos electromagnéticos.
  - Vantagens do pondo de vista da segurança da informação.
    - Escuta por derivação electromagnética do sinal é impossível.
    - Derivação física do sinal sem danificar a fibra e quebrar a ligação virtualmente impossível.

FIBRA ÓPTICA

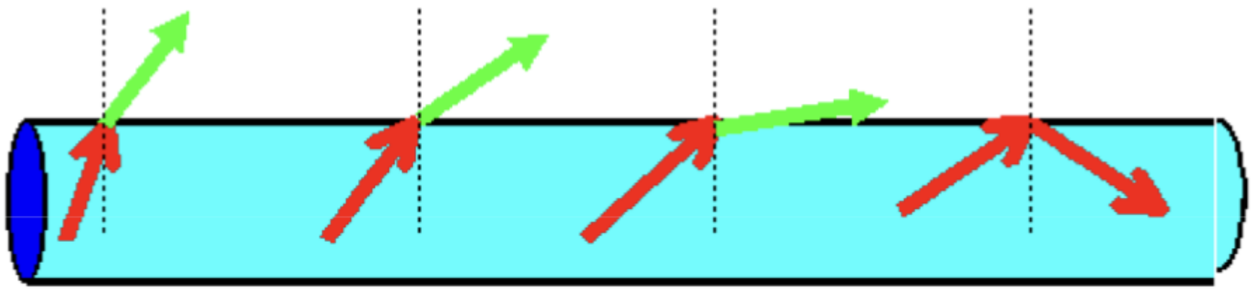
Fibras ópticas – alguns princípios

- **Reflexão**
  - O princípio fundamental que rege o funcionamento das fibras ópticas é o fenómeno físico denominado reflexão total da luz.



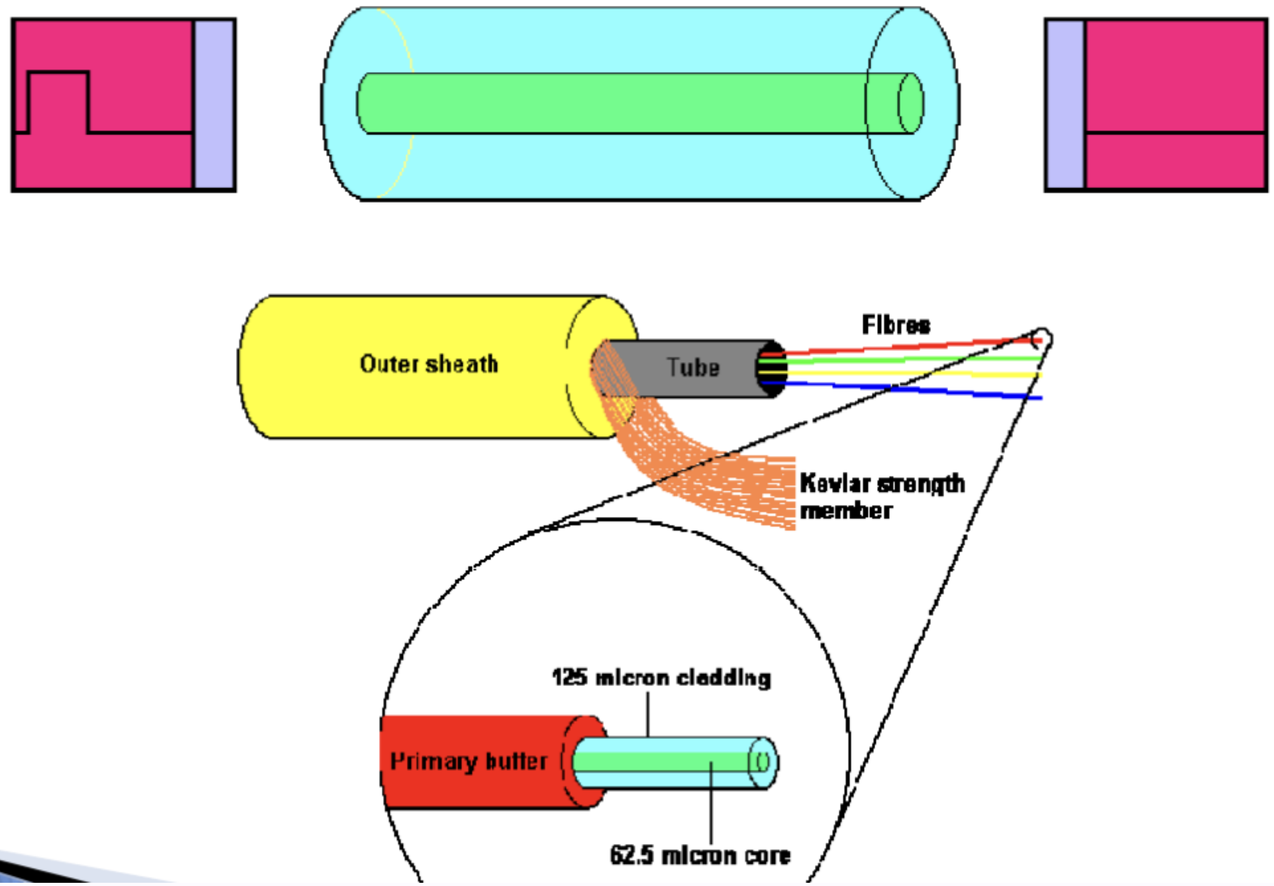
FIBRA ÓPTICA

- **Fibras ópticas – alguns princípios (continuação)**
  - **Refracção**
    - Um material com um índice de refracção maior é mais denso opticamente e oferece maior resistência à passagem da luz do que um material com um menor índice de refracção.
    - O índice de refracção do material que compõe o núcleo é maior do que o índice de refracção do material que compõe a baínha.



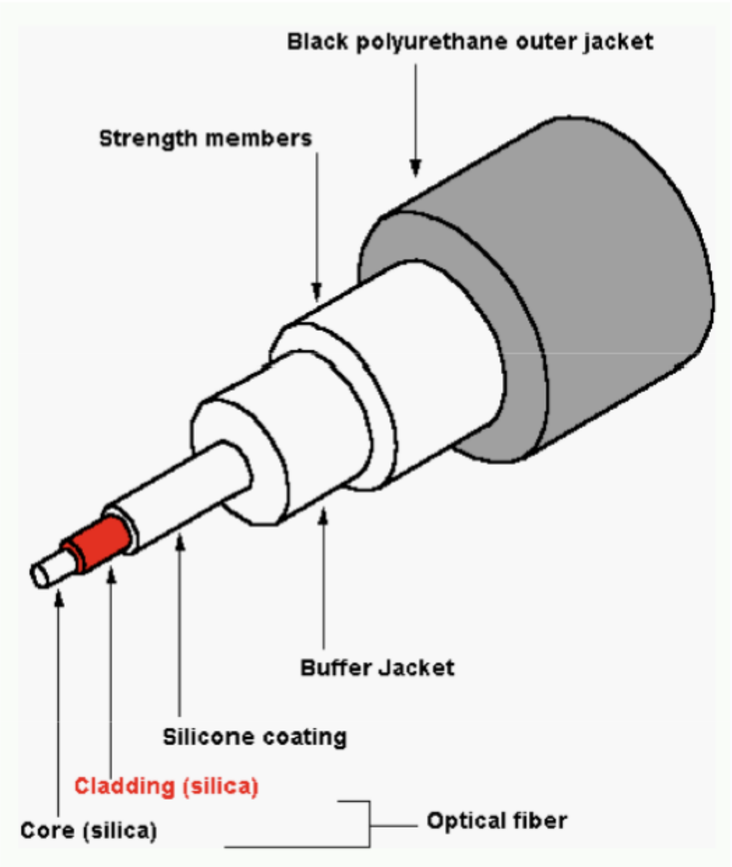
FIBRA ÓPTICA

Fibras ópticas – alguns princípios (continuação)



FIBRA ÓPTICA

- **Constituição de uma fibra óptica:**
  - **Núcleo (*core*)**
    - É o meio de propagação (condutor óptico).
    - Cilíndrico em vidro de silício com um índice de refracção muito elevado.
    - Tem um diâmetro muito pequeno.
  - **Camada envolvente do núcleo (baínha/*cladding*)**
    - Também em vidro, mas com índice de refracção menor.
  - **Camada protectora do *cladding* (*coating*)**
    - É o para-choques do cladding (isolamento de forças mecânicas como vibrações).
  - **Fibras robustas (*strength members*)**
    - Fibras de Kevlar muito resistentes que protegem as fibras de esticões e contracções devido à temperatura.
  - **Camada protectora exterior (*jacket*)**
    - Difere consoante o ambiente de instalação e utilização pretendidos.

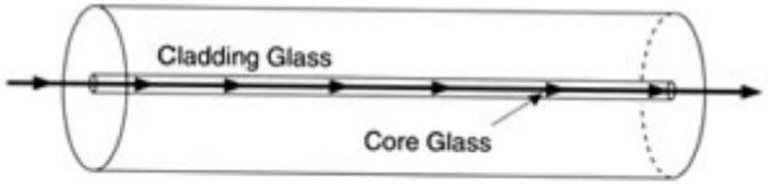


FIBRA ÓPTICA

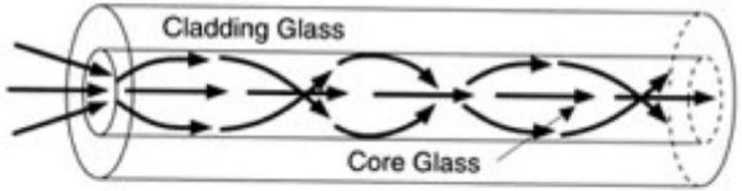
Fibras ópticas

- As características de propagação óptica de uma fibra dependem, essencialmente das características e dimensões do seu núcleo.

- Tal permite agrupar as fibras em duas grandes famílias:
  - **Fibras ópticas monomodo**



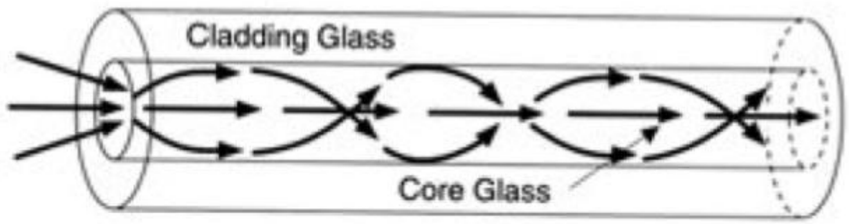
  - **Fibras ópticas multimodo**



FIBRA ÓPTICA

Fibras ópticas multimodo

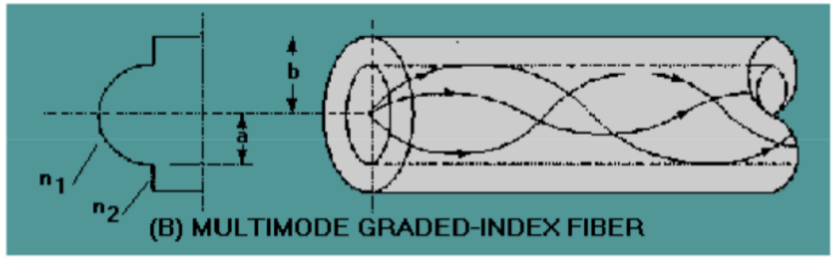
- Diâmetro do núcleo 50 ou de 62,5 µm, bainha com diâmetro exterior de 125 µm.
- Transporte de sinais ópticos é afectado por um efeito com consequências negativas para a transmissão designado por **dispersão modal**.
  - Devido à relação entre a dimensão do núcleo das fibras e o comprimento de onda do feixe óptico utilizado na transmissão, o sinal injectado pelo transmissor dispersa-se em múltiplos feixes.
  - Cada um deles segue diferentes percursos através do núcleo da fibra, com diferentes tempos de propagação causando dispersão temporal no sinal recebido.



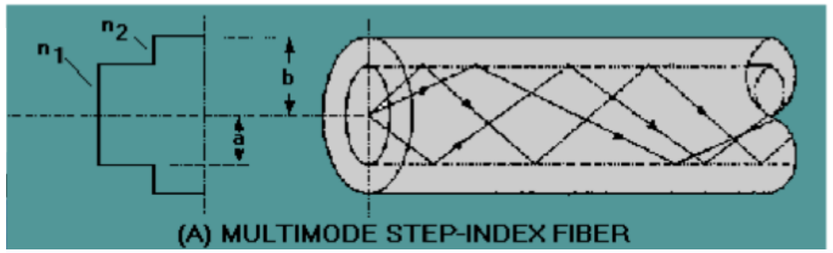
  - O efeito da dispersão modal <u>aumenta com o comprimento do cabo</u> e <u>limita o débito máximo suportado</u>.

FIBRA ÓPTICA

- **Fibras ópticas multimodo (continuação)**
  - **Fibras ópticas multimodo graded-index**
    - Índice de refracção variável de forma gradativa, desde o centro do núcleo até à bainha. Reduz o efeito da dispersão modal!



  - **Fibras ópticas multimodo step-index**
    - Fibras ópticas multimodo normais.
    - Índices de refracção constantes.
      - Transição abrupta entre os índices de refracção do núcleo e da bainha.



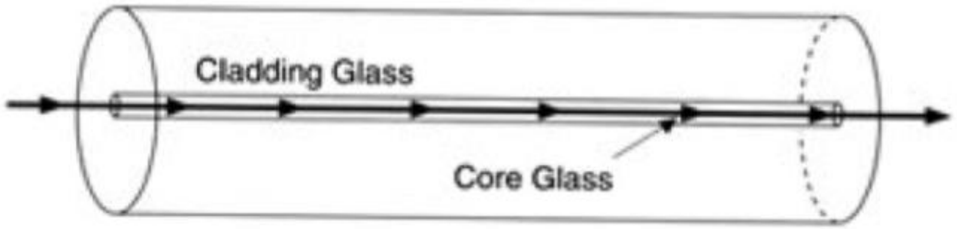
FIBRA ÓPTICA

- **Fibras ópticas multimodo (continuação)**
  - Aplicam-se na construção de redes de distribuição de TV.
    - Cobertura das distâncias desde o centro de difusão até à proximidade dos assinantes.
  - Também utilizadas em redes privadas, na construção de sistemas de cablagem estruturada, na distribuição nos *campus* e nos grandes edifícios (*backbone*).
    - Distâncias até 3 km e suportando débitos desde 10 Mbps até vários Gbps.

FIBRA ÓPTICA

Fibras ópticas monomodo

- Diâmetro do núcleo varia entre os 3 e os 10 µm, bainha com diâmetro exterior de 125 µm.
- Devido à reduzida dimensão do núcleo, não existe praticamente dispersão modal.

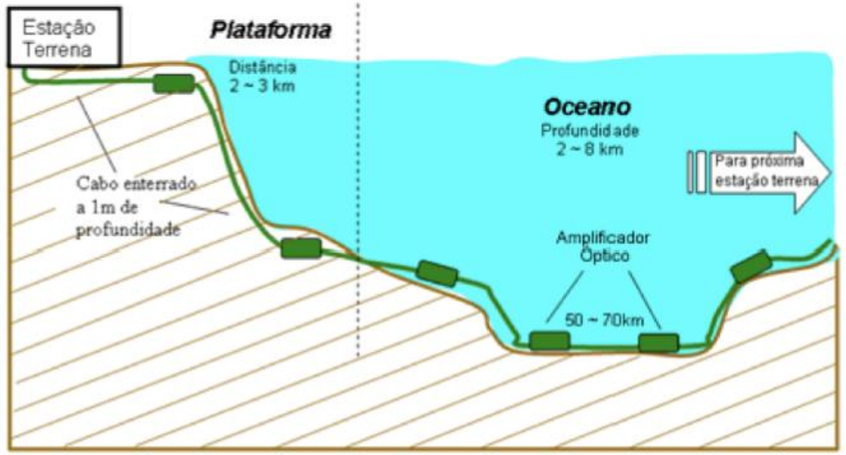


- Adequadas para transmissão a débitos elevados e para cobertura de grandes distâncias.
  - Redes de trânsito dos operadores de comunicações, com distâncias até 70 km e débitos na ordem dos vários Gbps.
  - Ligações intercontinentais e cabos submarinos.
    - São necessários elementos activos ópticos ou optoelectrónicos que regeneram e amplificam os sinais ópticos.

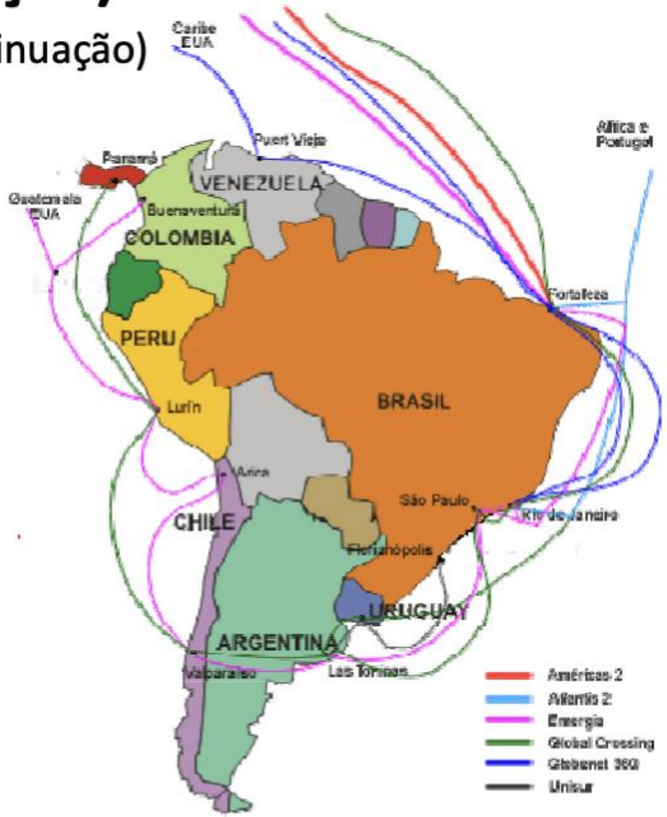
FIBRA ÓPTICA

Fibras ópticas monomodo (continuação)

- Ligações intercontinentais e cabos submarinos (continuação)



Principais componentes de um sistema de comunicação de longa distância utilizando cabos submarinos



Principais cabos Submarinos com presença no Brasil

FIBRA ÓPTICA

Fibras ópticas monomodo (continuação)

- Ligações intercontinentais e cabos submarinos (continuação)

Instalação de cabo submarino

Cabos de fibra óptica armazenados no navio

FIBRA ÓPTICA

- **Fibras ópticas monomodo (continuação)**
  - Principal inconveniente relacionado com as reduzidas dimensões do núcleo.
    - Operações de conexão e interligação bastante dispendiosas.
  - Normalmente são usadas com emissores laser.
    - Manipulação extremamente perigosa.

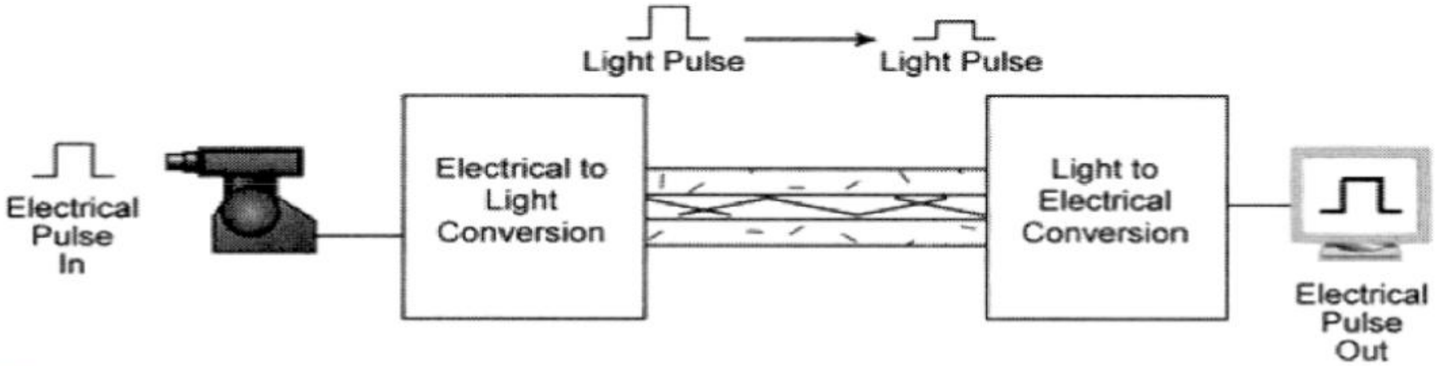
FIBRA ÓPTICA

- **Fibras ópticas monomodo *vs* multimodo**
  - Fibras multimodo têm a vantagem de facilitarem substancialmente o processo de conexão e interligação de equipamentos.
    - São escolhidas sempre que as distâncias a cobrir e os débitos permitem a sua utilização.

FIBRA ÓPTICA

Sistema de transmissão óptico

- **É constituído por 3 dispositivos diferentes:**
  - **1 - Emissor de Luz -** LED ou Laser.
    - A potência é uma característica importante.
  - **2 - Receptor de Luz** - Detecta os pulsos de luz. Basicamente é um fotodíodo ou fototransístor.
    - A sensibilidade é uma característica importante.
  - **3 - F.O.**



FIBRA ÓPTICA

- **Sistema de transmissão óptico (continuação)**
  - **Características dos emissores de luz**

	LED	**Laser Semicondutor**
Velocidade de transmissão	Baixa	Alta
Modo	Multimodo	Multimodo ou monomodo
Distância	Curta	Longa
Duração do dispositivo	Tempo de vida longo	Tempo de vida curto
Sensibilidade à temperatura	Baixa	Substancial
Custo	Muito baixo	Muito caro

MEIOS SEM FIOS

- Por ordem de antiguidade, aparecem a seguir aos meios de cobre.
  - Primeira comunicação através de um sistema electromagnético foi realizada em 1897 (Salisbury - Inglaterra), a uma distância de 4 km, por Guilherme Marconi.

- Crescente utilização na construção de redes informáticas em complemento (e até em substituição) de sistemas de cablagem.

- Enorme diversidade de meios de comunicação sem fios.

MEIOS SEM FIOS

- **Ligações em micro-ondas**
  - Transmissão de informação realizada recorrendo a operações de modulação (no emissor e desmodulação no receptor) de uma fonte de radiação electromagnética situada na gama das micro-ondas (2 a 30 GHz).
  - Possível construir antenas extremamente direccionais.
  - Adequadas a ligações ponto-a-ponto.
  - Geralmente é necessária a completa desobstrução do espaço entre dois pontos interligados.

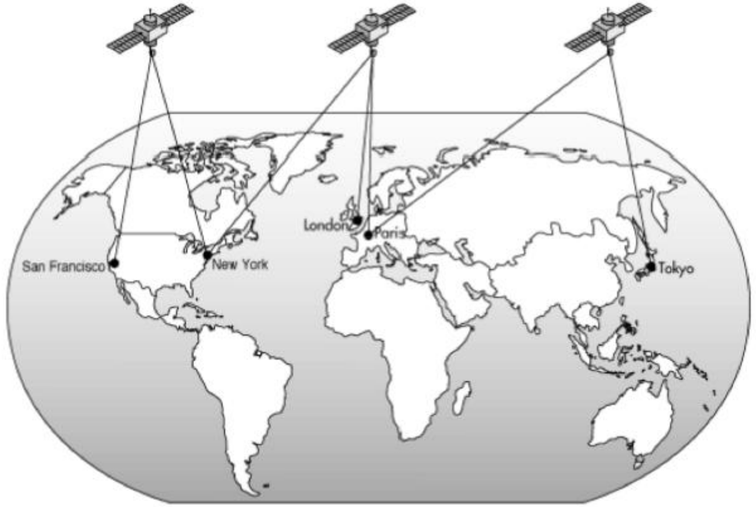
  - Utilizadas em duas situações típicas:
    - Ligações terrestres
    - Ligações terra-satélite

MEIOS SEM FIOS

- **Ligações em micro-ondas (continuação)**
  - **Ligações terrestres**
    - Utilizadas na interligação de redes privadas, quando existe *linha de vista* entre os locais a interligar.
    - Distâncias até 3 km, débitos na ordem dos Mbps (normalmente 2 ou 10 Mbps).
    - São possíveis ligações com 50 km, mas é necessária a utilização de niveís de potência no transmissor que só são autorizados a operadores de comunicações.
    - Instalação fácil, uso de antenas parabólicas (feixes hertzianos).

MEIOS SEM FIOS

- **Ligações em micro-ondas (continuação)**
  - **Ligações terra-satélite**
    - Utilizadas nas ligações intercontinentais das redes dos operadores de comunicações.
    - Também utilizadas no acesso e interligação de redes informáticas de elevada dispersão geográfica ou situadas em locais remotos.
    - Normalmente suportam uma largura de banda elevada (500 MHz).
    - Introduzem atrasos elevados (cerca de 0,25 seg em ligações a satélites geoestacionários).
      - Em aplicações interactivas podem chegar a ser perturbadores.



MEIOS SEM FIOS

Ligações via rádio

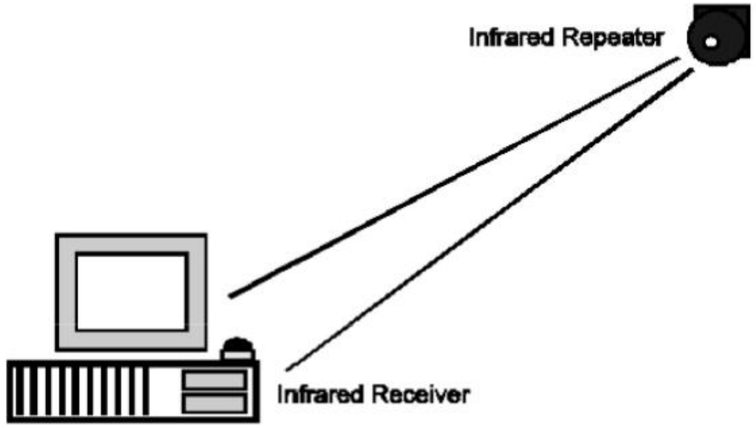
- Conjunto de meios de comunicação que usam radiação electromagnética na transmissão de informação, numa gama inferior à utilizada nas micro-ondas.
- Normalmente utilizadas no suporte de sistemas de comunicação móvel.
- Nas redes informáticas são usadas em situações em que é necessário garantir mobilidade aos sistemas terminais.
  - Uma estação base pode cobrir um raio que pode ir desde poucas dezenas de metros no interior dos edifícios, até algumas centenas no exterior.
    - Depende da tecnologia utilizada e da geometria física dos locais a abranger.
- Largura de banda tipicamente de 200 khz.
- Velocidades de 64 kbit/s, na zona superior UHF alguns Mbit/s.
- Transmissão omnidireccional, sujeita a interferências.
- 30 km sem retransmissões.

MEIOS SEM FIOS

- **Ligações via rádio (continuação)**
  - Também utilizadas na construção de sistemas de telefone sem fios (DECT, TDMA, CDMA, GSM, GPRS, UMTS).
    - Com a evolução das comunicações de dados móveis, vêm a ser cada vez mais utilizadas no acesso móvel a redes informáticas.
  - Principal **desvantagem**: segurança!
    - O sinal pode ser facilmente escutado. Esta fragilidade pode ser ultrapassada recorrendo a esquemas de codificação e encriptação.

INFRA-VERMELHOS

- **Ligações em infra-vermelhos**
  - Utilizadas na ligação de computadores a periféricos e na construção de redes locais de pequena dimensão.
  - Soluções proprietárias.
  - Norma IrDa (comunicações série).



INFRA-VERMELHOS

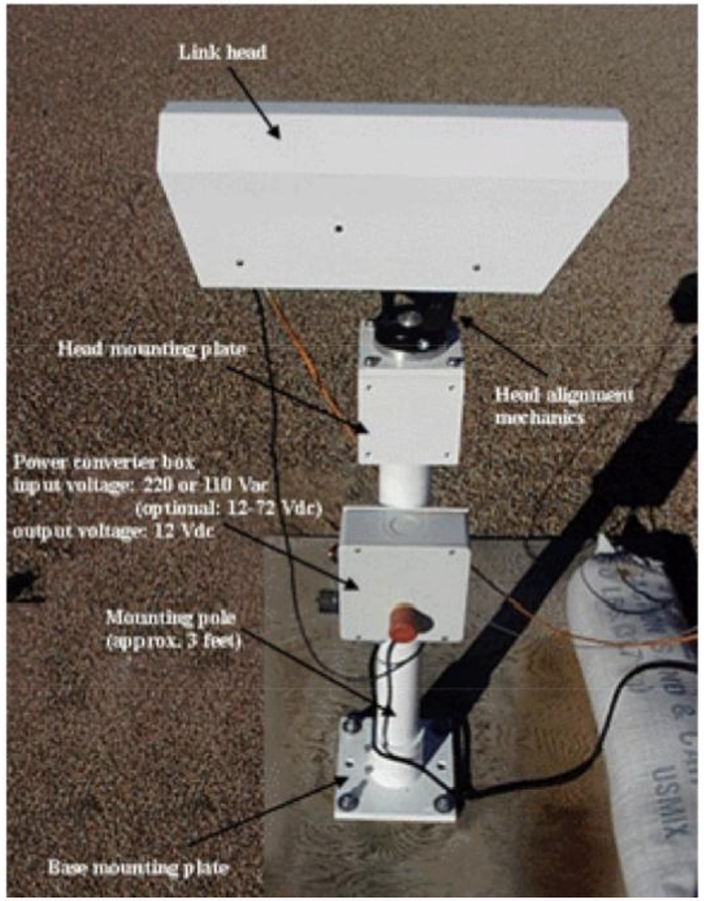
- **Ligações em infra-vermelhos (continuação)**
  - **Vantagens**
    - Largura de banda disponível.
    - Simples e baratos.
    - Não é necessária aprovação das entidades gestoras do espaço radioeléctrico para instalação das ligações.
  - **Desvantagem**
    - Necessidade de existência de linha de vista entre os dispositivos.
      - Logo não há problemas de interferências entre dispositivos em salas diferentes.

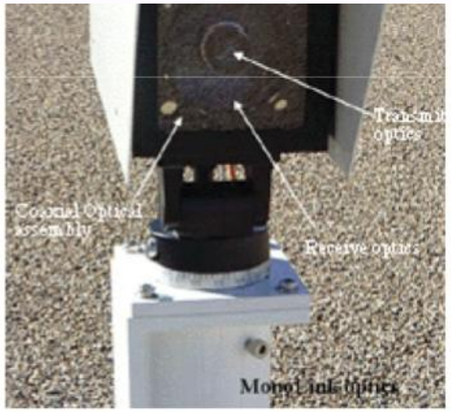
LIGAÇÕES LASER

- **Ligações laser**
  - Emissões laser utilizadas na transmissão de sinais em fibra óptica…
  - Utilizadas para transportar informação em espaço aberto entre dois pontos em linha de vista.
  - Bastante usadas para interligar redes privadas quando:
    - existe linha de vista entre os pontos a interligar;
    - não é possível ou economicamente viável instalar fibra óptica.

LIGAÇÕES LASER

- **Ligações laser (continuação)**





LIGAÇÕES LASER

- **Ligações laser (continuação)**
  - **Vantagens**
    - Enorme largura de banda (existem dispositivos capazes de transmitir a 622 Mbps em distâncias da ordem dos 3 km).
    - Não é necessária aprovação das entidades gestoras do espaço radioeléctrico para instalação das ligações.
  - **Desvantagens**
    - Sensibilidade das ligações às condições atmosféricas (nevoeiros ou poeiras no percurso do feixe).
    - Necessidade de manter um alinhamento rigoroso nos dispositivos emissor e receptor.

3

TOPOLOGIAS DE REDE

TOPOLOGIAS DE CABLAGEM

- A topologia de uma cablagem define as representações física e lógica dos elementos que a compõem.

- **Topologia física**
  - Descreve o *layout* dos cabos e postos de trabalho e a localização de todos os componentes da rede.

- **Topologia lógica**
  - Define como é que a informação circula na rede.

- **Na construção dos sistemas de cablagem podem ser utilizadas as seguintes topologias:**
  - Barramento, Estrela, Anel, Árvore, Malha

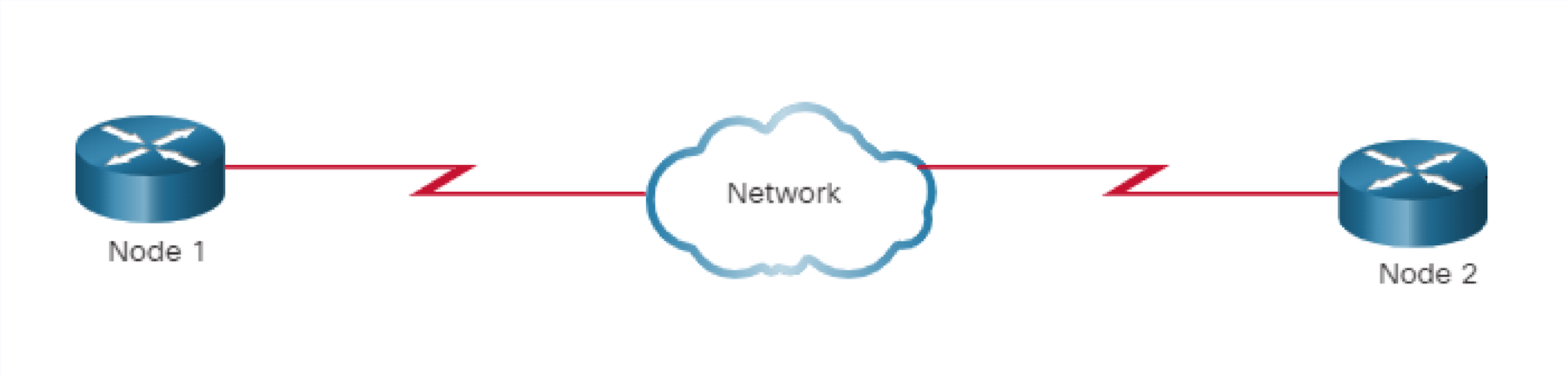
WAN Topologies

There are three common physical WAN topologies:

- **Point-to-point** – the simplest and most common WAN topology. Consists of a permanent link between two endpoints.
- **Hub and spoke** – similar to a star topology where a central site interconnects branch sites through point-to-point links.
- **Mesh** – provides high availability but requires every end system to be connected to every other end system.

Point-to-Point WAN Topology

- Physical point-to-point topologies directly connect two nodes.
- The nodes may not share the media with other hosts.
- Because all frames on the media can only travel to or from the two nodes, Point-to-Point WAN protocols can be very simple.

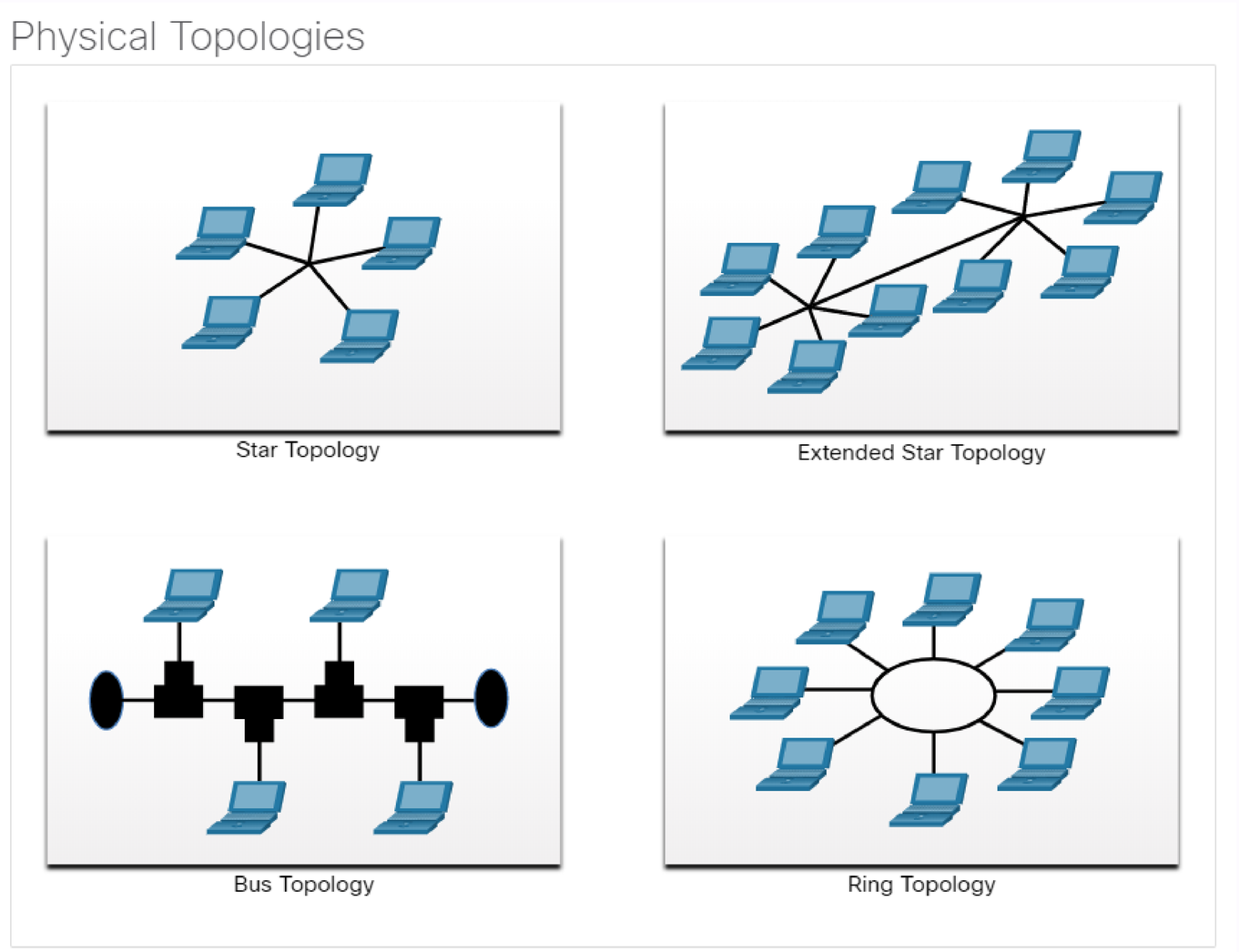


LAN Topologies

End devices on LANs are typically interconnected using a star or extended star topology. Star and extended star topologies are easy to install, very scalable and easy to troubleshoot.

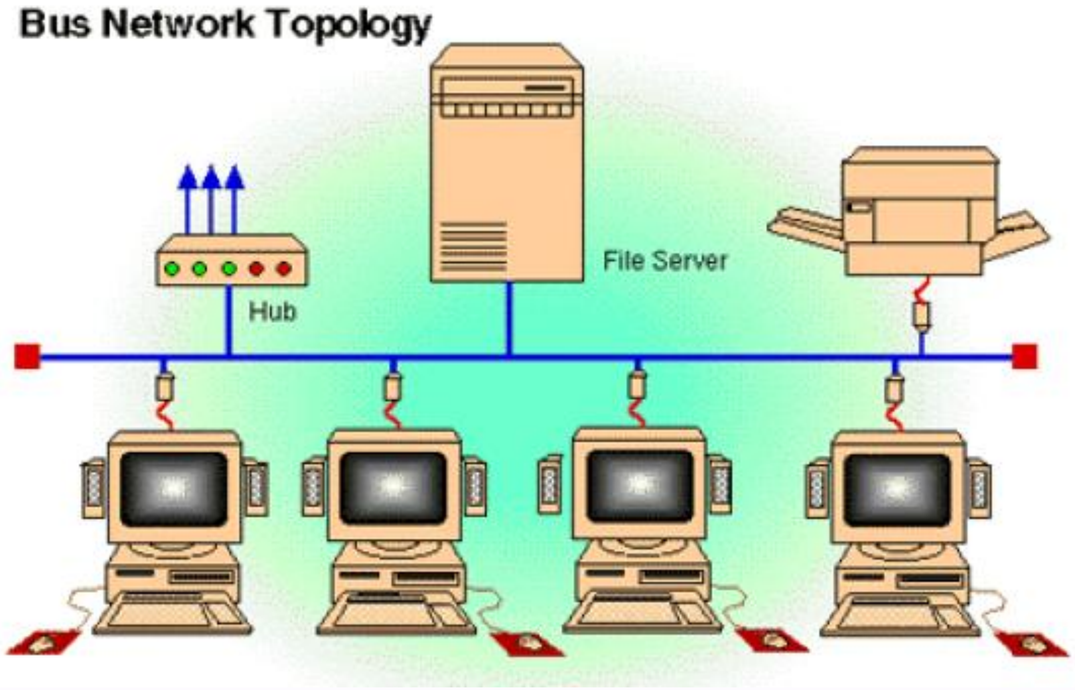
Early Ethernet and Legacy Token Ring technologies provide two additional topologies:

- **Bus** – All end systems chained together and terminated on each end.
- **Ring** – Each end system is connected to its respective neighbors to form a ring.

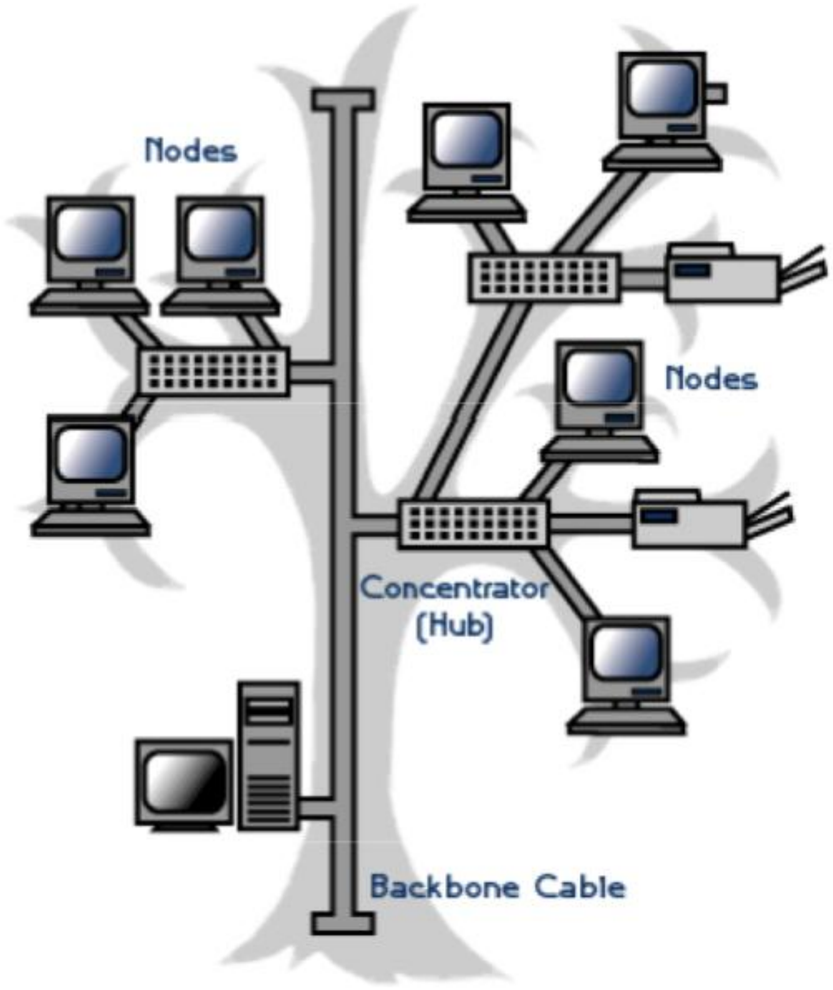


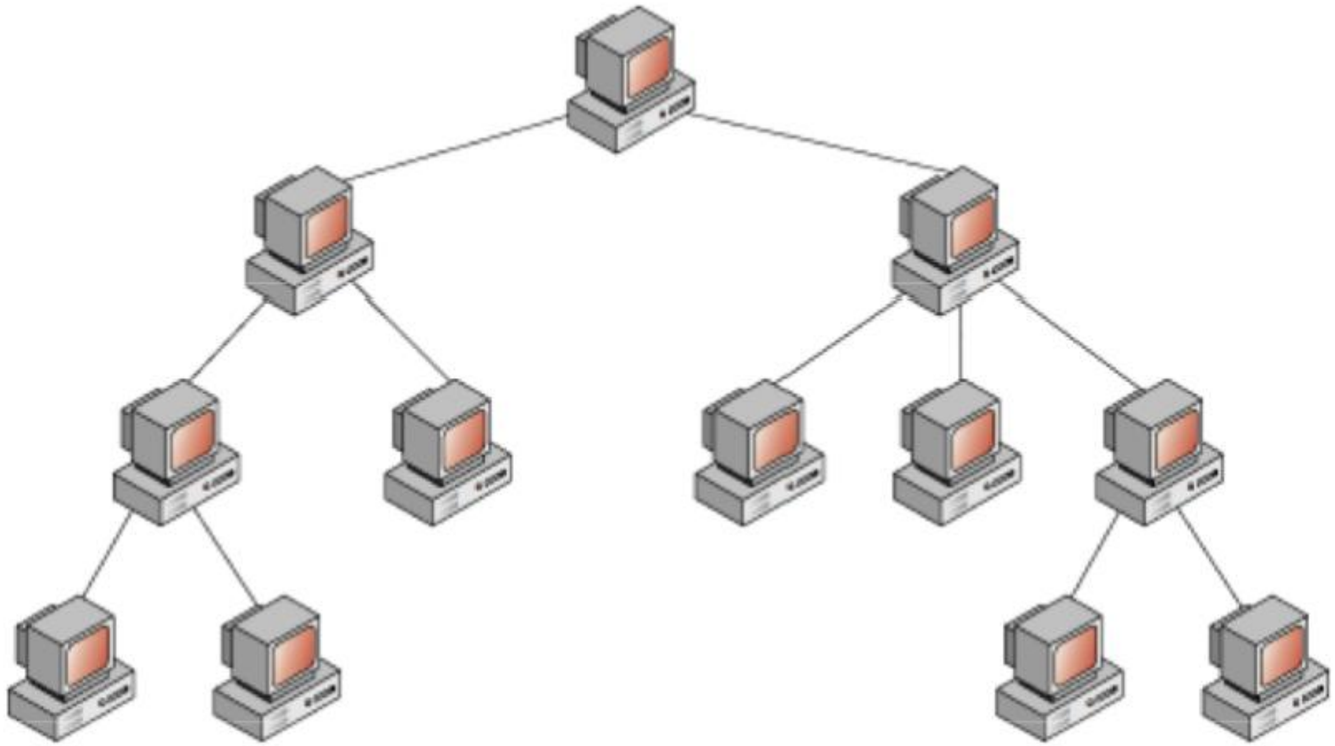
TOPOLOGIA EM BARRAMENTO

- Meio físico forma um barramento linear interligando cada um dos pontos de acesso aos sistemas de cablagem.
- Existem topologias de *bus* duplo.
  - O segundo *bus* permite comunicação bidireccional simultânea.



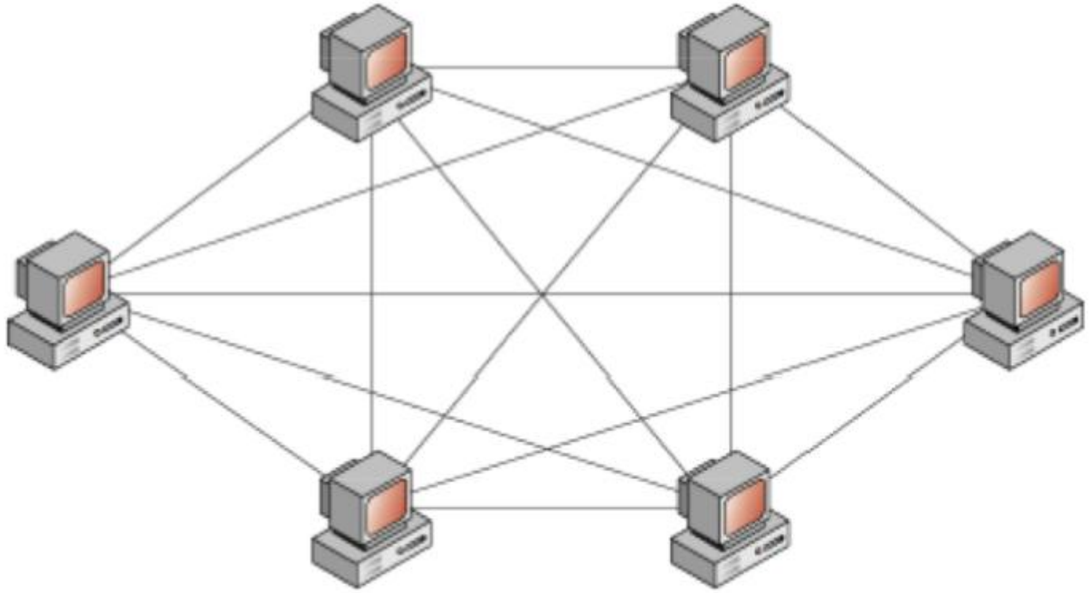
TOPOLOGIA EM ÁRVORE (NÃO É NORMALMENTE UTILIZADO)

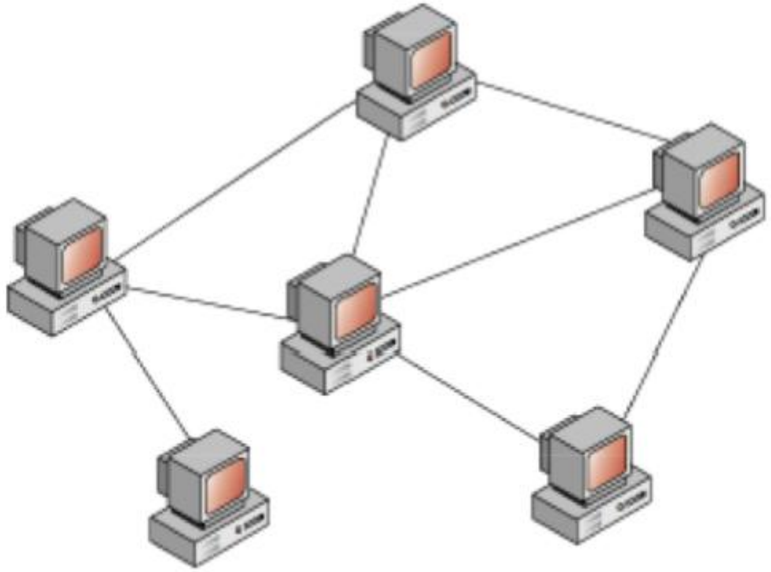




TOPOLOGIA EM MALHA (NÃO É NORMALMENTE UTILIZADO)

- Todos os pontos de acesso encontram-se ligados entre si directamente através do meio físico (malha completa).
- Quando nem todos os pontos de acesso se encontram interligados entre si, a topologia é classificada de malha incompleta.





TOPOLOGIA EM MALHA (NÃO É NORMALMENTE UTILIZADO)

- **Vantagens**
  - Como cada nó está fisicamente ligado a todos os outros nós (ligação redundante), se algum link não funcionar, as informações podem ser transmitidas através de qualquer outro número de outros links para alcançar o seu destino.
  - Permite que as informações sejam transmitidas por muitos caminhos através da rede.

- **Desvantagens**
  - A quantidade de meios para os links e a quantidade de ligações feitas aos links são elevadas.

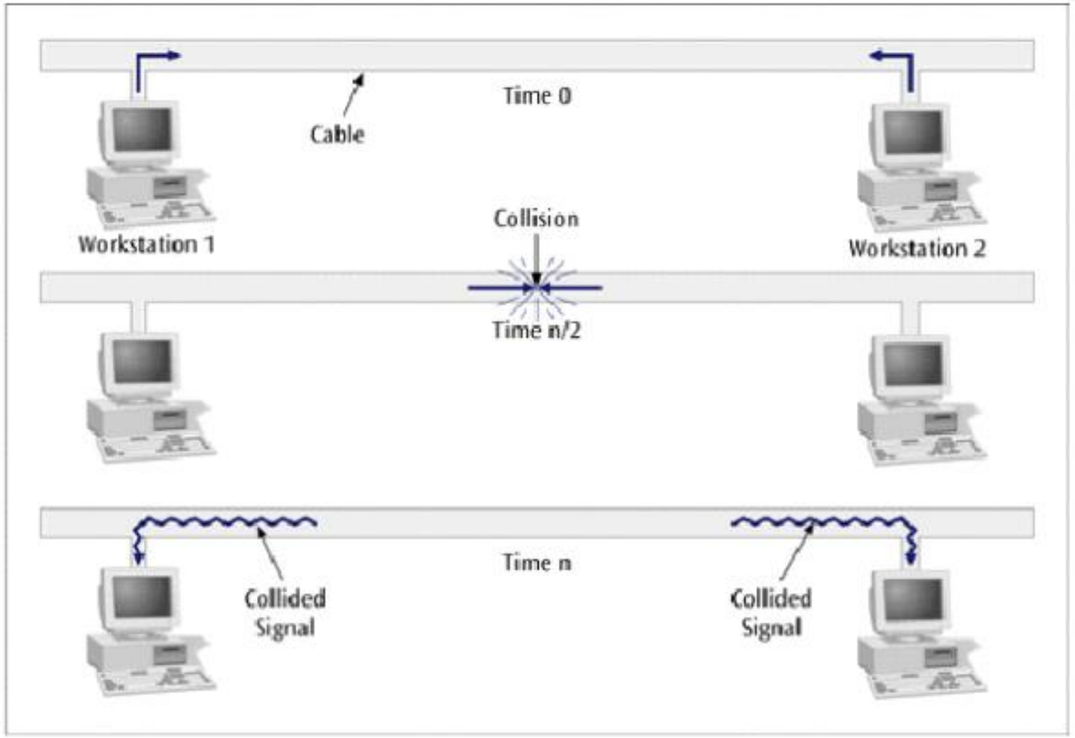
4

MECANISMOS DE CONTROLO DE ACESSO AO MEIO

COLISÕES E DOMÍNIOS DE COLISÃO

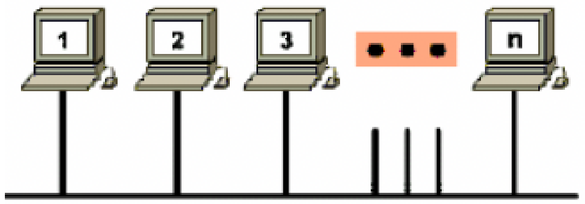
- As LANs normalmente são baseadas num canal de difusão, onde todos ouvem as transmissões e verificam o endereço destino. Só o destinatário é que processa os dados.

- Se dois computadores transmitem simultaneamente, haverá ***colisão*** entre os dados de um com os do outro, com perda irreparável (os dados de cada dispositivo serão afectados).

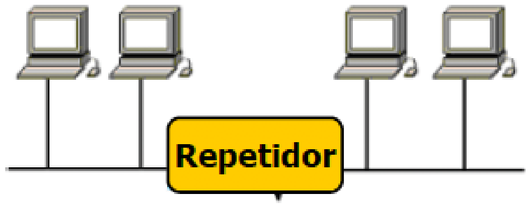


COLISÕES E DOMÍNIOS DE COLISÃO

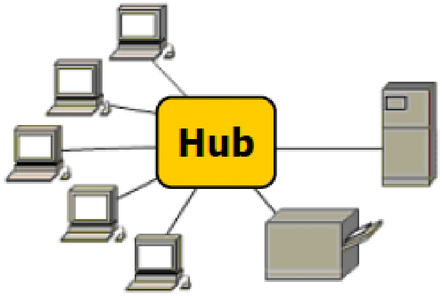
- A área dentro da rede, onde os pacotes de dados foram originados e colididos, é chamada de ***domínio de colisão*** e inclui todos os ambientes de meios compartilhados.
- Um cabo pode estar ligado a outro cabo através de patch cables, patch panels, repetidores e hubs.
- Todas estas interligações da **camada 1** são parte do domínio de colisão.



Domínio de colisão básico



Domínio de colisão estendido por um Repetidor



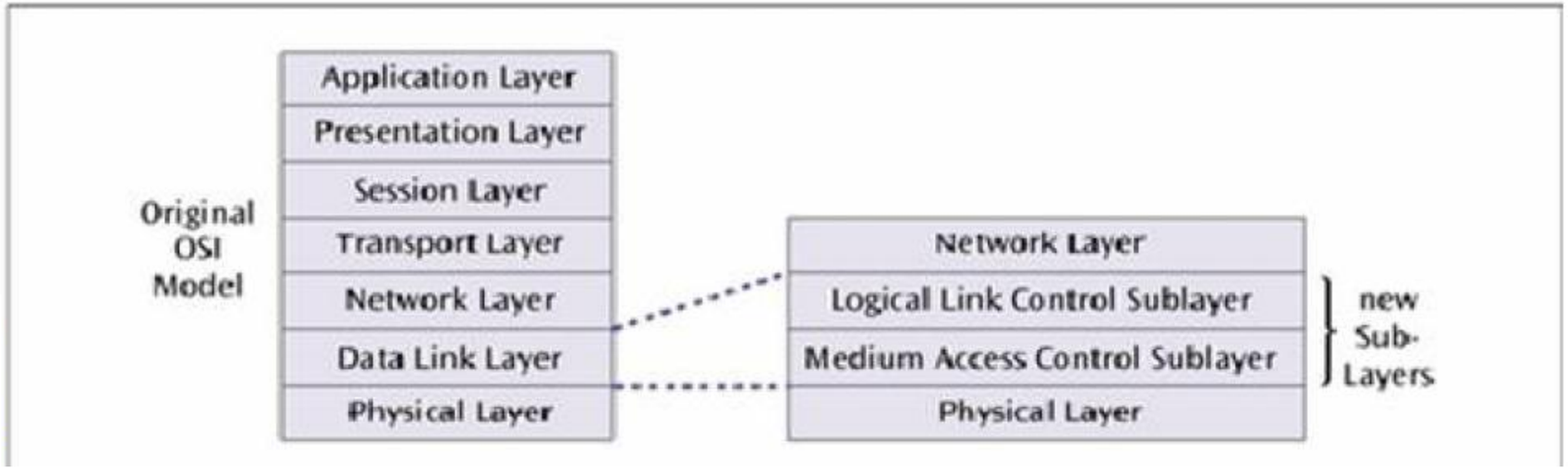
Domínio de colisão estendido por um Hub

COLISÕES E DOMÍNIOS DE COLISÃO

- Para evitar o problema das colisões, a rede deve ter um **sistema que consiga gerir a competição no meio** (***contenção***)!

MÉTODOS DE ACESSO AO MEIO

- Os protocolos de acesso ao meio são o software que permite às estações tomar a vez para a transmissão de dados.
- Os métodos de acesso ao meio são “oferecidos” pela sub-camada 2 MAC.
  - A subcamada absorveu outras funções da camada 2 não especificamente relacionadas com o acesso ao meio:
    - Cálculo e inserção do CRC.
    - Inserção dos delimitadores de inicio e fim.
    - Inserção dos endereços destino e origem.

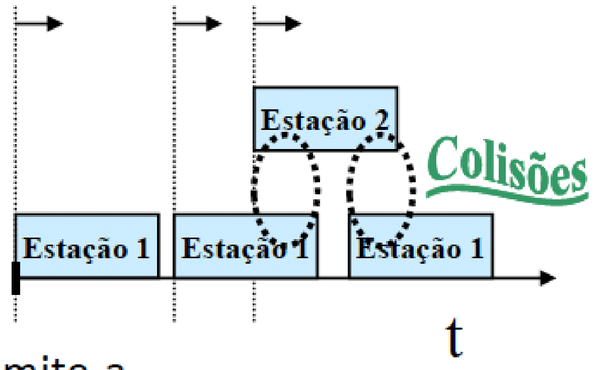


MÉTODOS DE ACESSO AO MEIO

- Existem **duas classes de métodos MAC**:
  - Métodos **com** e **sem** colisões.
  - Acessos **não determinísticos** ou **determinísticos** ao meio de transmissão.

MÉTODOS COM COLISÕES

- **ALOHA**
  - Método desenvolvido pela Universidade de Hawai.
  - É um método do “tipo” força bruta.



  - **Procedimentos**
    - Se uma estação tem uma trama para transmitir transmite-a.
    - Espera um tempo intervalo de tempo pela confirmação da recepção. Aproximadamente o dobro do tempo de propagação entre a estação fonte e a estação destino.
    - Se a confirmação não chegar nesse intervalo de tempo assume que a que algo de errado ocorreu (ex. a trama inicial perdeu-se, a trama de confirmação perdeu-se, ...) e retransmite a trama.
    - Repete até a chegada da confirmação (dentro de um número limite de retransmissões).
  - **Desvantagem**
    - Como não possibilita às estações observarem a actividade na rede, é pouco eficiente, o nº de colisões aumenta drasticamente com a taxa de utilização.

MÉTODOS COM COLISÕES

- **CSMA (Carrier Sense Multiple Access)**
  - Trata-se de um protocolo que permite a partilha do meio de transmissão baseando-se na detecção da existência de uma transmissão em curso (“*Carrier Sense*”).
  - Quando um nó pretende emitir dados, verifica se o meio de transmissão está livre, se for esse o caso procede à emissão.
  - Se o meio de transmissão está ocupado, existem vários algoritmos possíveis:

  - **CSMA não persistente**
    - Se o meio de transmissão está ocupado esperar um período de tempo aleatório e voltar a tentar.

    - A desvantagem é que o meio de transmissão pode estar desocupado enquanto existem dados para transmitir.

MÉTODOS COM COLISÕES

- **CSMA (continuação)**
  - **CSMA 1 persistente**
    - Continuar a escutar o meio até que esteja livre e emitir nesse instante.
    - Se existe mais do que um nó nestas condições ocorre uma colisão, nesse caso espera um período de tempo aleatório e volta a tentar.

MÉTODOS COM COLISÕES

- **CSMA (continuação)**
  - **CSMA p persistente**
    - Este algoritmo tenta diminuir as colisões evitando que o meio de transmissão seja sub-utilizado.
    - Espera até que o meio esteja livre, então transmite com uma probabilidade p, em alternativa espera um período de tempo equivalente ao atraso máximo de propagação no meio de transmissão e volta ao inicio.
    - Mesmo a técnica p-persistente não resolve totalmente os problemas, por um lado continuam a existir colisões e por outro continuam a existir instantes em que o meio não é utilizado e existem dados à espera para ser emitidos.

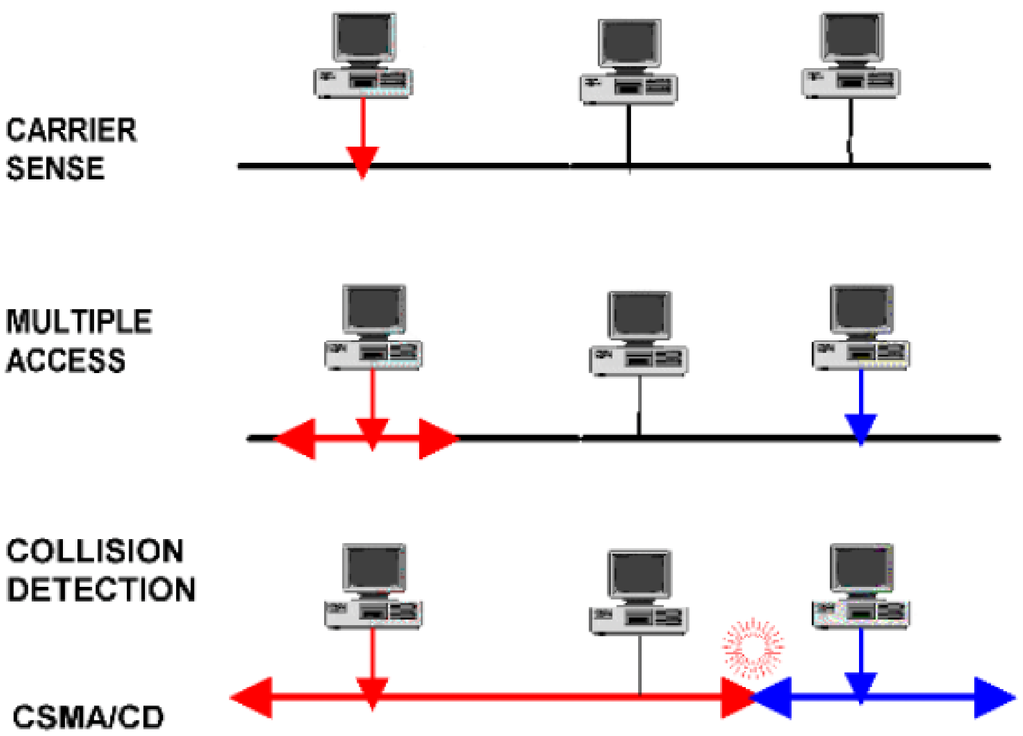
MÉTODOS COM COLISÕES

- O que acontece se, na ausência de portadora, dois computadores decidem transmitir simultaneamente?
  - **Colisão (interferência)! Solução?**

- **CSMA/CD** (Carrier Sense Multiple Access / **Collision Detection**)
  - Quando duas ou mais estações transmitem no mesmo instante as colisões são detectadas e abortada a transmissão da trama. Todas as estações (do mesmo domínio de colisão) são notificadas da existência da colisão. As estações envolvidas na colisão esperam algum tempo antes de tentarem novamente transmitir.
  - Mas se ambos computadores esperarem o mesmo tempo para retransmitir… nova colisão!
  - A solução é usar um *delay* com valor máximo *d* (aleatório). Se existir nova colisão, dobra-se o *delay*.
    - ***Binary Exponential Backoff*:** é a designação do acto de quando se dobra o tempo de *delay* após cada colisão.

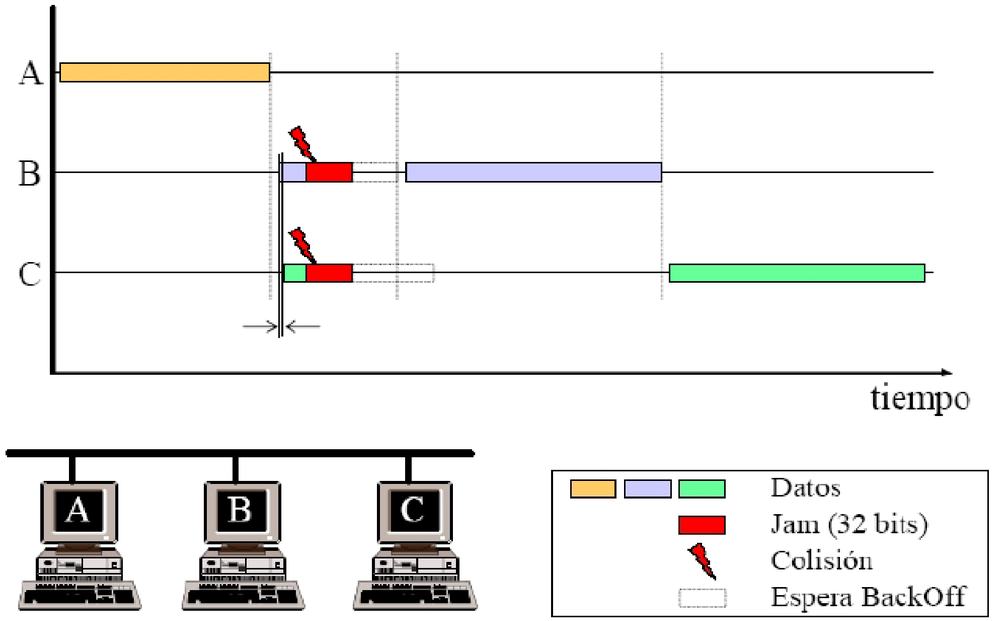
MÉTODOS COM COLISÕES

- **CSMA/CD (continuação)**
  - **1 -** Escuta do meio
  - **2 -** Transmissão
  - **3 -** Detecção de colisão
  - **4 -** Em caso de colisão, *backoff* e retransmissão



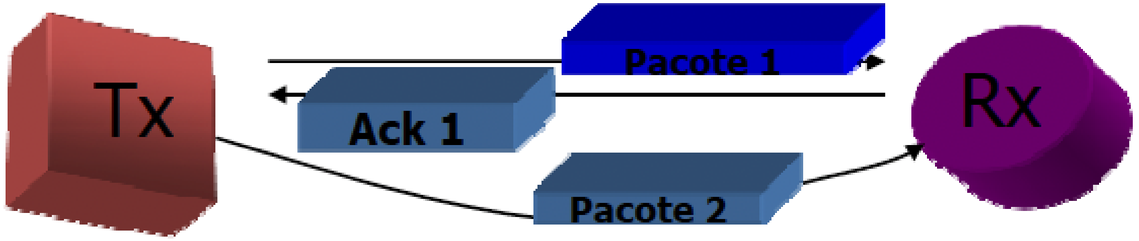
MÉTODOS COM COLISÕES

- **CSMA/CD (continuação)**
  - Quando um dispositivo detecta uma colisão deixa de transmitir a trama que estava a transmitir.
  - A seguir reforça essa colisão com um sinal de 32 bits (*jam signal*), de modo a que todos os outros dispositivos do mesmo domínio de colisão se apercebam que está a existir uma colisão.



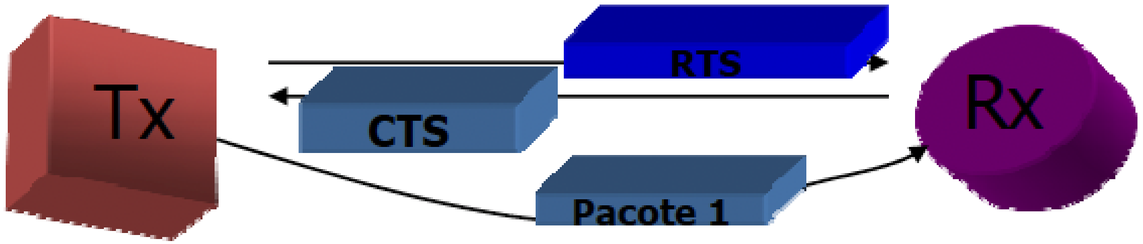
MÉTODOS COM COLISÕES

- **CSMA/CA** (Carrier Sense Multiple Access / **Collision Avoidance**)
  - Similar ao CSMA/CD, as estações escutam o meio e somente transmitem quando o meio está livre:
  - **1 - Procedimento PCSM (Physical Carrier Sense Method)**
    - Somente Tx o próximo pacote após a confirmação (ACK) do anterior (*Stop and Wait*).
    - O tempo de espera pela confirmação é suficientemente pequeno para não monopolizar o meio.



MÉTODOS COM COLISÕES

- **CSMA/CA (continuação)**
  - **2 - Procedimento VCSM (Virtual Carrier Sense Method)**
    - Antes de Tx a estação faz um pedido requerendo a permissão de transmissão - RTS (*Request to Send*).
    - Se o destinatário responder com CTS (*Clear to Send*), todas as estações em redor escutam o CTS e permanecem "silenciosas" durante o intervalo de tempo especificado no CTS.

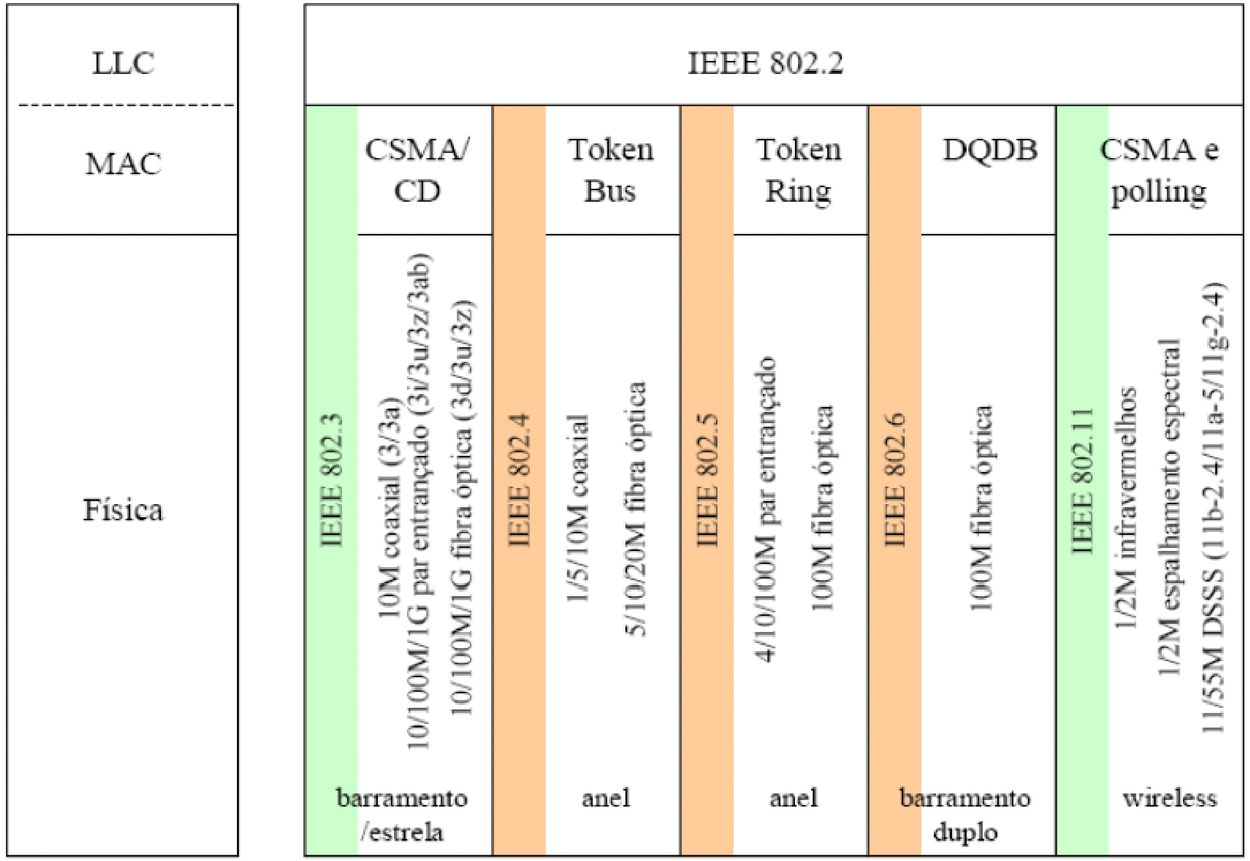


5

TECNOLOGIAS DE ACESSO

NORMAS IEEE

- **A Ethernet e as outras LANs**
  - **Normas IEEE 802.x**



O IEEE definiu um conjunto de normas para as redes locais (LANs) assentes nos protocolos de acesso ao meio antes estudados.

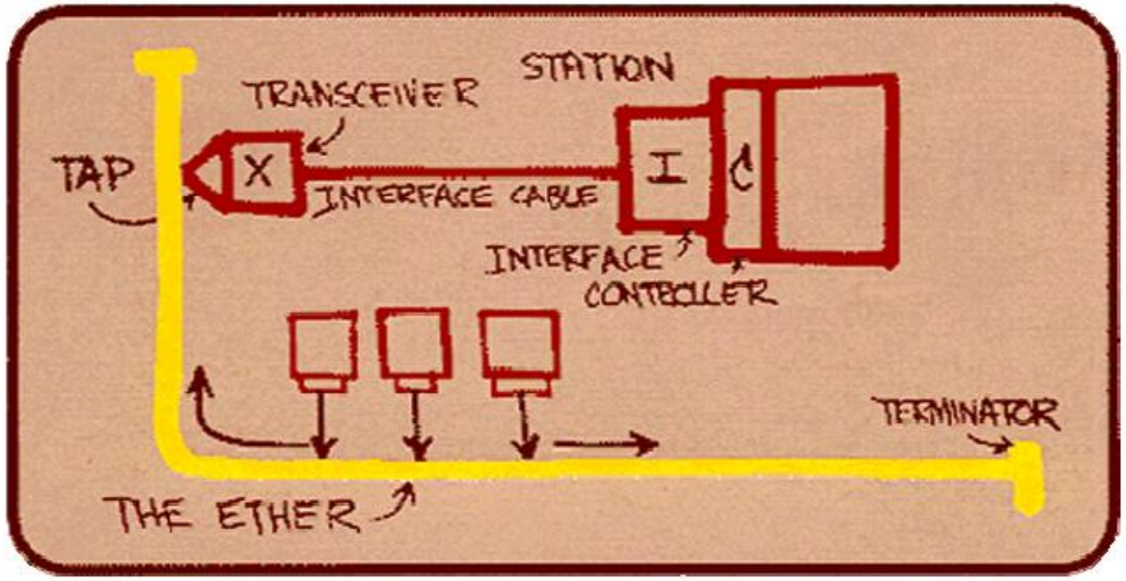
Diferem a nível físico e de acesso ao meio, mas com um interface de nível 2 superior compatível.

ETHERNET

A tecnologia Ethernet

- A tecnologia Ethernet foi desenvolvida pela Xerox, Intel e DEC, nos meados da década de 70, na sequência da sua invenção por Bob Metcalfe e David Boggs, da Xerox em 1973.

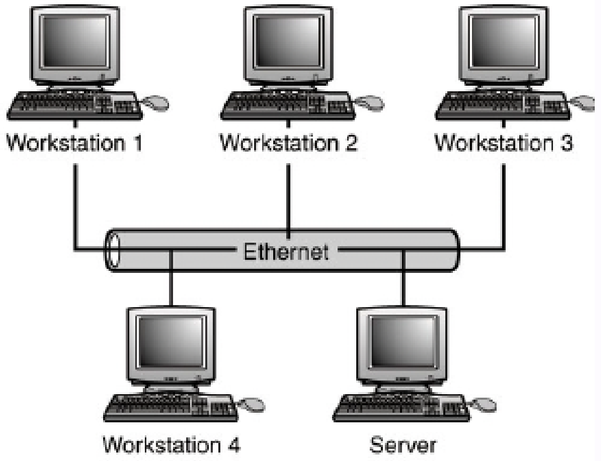
- Desenho original de Bob Metcalfe:



- Posteriormente normalizada pelo IEEE (IEEE 802.3) e pela ISO (ISO 8802-3).

ETHERNET

- **A tecnologia Ethernet (IEEE 802.3)**
  - É a tecnologia dominante nas redes locais.
    - Baixos custos.
    - Simplicidade de instalação, utilização e manutenção.
    - Fiabilidade.
  - É uma família de tecnologias.
    - Vários meios físicos diferentes (cobre, fibra óptica, ...).
    - Velocidades diferentes (desde 3 Mbit/s a 10 Gbit/s).
    - Formato da trama igual.
    - Endereçamento igual.
    - Simplicidade de interligação entre tecnologias Ethernet diferentes.

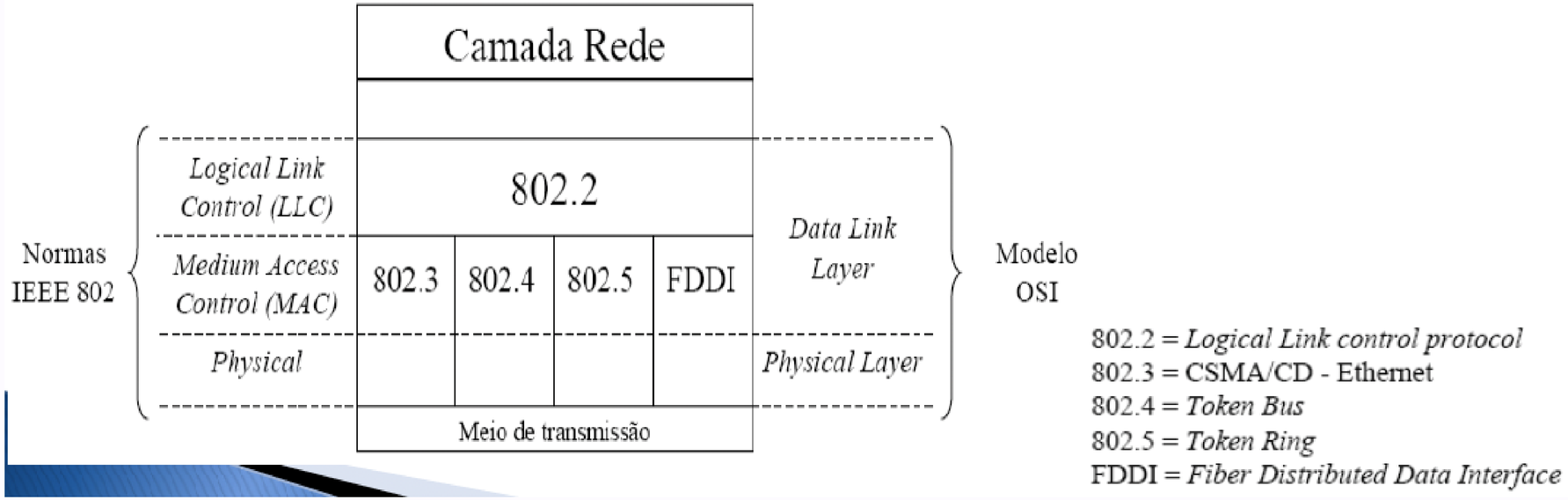


ETHERNET

A Ethernet e o Modelo OSI

- As normas 802.3 definem procedimentos que se enquadram na camada física e subcamada MAC – *Medium Access Control* da camada de ligação de dados do modelo OSI.

- A subcamada LLC – *Logical Link Control* não é específica das normas Ethernet e é usada para ligar as diversas tecnologias de LAN.



ETHERNET

Endereços MAC

- Numa rede Ethernet, quando um dispositivo quer enviar dados para outro dispositivo, abre um caminho de comunicação com o outro dispositivo usando o seu endereço físico, designado de endereço MAC.
- Os endereços MAC são gravados usando-se números hexadecimais.
- São números constituídos por 6 octetos (48 bits).
  - Os primeiros 3 octetos identificam o fabricante do dispositivo.
  - Os 3 octetos finais são um número de série, dentro desse fabricante.
- Não existem dois dispositivos com o mesmo endereço MAC.
- Estes endereços não têm qualquer significado geográfico, topológico ou organizacional.

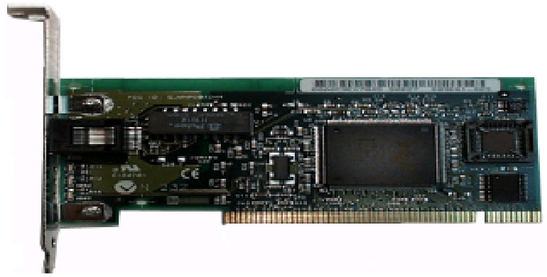
00:FA:01:45:0A:FF

48 bits

24 bits únicos que identificam o fabricante

24 bits atribuídos pelo fabricante

Placa de rede



ETHERNET

IEEE 802.3 – Formato da trama MAC

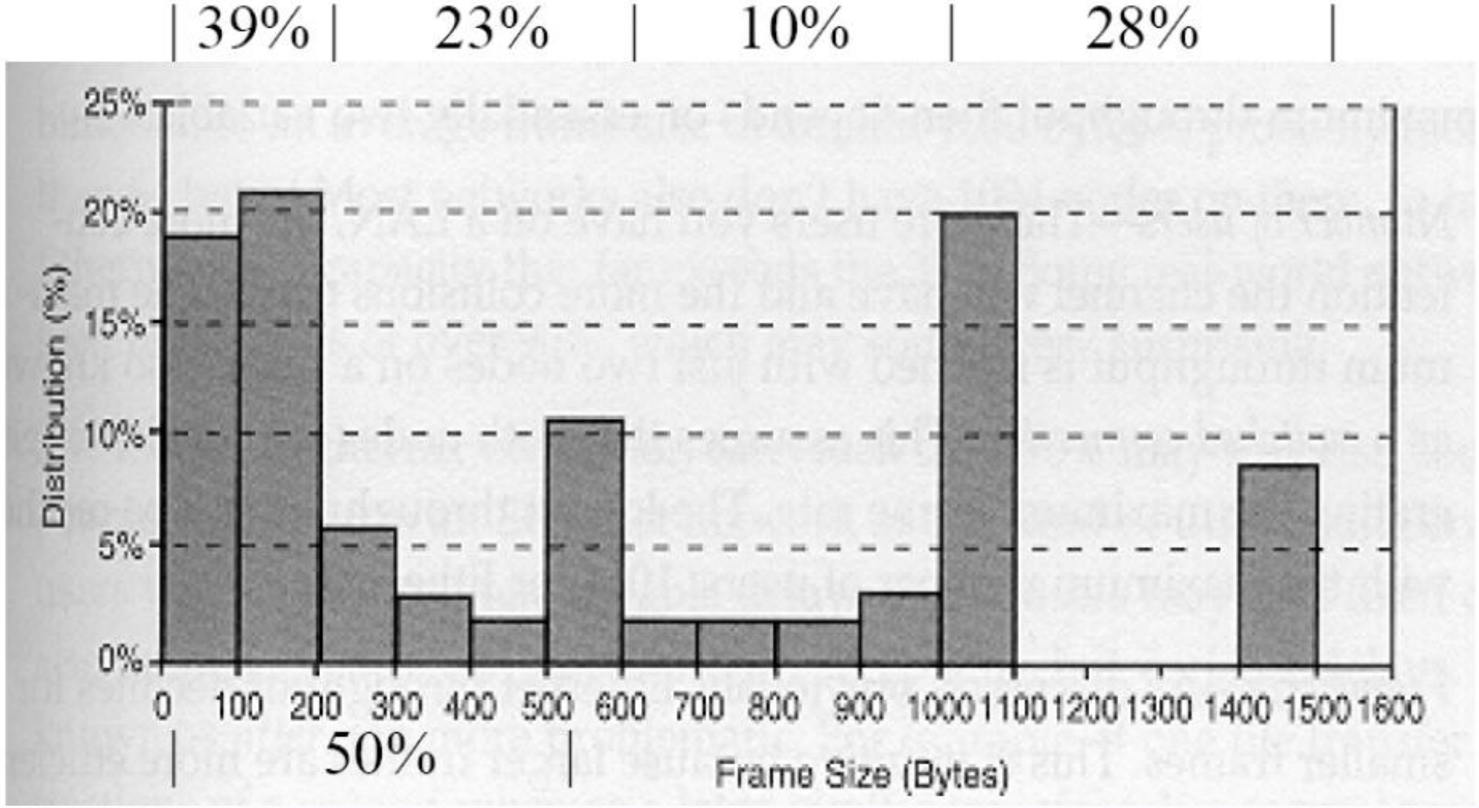
Figure 7-18
Frame format for IEEE 802.3 CSMA/CD

Preamble	Start of Frame Byte	Destination Address	Source Address	Data Length	Data	Pad	Checksum
7 bytes of 10101010	10101011	2 or 6 bytes	2 or 6 bytes	2 bytes	0–1500 bytes	0–46 bytes	4 bytes

- **Preamble:** Sequência de 1s e 0s alternados (sincronização do receptor).
- **Start Frame Delimiter:** Delimitador de inicio de trama.
- **Destination/Source Address:** Endereços MAC do nó destino/fonte (6 bytes).
- **Length:** Comprimento (bytes) dos dados (campo **Type** na tecnologia Ethernet II - identificação do protocolo superior).
- **Data:** Campo de dados da camada superior.
- **Pad:** Garantir o comprimento mínimo da trama (64 bytes excluindo Preamble e SFD).
- **Frame Check Sequence (Checksum):** Código detector de erros (CRC-32) - *CRC (DA, SA, Len, Data, Pad)*.

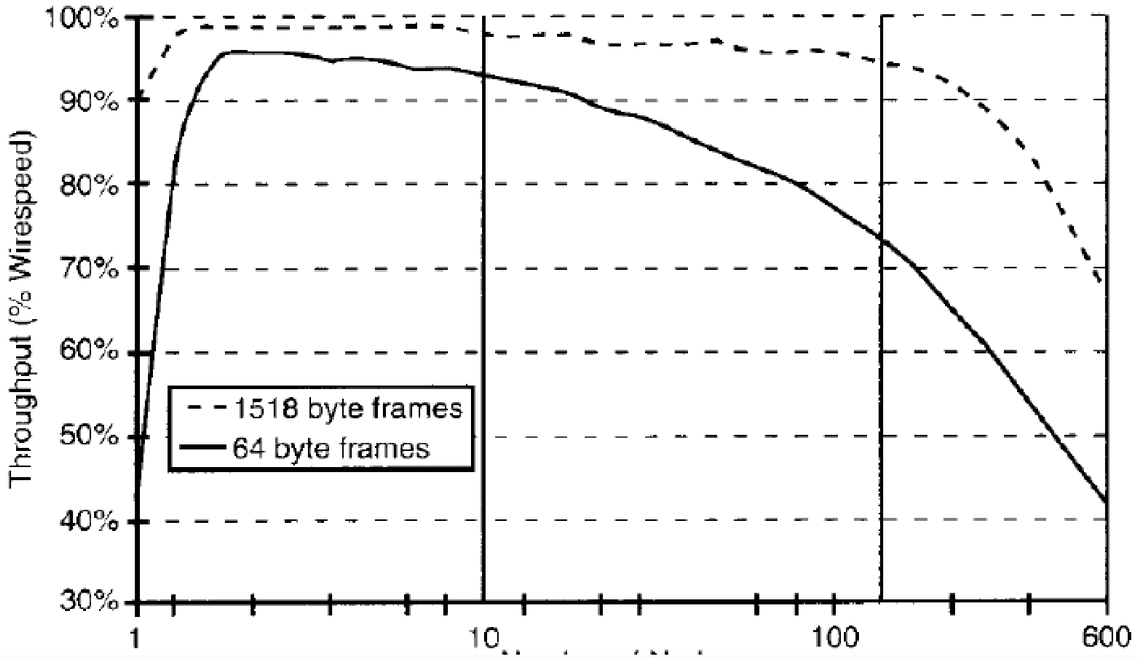
ETHERNET

- **Tipo de tráfego da Ethernet**
  - **Distribuição em função do comprimento da trama**



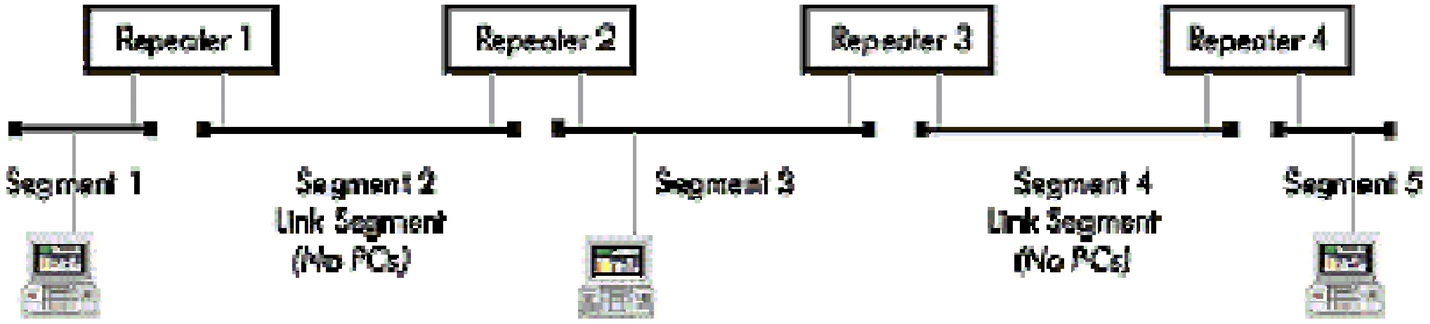
ETHERNET

- **Problemas da Ethernet**
  - **Baixa eficiência em carga**
    - O desempenho do CSMA/CD degrada-se muito com o aumento do número de máquinas por domínio de colisão e do tráfego.
    - Muitas colisões – desperdício de largura de banda.



ETHERNET

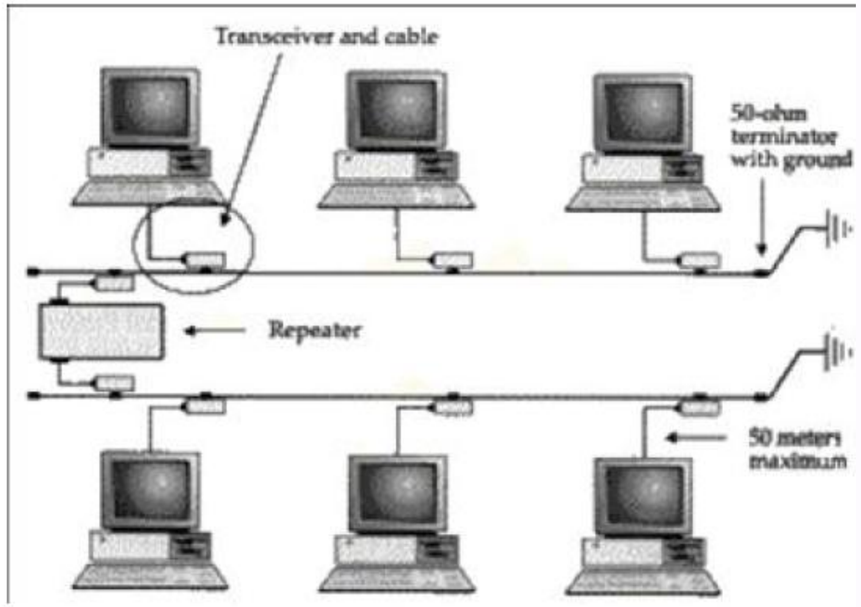
- **IEEE 802.3 – Limites**
  - **Limites máximos da dimensão da rede** (definidos para a norma mais restritiva: 10BASE5)
    - 5 segmentos ligados por 4 repetidores
    - 3 segmentos com máquinas
    - 2 IRL (*Inter-Repeater Link*) – ponto a ponto
    - 1 domínio de colisão com 1024 máquinas



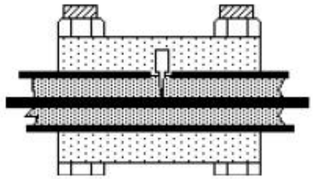
ETHERNET

Especificações da Ethernet 10BASE5

- 10 Mbit/s.
- Banda base.
- Topologia BUS.
- Cabo coaxial grosso 50 ohm; Conectors tipo N.
- 500 metros máximo por segmento.
- O número máximo de repetidores é 4.
- Cada segmento deve possuir um terminador tipo-N 50 ohm.
- Uso de *transceivers* para ligar ao cabo coaxial.
- Cada carta deverá possuir um ficha fêmea DIX (ou AUI ou DB 15; 15 pinos).
- A distância máxima entre o *transceiver* e a estação é 50 m.
- O número máximo de estações por segmento é 100.
- Não permite full-duplex.



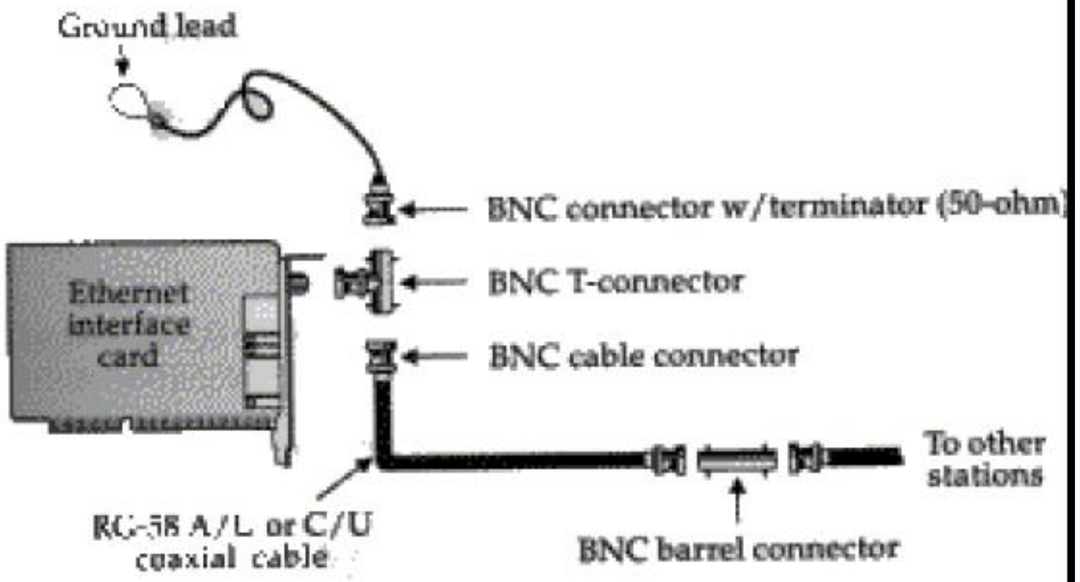
TRANSCEIVER:
Ligação por método "clamping"



ETHERNET

Especificações da Ethernet 10BASE2

- 10 Mbit/s.
- Banda base.
- Topologia BUS.
- 185 metros máximo por segmento.
- Cabo coaxial fino (RG-58) e fichas BNC (Não necessita de *transceivers)*.
- Carta com ficha BNC fêmea.
- Os segmentos são equipados com fichas BNC macho.
- Máximo de 30 estações por segmento.
- Número máximo de repetidores é 4.
- Um terminador de 50 ohm em cada extremidade. Apenas um deles ligado à terra.
- Não permite full-duplex.

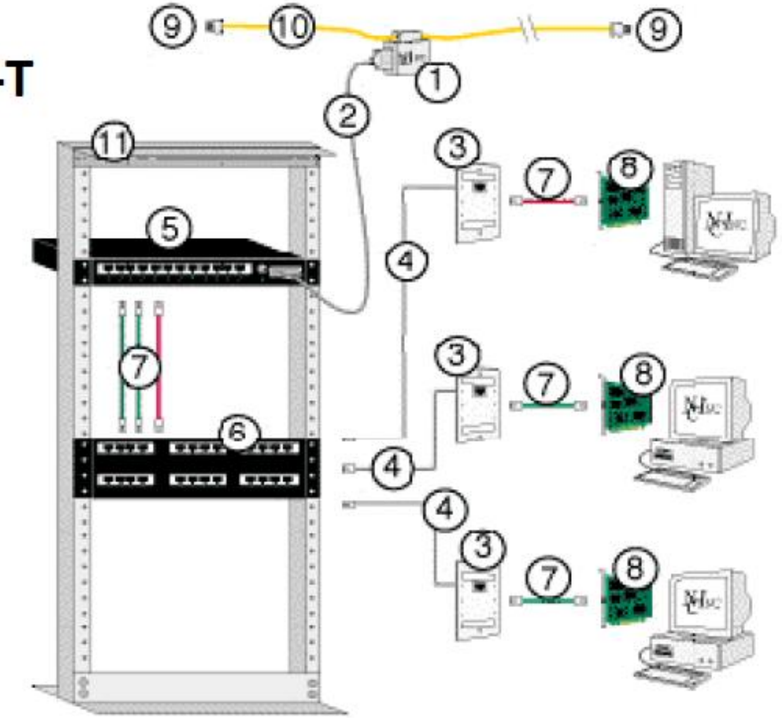


Ligação de uma carta ao cabo 10BASE2.

ETHERNET

Especificações da Ethernet 10BASE-T

- 10 Mbit/s.
- Banda base.
- Topologia Estrela.
- Cabo UTP de categoria 3, 4 ou 5; RJ 45
- A distância máxima entre o Hub e a estação é 100 m.
- O número máximo de hubs/repetidores é 4.
- Máximo de 1024 estações por segmento.
- Podem-se ligar vários Hubs em *daisy-chain* => dezenas ou centenas de portas.
- Permite full-duplex (ponto a ponto).



Legenda:

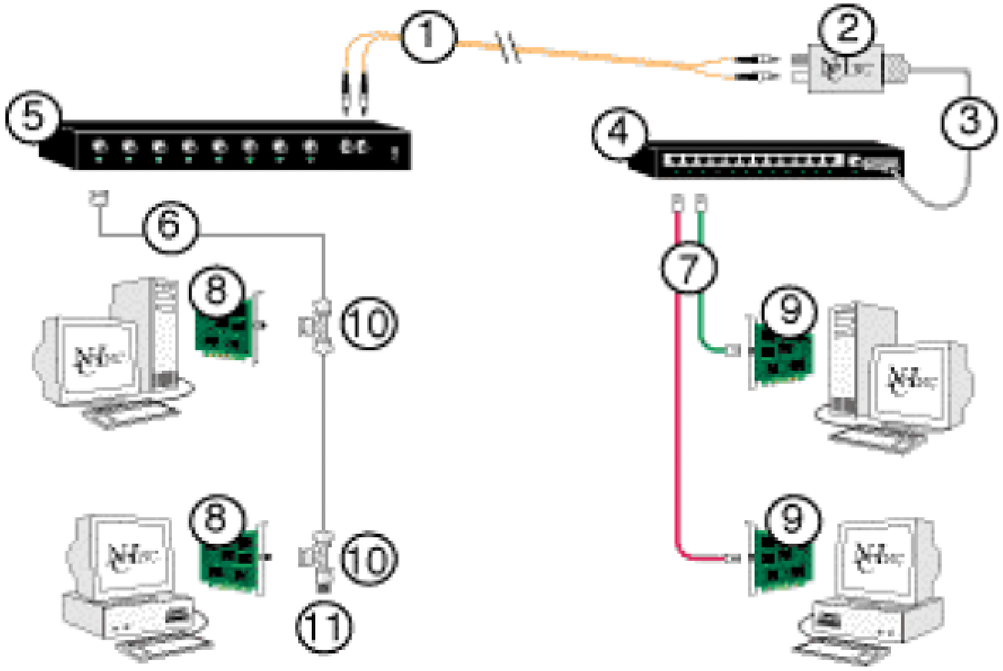
1. Transceiver externo
2. Transceiver Cable
3. Cat 5 Wallplate Assembly
4. Cat 5 UTP Cable
5. 10 Base-T Hub
6. Patch Panel
7. Cat 5 Color Coded Patch Cables
8. 10 Base-T RJ45 Network Card
9. 50 Ohm Terminator
10. Thick Ethernet Trunk Cable
11. Rack

ETHERNET

- **Especificações da Ethernet 10BASE-F**
  - 10 Mbit/s.
  - Banda base.
  - Ligação entre departamentos.
  - Permite full-duplex (ponto a ponto).
  - **Principais configurações:**
    - **10BASE-FL (*Fiber Link*)**
      - Ligação ponto a ponto/estrela.
      - Pode interligar estações ou repetidores ou estação e um repetidor até 2 Km.
      - Número máximo repetidores é 4.
    - **10BASE-FB (*Fiber Backbone Link*)**
      - Ponto a ponto/estrela.
      - Pode interligar repetidores até 2 Km.
      - Não permite ligação entre estações (em desuso).
      - Número máximo repetidores é 4.

ETHERNET

- **Especificações da Ethernet 10BASE-F (continuação)**
  - Não existe nem interferência electromagnética, nem por rádio frequência. Oferece também melhores condições de segurança.
  - **10BASE-FL (*Fiber Link*)**



FAST ETHERNET

- **Objectivos:**
  - Manter o mesmo protocolo de nível MAC da Ethernet.
    - Para detectar colisões é necessário que o comprimento mínimo da trama seja suficiente para encher de bits todo o comprimento da rede duas vezes (*slot time*).
  - Aumentar a velocidade de transmissão para **100 Mbps**.
  - O comprimento ocupado por um bit no meio diminui 10 vezes.

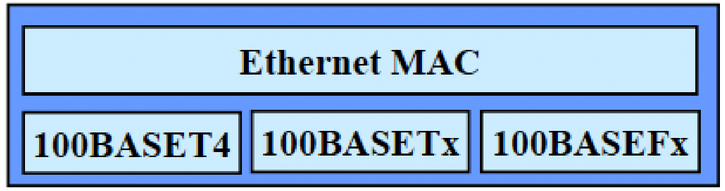
- **Características:**
  - Definido na norma IEEE 802.3u (1995).
  - Diferentes meios físicos: UTP 3, UTP 5, fibra óptica.

FAST ETHERNET

- **Fast Ethernet *vs* Ethernet**
  - **Vantagens:**
    - Débito superior.
    - Baixo custo.
    - Capacidade de auto-negociação do débito a utilizar (10 ou 100 Mbps).
    - Funcionamento em full-duplex.
    - …

FAST ETHERNET

- **Existem duas normas para LANs a 100 Mbit/s:**
  - **1. Fast Ethernet 100BASE-X**
    - Abordagem em que é feita a manutenção das 802.3 exactamente iguais, mas com velocidades maiores.
    - A norma IEEE 802.3u define três configurações: 100BASE-TX, 100BASE-T4 e 100BASE-FX.



"**T4**" - 4 pares

"**Tx**" - 2 pares

"**Fx**" - 2 F.O.

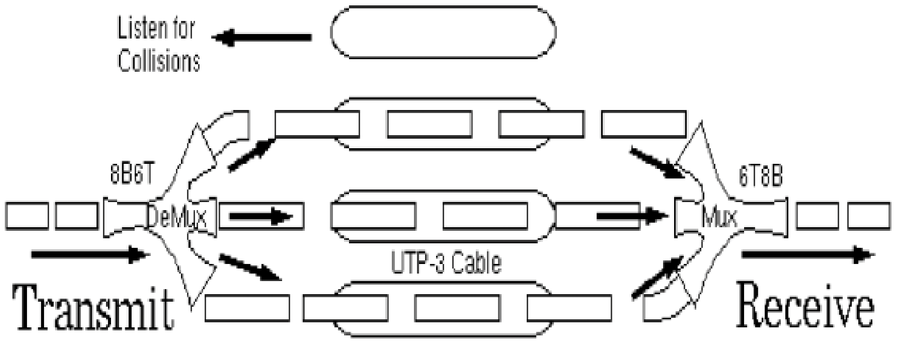
  - **2. 100VG AnyLan**
    - Criar um mecanismo MAC inteiramente novo, com base em hubs que controlam o acesso por um mecanismo de prioridades.
    - Norma IEEE 802.12.

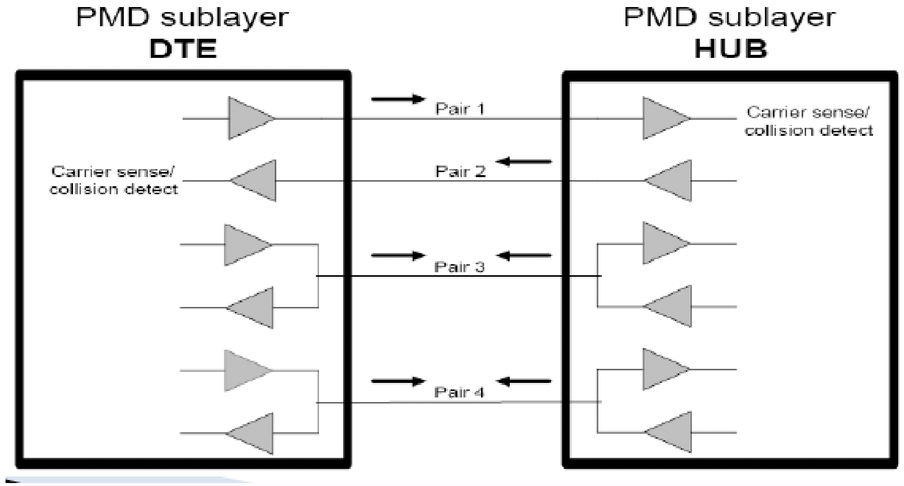
FAST ETHERNET

- **Especificações da Fast Ethernet 100BASE-T4**
  - 100 Mbit/s.
  - Topologia Estrela.
  - Número máximo de repetidores é 1.
  - Comprimento máximo dos segmentos é 100 m.
  - 4 Pares de fio (UTP categoria 3, 4 ou 5).
    - 1 para transmissão, 2 para transmissão/recepção e 1 para recepção e CS/CD.
  - Conectores ISO 8877 (RJ45).
  - Colisões são detectadas se houver sinal no par só de recepção.
  - Distância máxima *hub* - máquina: 100 m.
  - Só suporta modo *half-duplex (shared).*
  - Velocidade de sinalização: 25 MBaud (100 Mbps / 3 pares x 6/8 codif.).
  - Codificação: 8B6T.

FAST ETHERNET

- **Especificações da Fast Ethernet 100BASE-T4 (continuação)**
  - Multiplexagem do sinal por 3 pares UTP 3.
  - Detecção de colisões no outro par UTP 3.



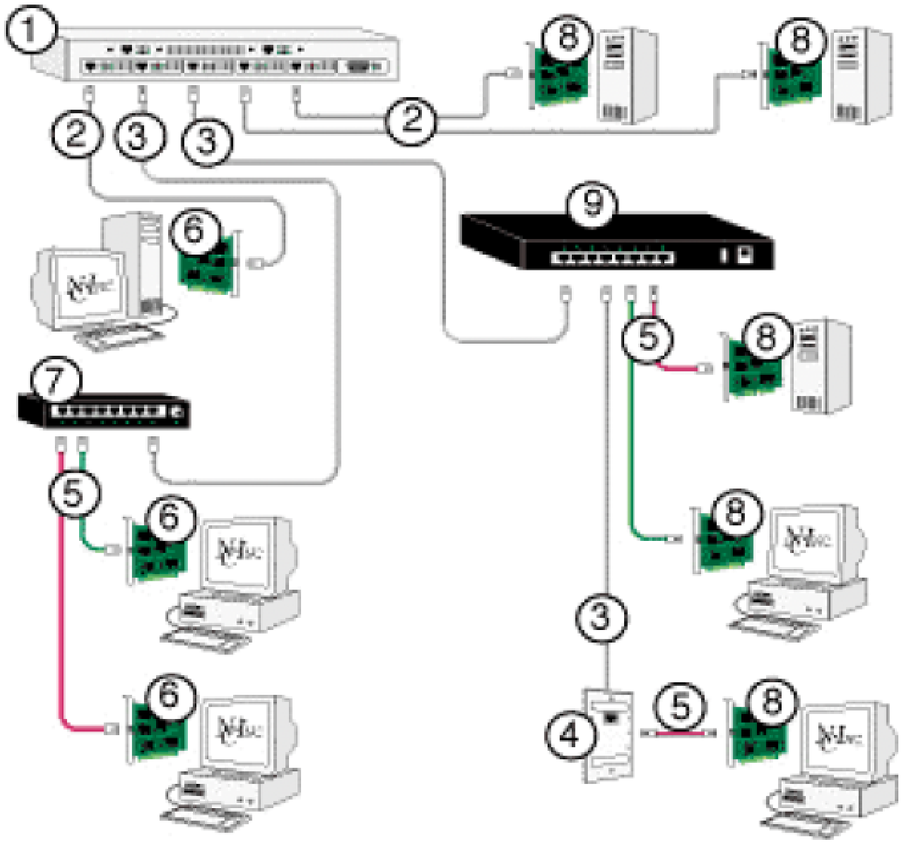


FAST ETHERNET

- **Especificações da Fast Ethernet 100BASE-TX**
  - 100 Mbit/s.
  - Topologia Estrela.
  - Número máximo de repetidores é 1.
  - Comprimento máximo dos segmentos é 100 m.
  - 2 Pares de fio (UTP categoria 5, STP).
    - 1 para transmissão e 1 para recepção.
  - Conectores ISO 8877 (RJ45).
  - Colisões são detectadas se houver sinal no par de recepção.
  - Distância máxima *hub* - máquina: 100 m.
  - Velocidade de sinalização: 125 MBaud (4B5B).
  - Codificação física: 4B/5B - *scrambler* - MLT-3.
  - Suporte de *full-duplex*.

FAST ETHERNET

- **Especificações da Fast Ethernet 100BASE-TX (continuação)**



Ex. combinação 10baseT e 100baseT

1. 10/100 Mbps Ethernet Switch
2. Cross Pinned Cat5 UTP Cable
3. Straight Pinned Cat5 UTP Cable
4. Cat 5 Wallplate Assembly
5. Cat 5 Color Coded Patch Cables
6. 10 Base-T Network Card
7. 10 Base-T Ethernet Hub
8. 100 Base-T Network Card
9. 100 Base-T Fast Ethernet Hub

FAST ETHERNET

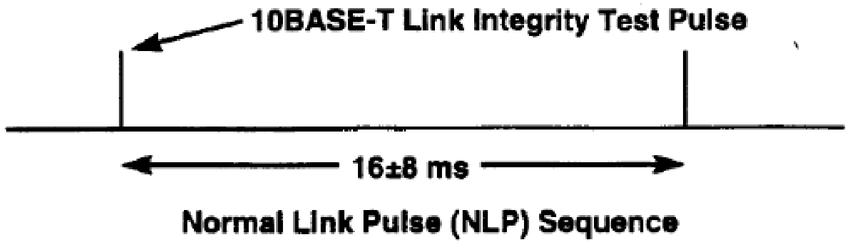
- **Especificações da Fast Ethernet 100BASE-FX**
  - 100 Mbit/s.
  - Topologia Estrela.
  - Número máximo de repetidores é 1.
  - Comprimento máximo dos segmentos é 160 m.
  - 2 fibras ópticas multimodo 62.5/125 micron.
    - Uma em cada direcção.
  - Conectores ST ou SC.
  - Distância máxima *hub* - máquina: 200 m; máquina - máquina: 400 m.
  - Velocidade de sinalização: 125 MBaud.
  - Colisões são detectadas se houver sinal nas 2 fibras.
  - Codificação física: 4B/5B - NRZI - (Sinalização contínua).
  - Suporte de *full-duplex*.

FAST ETHERNET

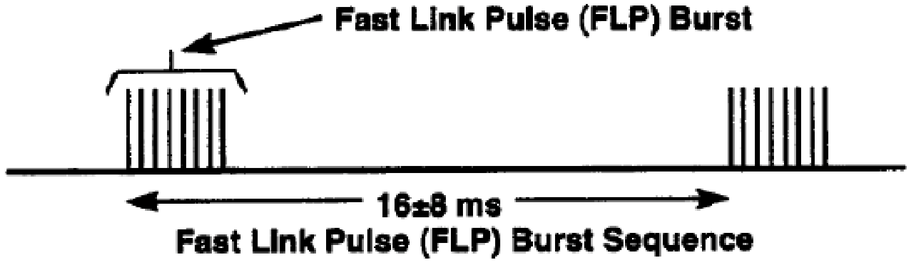
- **Especificações da 100VG AnyLan (IEEE 802.12)**
  - 100 Mbit/s.
  - MAC completamente novo (***Demand Priority***).
    - É concedido o acesso ao meio à estação que tiver prioridade mais elevada.
    - Caso prioridades iguais, concede o acesso à que chegou em primeiro lugar.
    - Diferenciação de tráfego.
  - A trama é a mesma que na Ethernet.
  - Compatibilidade com redes Ethernet e Token Ring.
  - UTP, S/UTP e STP de categoria 4 ou superior, fibra óptica multimodo.
  - Tecnologia cara, menos madura que a Ethernet (não se impôs no mercado).

FAST ETHERNET

- **Fast Ethernet (continuação)**
  - **Auto-Negociação**
    - **Características**
      - Escolha entre 10 Mbps ou 100 Mbps.
      - Escolha entre *half* e *full-duplex.*
      - Só existe para UTP 5.
    - **Funcionamento**
      - Quando a interface é inicializada são enviados trens de impulsos LT a 100 Mbps (FLP) que são interpretados pelas estações a 10 Mbps como um único impluso LT. Em cada trem de impulsos:
        - os impulsos impares estão sempre presentes;
        - os impulsos pares representam 1 bit de informação de negociação.



Normal Link Pulse (NLP) Sequence



Fast Link Pulse (FLP) Burst Sequence

GIGABIT ETHERNET

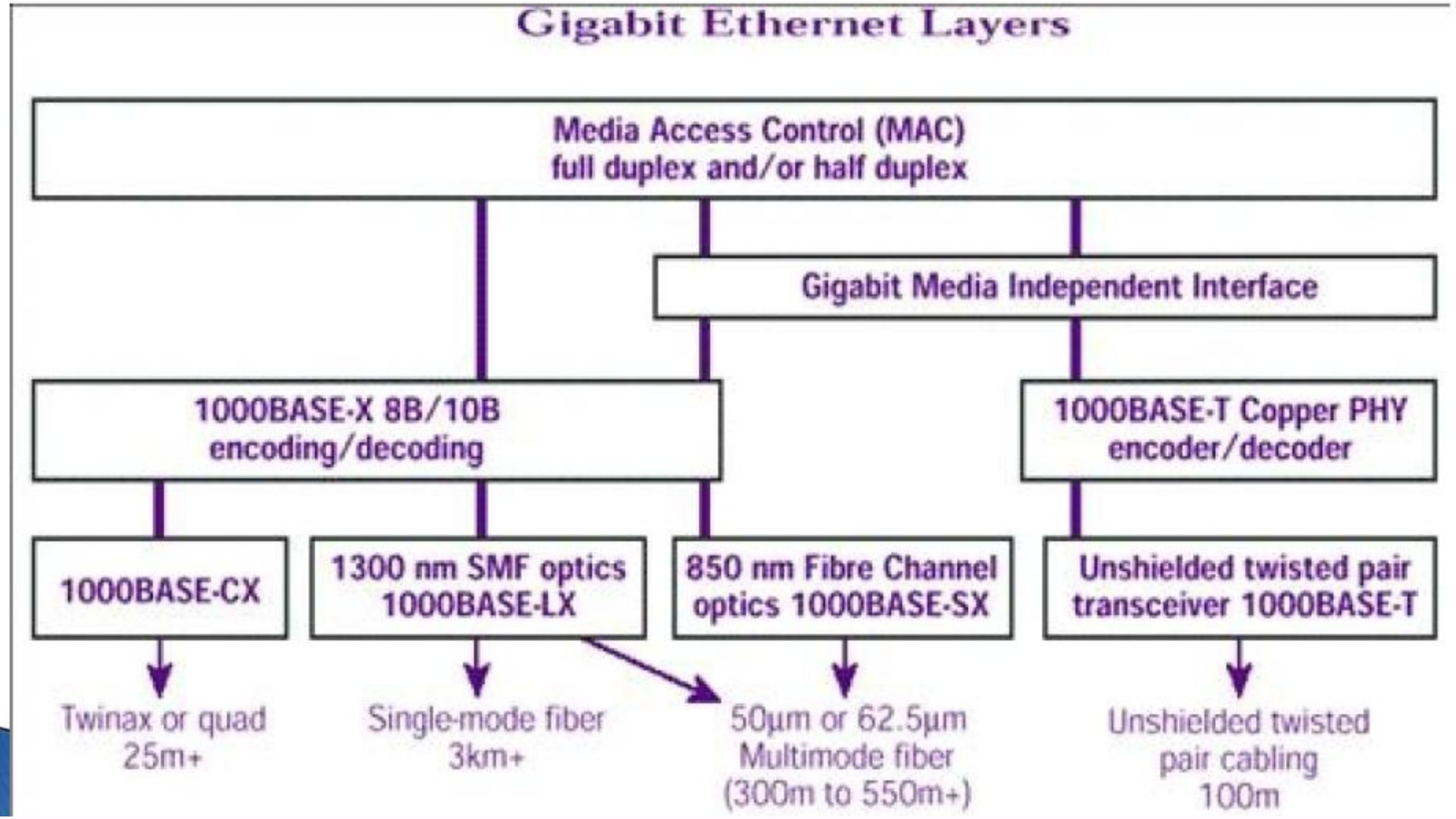
Gigabit Ethernet

- **Objectivos**
  - Ligação entre equipamentos activos (*Switches, Routers*).
  - Ligação a estações de trabalho de alto desempenho.
  - Manter o mesmo protocolo de nível MAC da *Fast Ethernet.*
  - Compatibilidade com o formato e tamanho de trama das tecnologias Ethernet a 10 e 100 Mbps.
  - Mesmos mecanismos de controlo de fluxo (half-duplex e full duplex a 1 Gbps).
  - Aumentar a velocidade de transmissão para 1000 Mbps.
    - O comprimento ocupado por um bit no meio diminui 10 vezes.

- **Características**
  - Definido na norma IEEE 802.3z (1998/06) para fibra óptica.
  - Definido na norma IEEE 802.3ab (1999/06) para UTP 5.
  - Define modo *Shared* e *Full-Duplex.*
    - **Na prática só se usa *Full-Duplex.***

GIGABIT ETHERNET

- **Modelo**



GIGABIT ETHERNET

- **Especificações da Gigabit Ethernet 1000BASE-SX (*Short Wavelength*)**
  - IEEE 802.3z.
  - *Backbones* dos *campus*, *backbones* entre andares *(switch* a *switch)*.
  - Fibra óptica multimodo.
    - 2 fibras ópticas: Tx e Rx.
  - Conectores SC.
  - Distância máxima *switch* - máquina: 550 m.
  - Velocidade de sinalização: 625 MBaud.
  - Codificação: 8B/10B.

GIGABIT ETHERNET

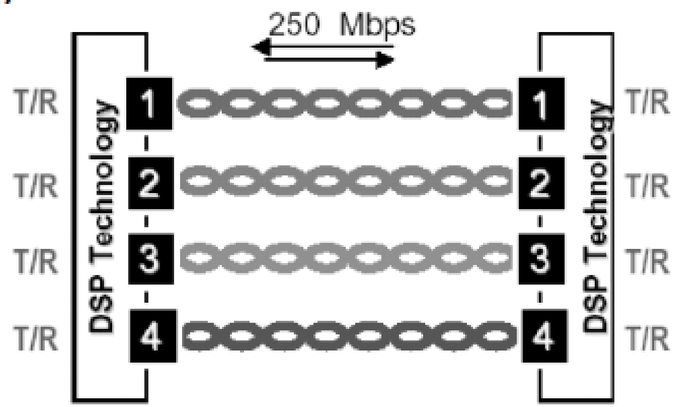
- **Especificações da Gigabit Ethernet 1000BASE-LX (*Long Wavelength*)**
  - IEEE 802.3z.
  - Ligações entre *campus (switch* a *switch).*
  - Até 5 Km usando fibra óptica monomodo.
  - Fibra óptica multimodo e monomodo.
    - 2 fibras ópticas: Tx e Rx.
  - Conectores SC.
  - Distância máxima *switch* - máquina: 5 Km.
  - Velocidade de sinalização 625 MBaud.
  - Codificação: 8B/10B.

GIGABIT ETHERNET

- **Especificações da Gigabit Ethernet 1000BASE-CX (*Short Haul Copper*)**
  - IEEE 802.3z.
  - Clusters de servidores (interligação de equipamentos concentrados numa área restrita) e ligações entre *switches*.
  - Cabo STP de 150 Ohm.
  - Distância máxima *switch* - máquina: 25 m.
  - Velocidade de sinalização: 625 MBaud.

GIGABIT ETHERNET

- **Especificações da Gigabit Ethernet 1000BASE-T (*Long Haul Copper*)**
  - IEEE 802.3ab.
  - Ligações de *switches* a estações e servidores.
  - Transmissão simultânea nos 4 pares de fio (UTP Cat. 5/5e):
    - 4 para transmissão e 4 para recepção (250 Mbps x 4).
    - Cada par é usado para transmissão e para recepção.
    - Circuitos "híbridos" para separação entre TX e RX.
    - "Canceladores de eco" para retirar o eco introduzido devido aos circuitos "híbridos".



  - Distância máxima *switch* - máquina: 100 m.
  - Codificação: *Trellis* 4D 8-*state* - PAM5 - *pulse shaping.*
  - Uso massiço de DSP (*Digital Signal Processor*).

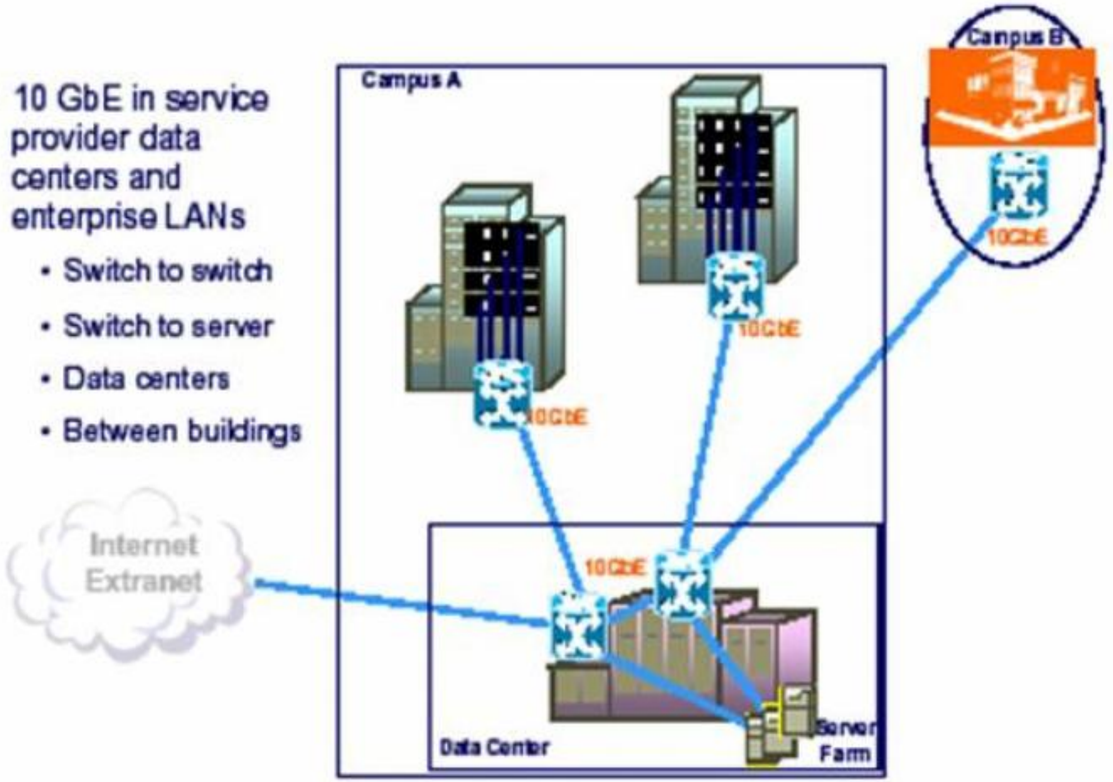
GIGABIT ETHERNET

- **10-Gigabit Ethernet**
  - **Objectivos**
    - Ligação entre equipamentos activos (*Switches, Routers*).
  - **Características**
    - Definido na norma IEEE 802.3ae (2002) para fibra óptica multimodo e monomodo.
    - Define apenas modo Full-Duplex.
    - Codificação 64B/66B.
    - Mantém o formato da trama Ethernet.
    - Operação a 10 Gbps.
    - Surge também como tecnologia de backbone.
    - Expande a utilização da Ethernet a redes MAN e WAN.

GIGABIT ETHERNET

- **10-Gigabit Ethernet**
  - **Implementação 10-Gigabit Ethernet numa rede local**

- 10 GbE in service provider data centers and enterprise LANs
  - Switch to switch
  - Switch to server
  - Data centers
  - Between buildings

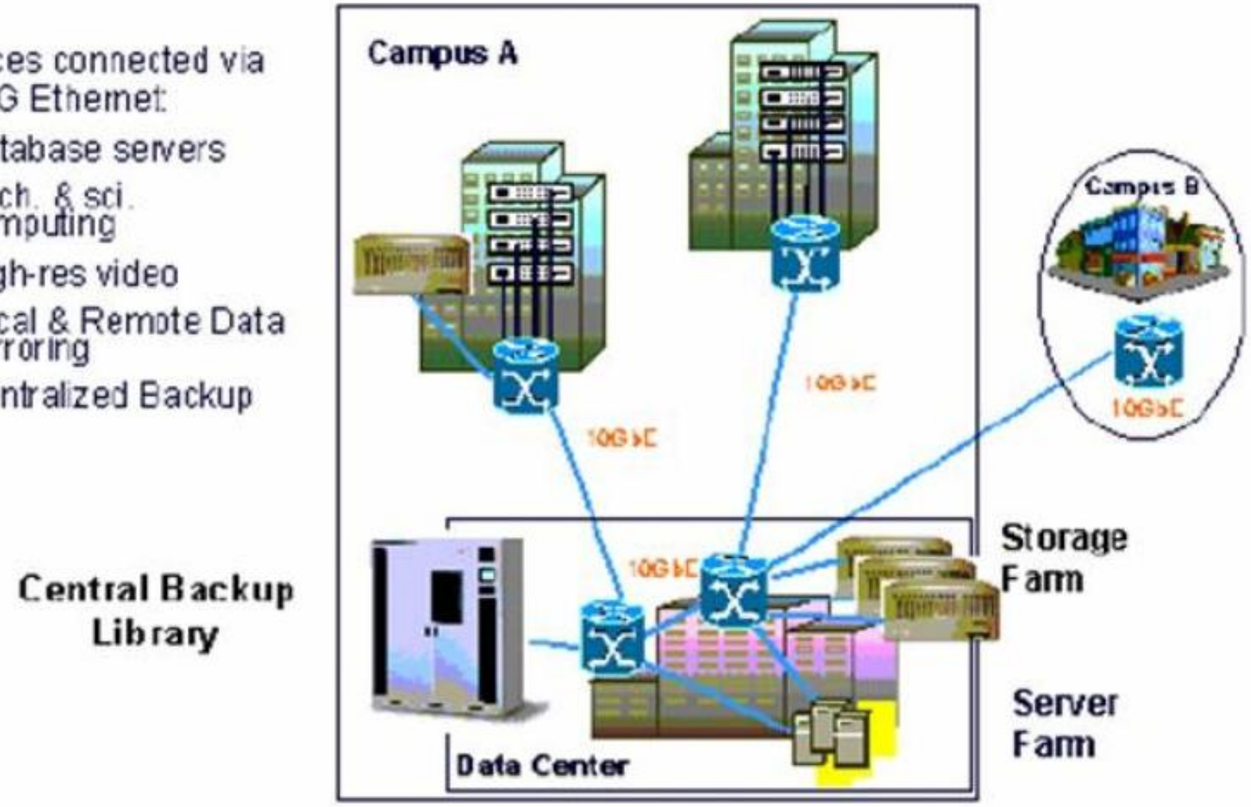


GIGABIT ETHERNET

- **10-Gigabit Ethernet**
  - **Implementação 10-Gigabit Ethernet numa rede MAN**

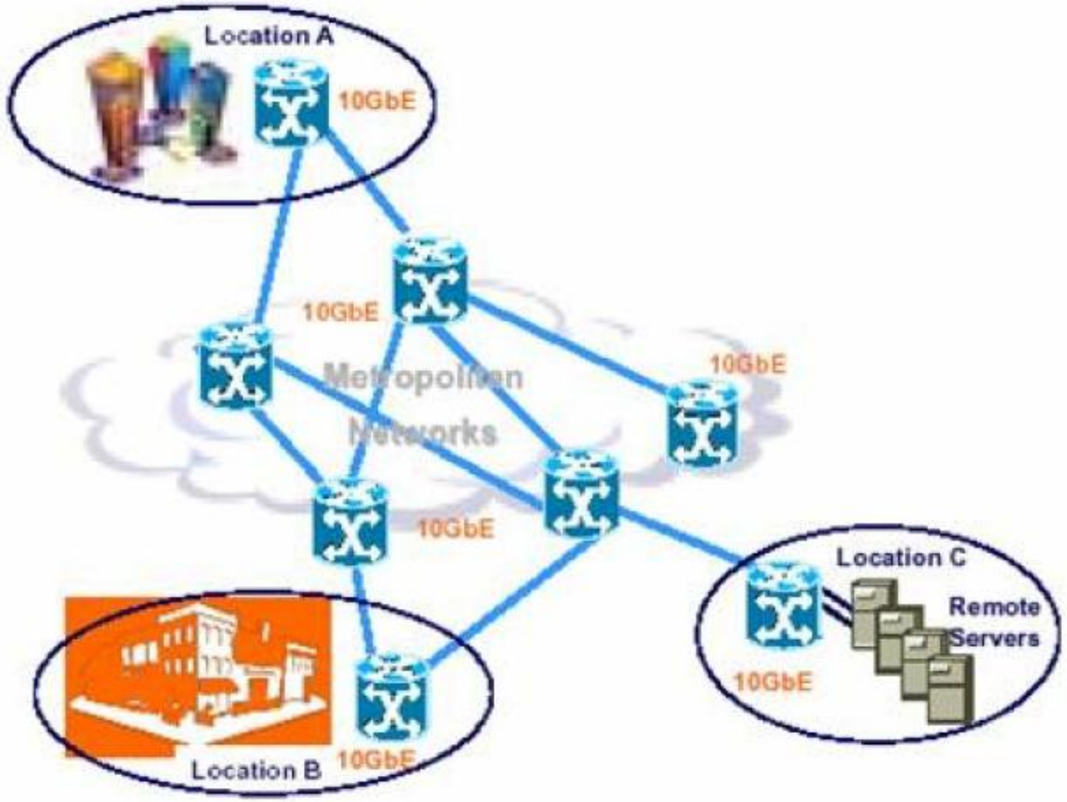
Devices connected via 10G Ethernet:

- Database servers
- Tech. & sci. computing
- High-res video
- Local & Remote Data Mirroring
- Centralized Backup



GIGABIT ETHERNET

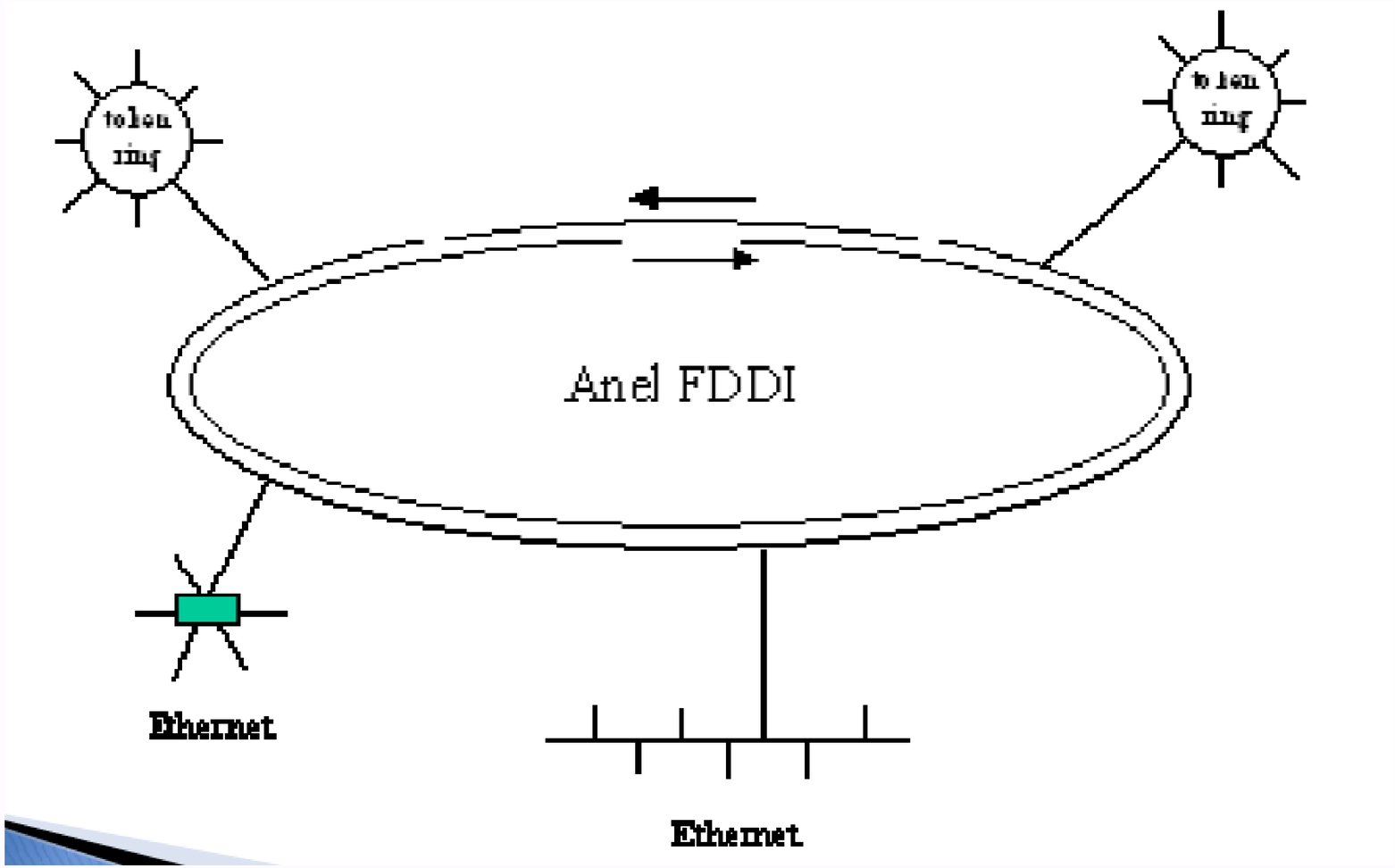
- **10-Gigabit Ethernet**
  - **Implementação 10-Gigabit Ethernet numa rede WAN**



FDDI

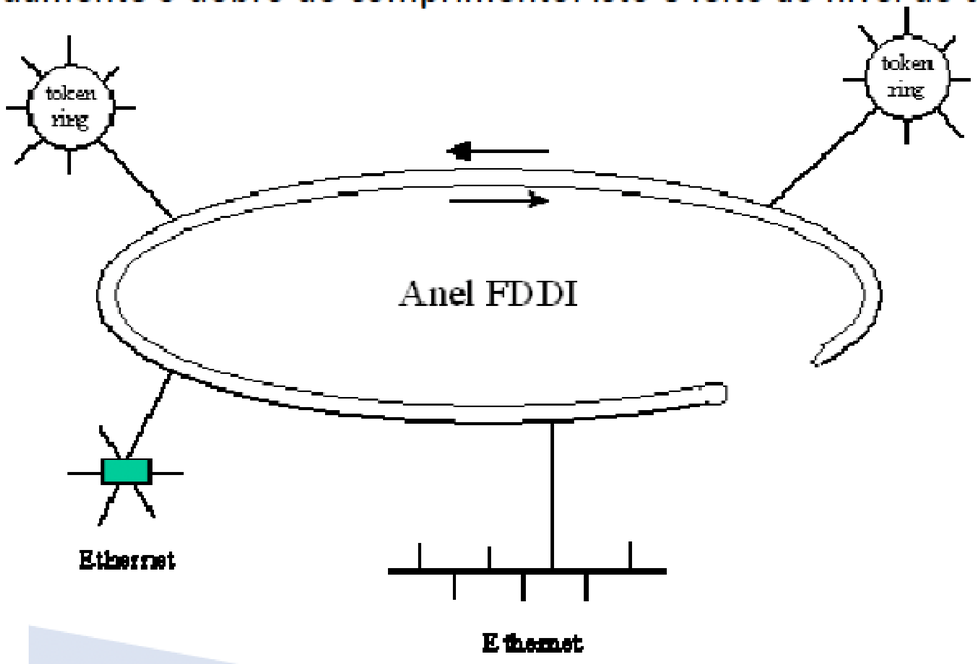
- **FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*)**
  - Tecnologia definida nas normas ANSI X3T9.5 e ISO 9314.
  - A norma FDDI surgiu para solução de alguns problemas de fiabilidade (possui elevada fiabilidade).
  - Custo elevado.
    - Menos comum que as redes Ethernet e Token Ring mas o número de adeptos tem crescido com a diminuição dos seus custos.
  - Tipicamente usada como tecnologia de backbone para interligação de LANs.
  - 100 Mbps.
  - Topologia em anel, método de acesso ao meio por passagem de testemunho.
  - Distância até 100 Km (anel duplo), com um máximo de 500 estações.
  - Cabos de cobre STP ou UTP e fibra óptica.

FDDI

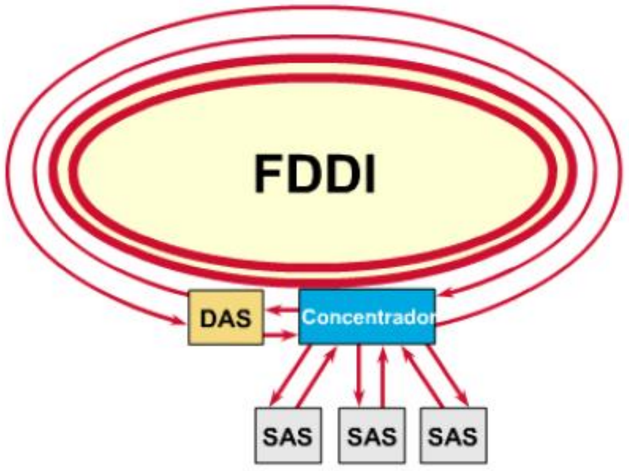


FDDI

- **Cablagem FDDI**
  - **Anel duplo (1 par de F.O. multimodo)**
    - **Em caso de falhas:**
      - Caso falhe apenas uma fibra, a outra pode ser utilizada como fibra de recurso (*backup*).
      - Se as duas fibras forem cortadas no mesmo ponto, o sistema reconfigura-se formando um anel (simples) com aproximadamente o dobro do comprimento. Isto é feito ao nível de uma estação.



FDDI



- **Tipos de estações FDDI**
  - Estações Classe A (DAS - *Dual Atached Station*)
  - Estações Classe B (SAS - *Single Atached Station*)
    - Ligam-se através de um concentrador.
    - Este isola as estações SAS de forma a não comprometer a fiabilidade do anel.
      - Por exemplo garante que uma falha, ou queda de energia, de uma SAS, não interrompa o anel.

  - A FDDI define a configuração das estações FDDI, incluindo:
    - Remoção e inserção de estação.
    - Inicialização.
    - Recuperação e isolamento de falha.

FDDI

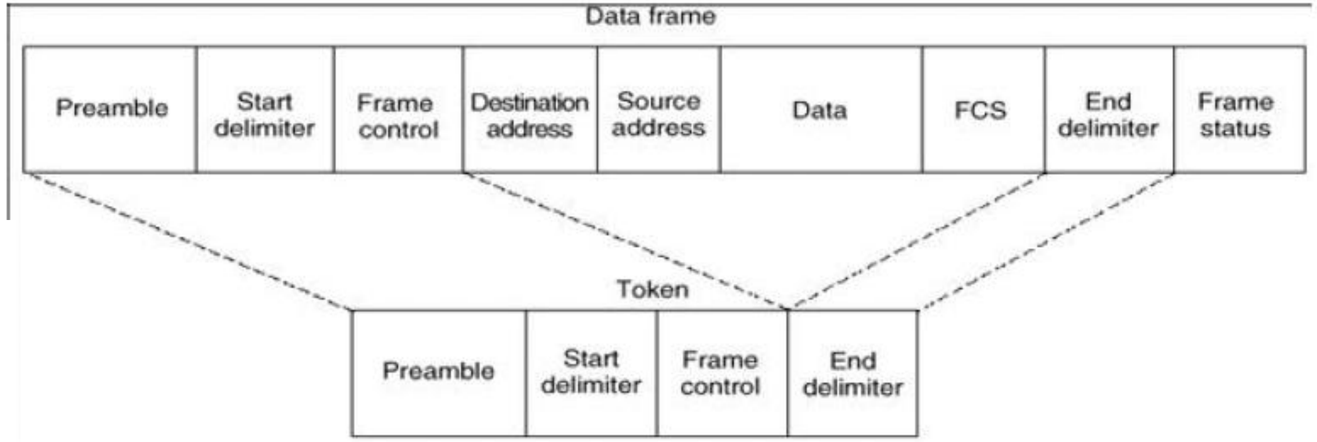
- **Codificação de linha e acesso ao meio**
  - Codificação 4B5B (exige apenas 125 Mbaud).
  - Acesso ao meio é similar à tecnologia Token Ring.

grupos de 4 bits de dados a transmitir	grupos de 5 bits transmitidos
0000	11110
0001	01001
0010	10100
0011	10101
0100	01010
0101	01011
0110	01110
0111	01111
1000	10010
1001	10011
1010	10110
1011	10111
1100	11010
1101	11011
1110	11100
1111	11101

- **Suporte de tráfego síncrono e assíncrono.**
  - A largura de banda **síncrona** é alocada às estações que exigem tráfego continuo (isócrono).
    - Largura de banda garantida. Ex: voz e vídeo.
  - O <u>restante</u> da largura de banda é usada para tráfego **assíncrono**.
    - A largura de banda assíncrona é alocada usando um esquema de prioridades.
    - Aplicações não sensíveis a atrasos.

FDDI

- **Trama**
  - **Preamble:** Prepara a recepção da trama.
  - **Start delimiter:** Inicio da trama.
  - **Frame control:** Indica o tipo de trama (dados, controlo) e se os dados são assíncronos ou síncronos.
  - **Destination address:** Unicast, multicast ou broadcast (6 bytes).
  - **Source address:** 6 bytes.
  - **Data:** Dados síncronos ou assíncronos.
  - **FCS:** Detecção de erros.
  - **End delimiter:** Sinalização do fim da trama.
  - **Frame status:** Permite à estação emissora verificar se a trama foi bem recebida.



REDES SEM FIOS

- **Redes sem fios - Conceito**
  - ***Wireless***
    - ***Wire*:** Fio/Cabo
    - ***Less*:** Sem

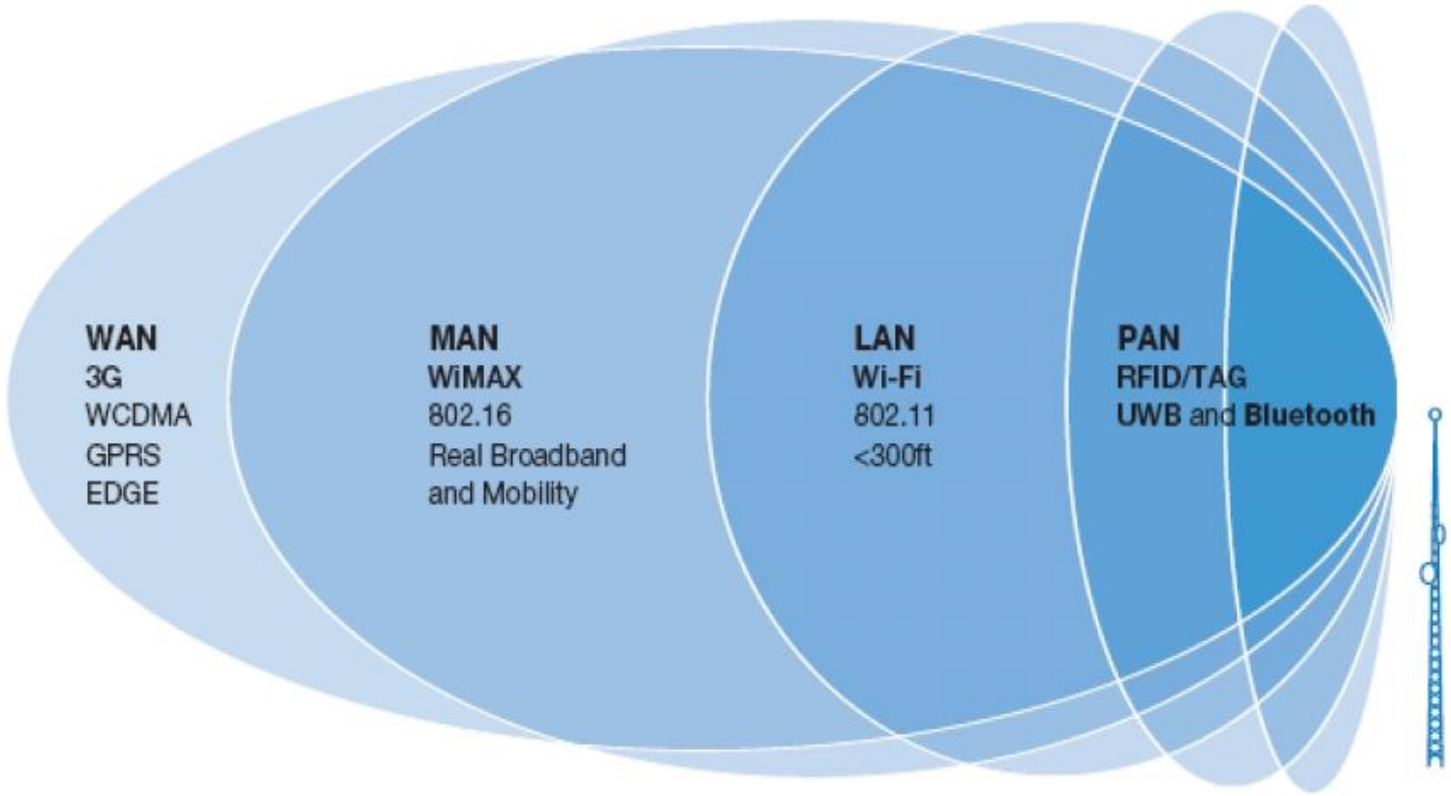
    - Qualquer tipo de conexão para transmissão de dados sem utilizar cablagem.

REDES SEM FIOS

- **Redes sem fios**
  - **Vantagens**
    - Mobilidade.
    - Flexibilidade e escalabilidade.
    - Rapidez e facilidade de instalação.
    - Custo reduzido.
  - **Desvantagens**
    - Qualidade de serviço.
    - Segurança.
    - Baixa transferência de dados.
    - Aumento da energia electromagnética com consequências para a saúde ainda desconhecidas.

REDES SEM FIOS

- **Redes sem fios**
  - **Classificação quanto ao alcance**



REDES SEM FIOS

Bluetooth

- O nome da tecnologia provém do nome dum antigo Rei Viking (Dinamarca), *Harald Blåtand* (em inglês *Blåtand* = *Bluetooth*) que viveu na segunda parte do século X.

- Começou a ser desenvolvida em 1994 pela Ericsson, e a partir de 1998 pelo *Bluetooth Special Interest Group* (SIG).

REDES SEM FIOS

Bluetooth (continuação)

- IEEE 802.15 – www.bluetooth.org
- Utilização em redes do tipo WPAN para interligar computadores, periféricos e telefones.
- Débito de 1 Mbps aproximadamente (768 Kbps reais).
- Actualmente na versão 2.0 (2,1 Mbps).
- Alcance reduzido (geralmente inferior a 10 metros).
- Dispositivos automaticamente configurados.
- Usado em redes ad-hoc.
- Custo reduzido e alta popularização.

REDES SEM FIOS

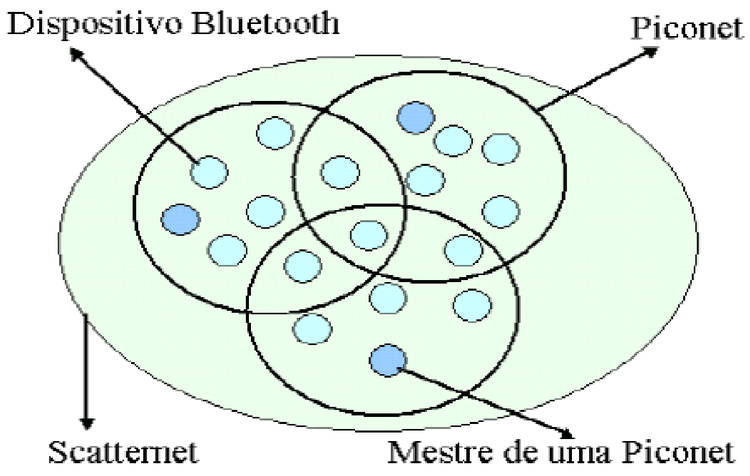
Bluetooth (continuação)

- Não é necessária linha de vista.
- Suporta um canal de dados assíncrono e até três canais síncronos de voz.
- Cada célula Bluetooth suporta até dez dispositivos:
  - Sete usando serviços de dados.
  - Três utilizando serviços de voz.
- As **redes Bluetooth** são designadas por **piconets** (tipicamente com um máximo de 8 dispositivos).
  - Podem ser interligadas formando redes maiores.
- Os *transceivers* Bluetooth têm um endereço único de 48 bits, e operam na banda dos 2.45 GHz: Banda ISM – *Industrial Scientific and Medical* (interfere com a Wireless Ethernet 802.11b).

REDES SEM FIOS

Bluetooth – Topologia de Rede

- Cada dispositivo (*Slave*) liga-se ao *Master*, criando e/ou expandindo a *piconet*.
- Uma *piconet* é composta por no máximo 8 dispositivos activos, 1 *Master* e 7 *Slaves*.
- Os dispositivos Bluetooth podem participar em múltiplas *piconets* simultaneamente, criando uma *scatternet*.
- Um dispositivo que é *Master* numa *piconet* não pode ser *Master* numa outra rede em que esteja inserido.
- Por outro lado, um dispositivo que é *Slave* numa *piconet* pode ser (não obrigatoriamente) *Master* numa outra *piconet*.

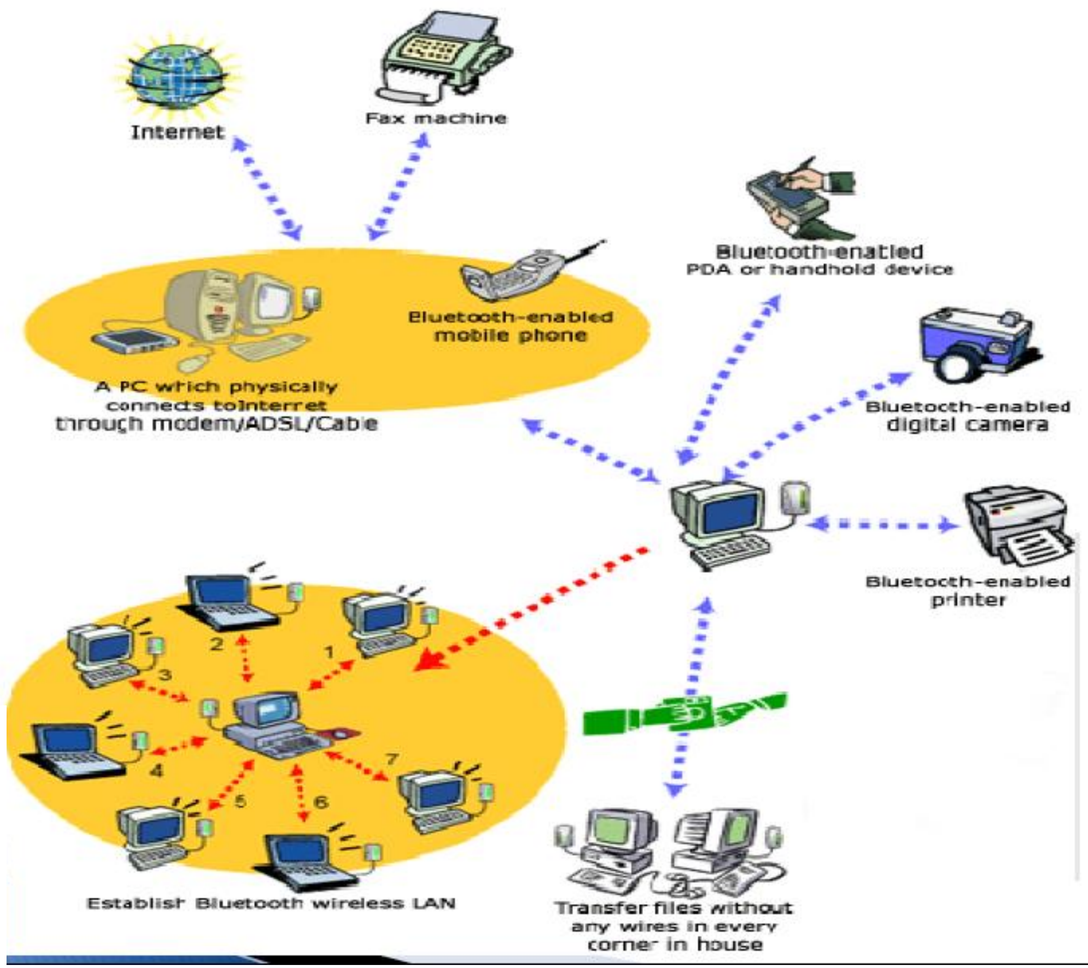


REDES SEM FIOS

- **Bluetooth (continuação)**

REDES SEM FIOS

- **Bluetooth (continuação)**



REDES SEM FIOS

- **Bluetooth**
  - **Vantagens**
    - Conectividade.
    - Portabilidade.
    - Não é necessária a intervenção do utilizador para estabelecer as ligações.
    - Eliminação de fios e cabos nos equipamentos.
    - Maior facilidade nas comunicações de voz e de dados.
  - **Desvantagens**
    - Número máximo limitado de dispositivos que se podem ligar ao mesmo tempo.
    - Baixo alcance (tipicamente 10 m, podendo ir até 100 m com aumento de potência).
    - Segurança.
    - Velocidade limitada.
    - Interferências.

REDES SEM FIOS

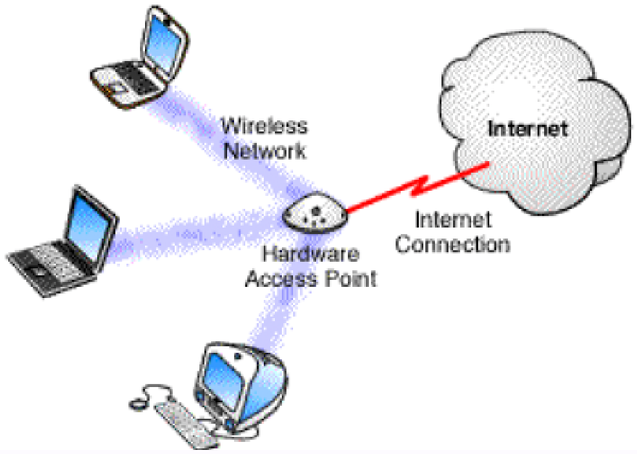
- **WLAN's por Infra-vermelhos**
  - Menos flexíveis que as WLANs RF pois requerem alinhamento entre o transmissor e o receptor.
  - Aplicações:
    - Entre edificios;
    - Entre hubs;
    - Entre transmissor e hub.
  - Débitos de 1 a 4 Mbps, alguns sistemas a 100 Mbps ou mais.
  - Recentemente surgiu o infravermelho difuso que não requer alinhamento perfeito.
  - **Exemplo: Norma IrDA (www.irda.org)**
    - PC's e Periféricos.
    - Distâncias de 1-2 metros.
    - Bidireccional.
    - 9600 bps a 115 kbps (custo reduzido); 4 Mbps (custo razoável).

REDES SEM FIOS

- **WLAN's por Infra-vermelhos**

REDES SEM FIOS

- **Wi-Fi = *Wireless Fidelity***
  - **Wireless Ethernet (IEEE 802.11)**
  - www.wi-fi.org
  - Standard publicado em 2001, procedente de um projecto lançado em 1990.
  - Destina-se a WLANs.
  - Utiliza radiofrequência para a transmissão de dados.
  - Utilizado em aplicações *indoor*.
  - Meio pode interferir no sinal.
  - Tecnologia Wi-Fi tem ganho muita aceitação.
  - Não são apenas uma alternativa às LANs tradicionais. Podem complementar as LANs existentes, combinando conectividade com mobilidade e simplicidade de instalação e de gestão.



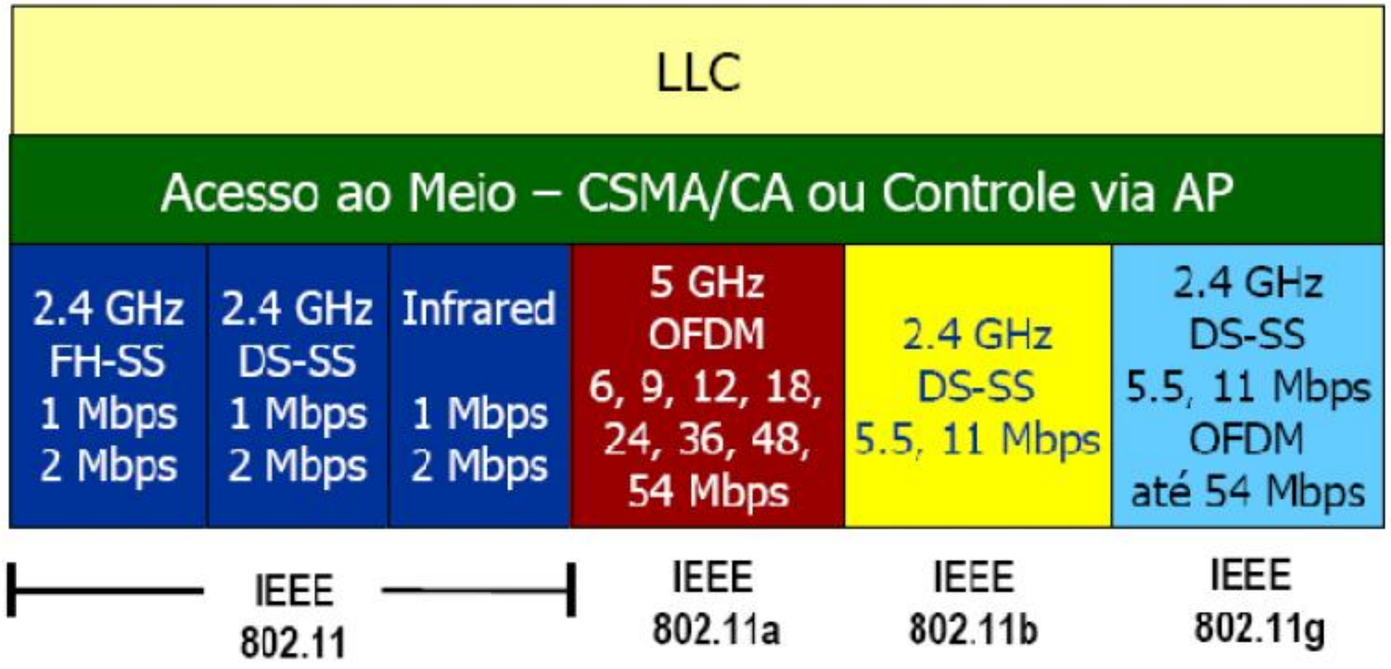
REDES SEM FIOS

- **Wi-Fi (continuação)**
  - **Vasta utilização:**
    - Zonas ou edifícios antigos.
    - Medicina.
    - Redes para suporte de actividades temporárias ou sujeitas a reconfigurações frequentes (Ex: suporte a eventos).
    - Extensão da rede a armazéns e zonas de produção.
    - Utilização em ambientes de ensino ou de conferência.
    - Utilização em ambientes PAN (*Personal Area Networks*) (Ex: interligação de computadores e periféricos).
    - Utilização como backup de redes com fios.

    - Restaurantes, aeroportos, empresas, residências, …

REDES SEM FIOS

- **Wi-Fi – Protocolos IEEE 802.11**
  - Conjunto de normas desenvolvido a partir de 1997 pelo IEEE, para redes sem fios.



REDES SEM FIOS

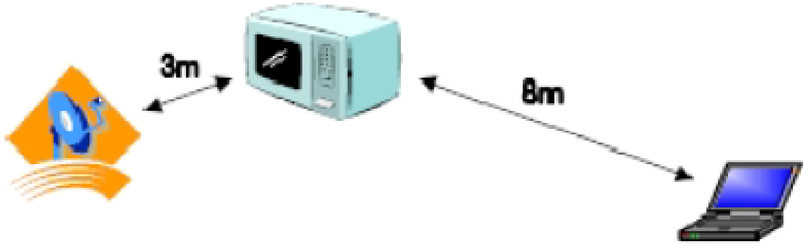
Wi-Fi – Família de normas

Protocolo	Data de lançamento	Banda de frequências	Débito tipico	Débito máximo	Alcance (interior)
Legacy	1997	2.4 -2.5 GHz	1 Mbit/s	2 Mbit/s	?
802.11a	1999	5.15-5.35/5.47-5.725/5.725-5.875 GHz	25 Mbit/s	54 Mbit/s	~ 50 metros
802.11b	1999	2.4-2.5 GHz	6.5 Mbit/s	11 Mbit/s	~ 100 metros
802.11g	2003	2.4-2.5 GHz	25 Mbit/s	54 Mbit/s	~ 100 metros
802.11n	2006 (draft)	2.4 GHz ou 5 GHz	200 Mbit/s	540 Mbit/s	~ 250 metros

- Débitos variam em função da distância e ambientes.
- 802.11a não compatível com 802.11b.
- 802.11g compatível com 802.11b.

REDES SEM FIOS

- **Wi-Fi – Normalização (continuação)**
  - **Frequência 2.4 Ghz**
    - Frequência não-licenciada.
    - Telefones sem fio / microondas / outras redes wireless, degradam qualidade da transmissão.
    - **Teste**: Interferência de um forno microondas num ponto de acesso

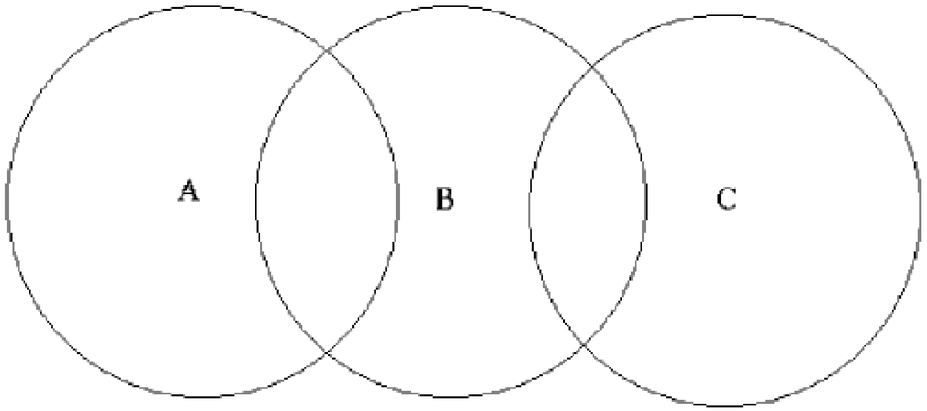


    - Ponto de acesso não respondia a *pings* até 3 metros próximo ao forno microondas.
    - Alta perda de pacotes em 4 metros.

REDES SEM FIOS

Wi-Fi – Método de acesso ao meio

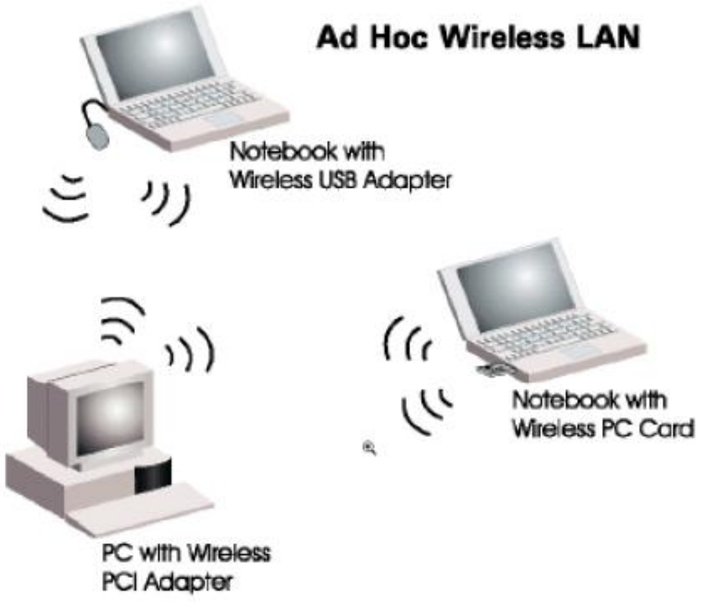
- **Problema do terminal escondido**



- Os nós A e C não se ouvem um ao outro. Logo se um transmitir, o outro não saberá e poderá começar a transferir. Isso geraria uma colisão.
- A solução para este problema é usar *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance - CSMA/CA*.

REDES SEM FIOS

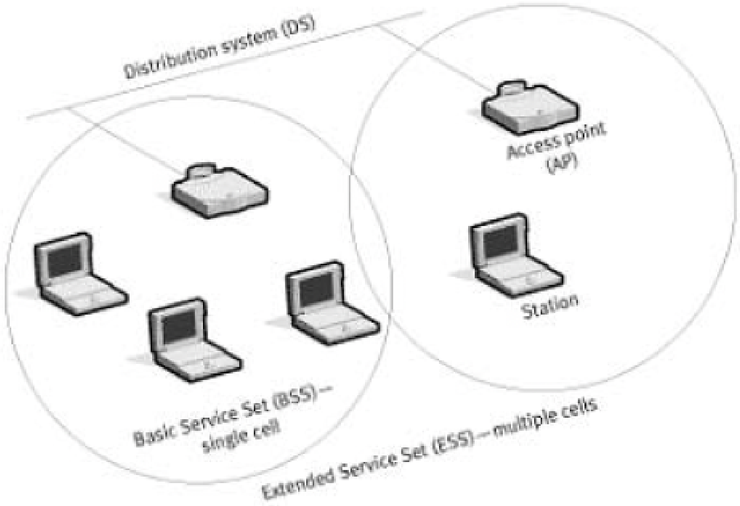
- **Wi-Fi – Configurações**
  - **Célula única (*ad hoc*)**
    - É a mais simples.
    - As estações enviam e/ou recebem informação directamente umas das outras, sem necessidade de qualquer infra-estrutura.



REDES SEM FIOS

Wi-Fi – Configurações (continuação)

- **Infra-estrutura**
  - Configuração mais útil e mais utilizada.
  - Utilização de um conjunto de pontos de acesso interligados por um *backbone* (por exemplo rede local com fios - Ethernet) que constituem células *wireless* que comportam vários utilizadores.
  - Normalmente as células sobrepõem-se, o que possibilita o *roaming*.

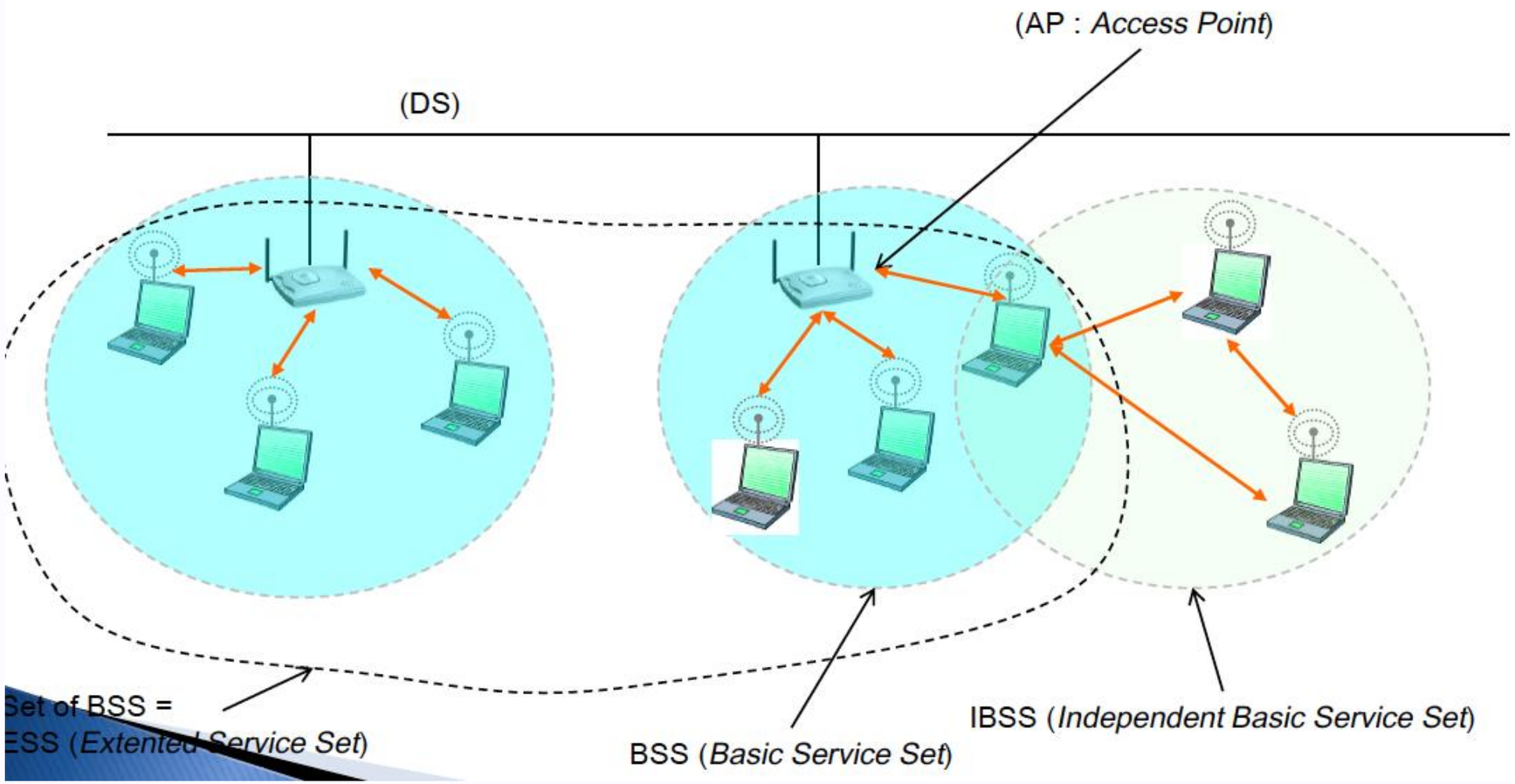


Numa rede com infra-estrutura, é necessário ligar vários BSS, formando um ESS. A estrutura é então representada pelos APs e pelo sistema de distribuição que liga os vários APs.

O sistema de distribuição é representado por um sistema de comunicação com fios (cobre ou fibra) e pode fornecer os recursos para ligara WLAN a outras redes.

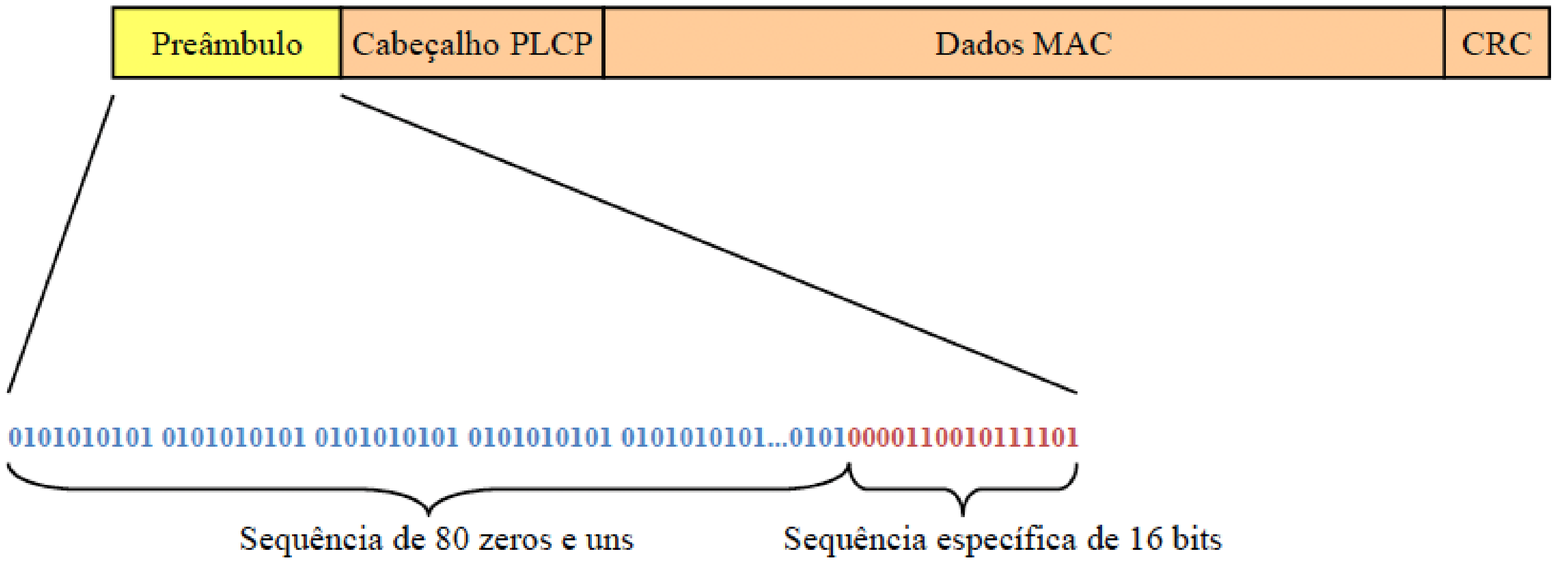
REDES SEM FIOS

Wi-Fi – Configurações (continuação)



REDES SEM FIOS

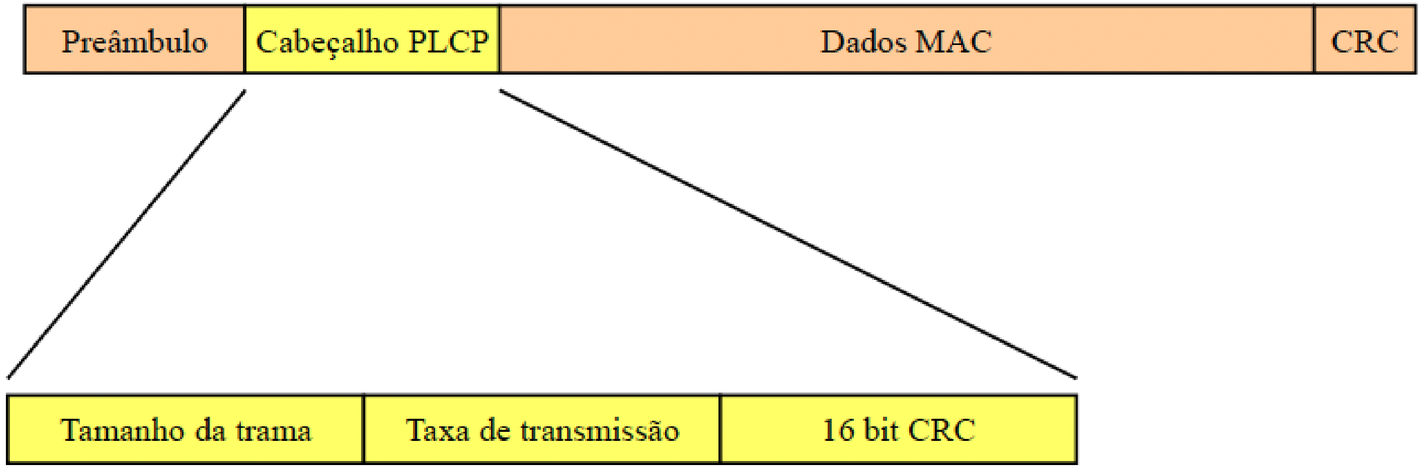
- **Wi-Fi – Formato das tramas 802.11**



  - O preâmbulo serve para sincronizar o emissor com o receptor.

REDES SEM FIOS

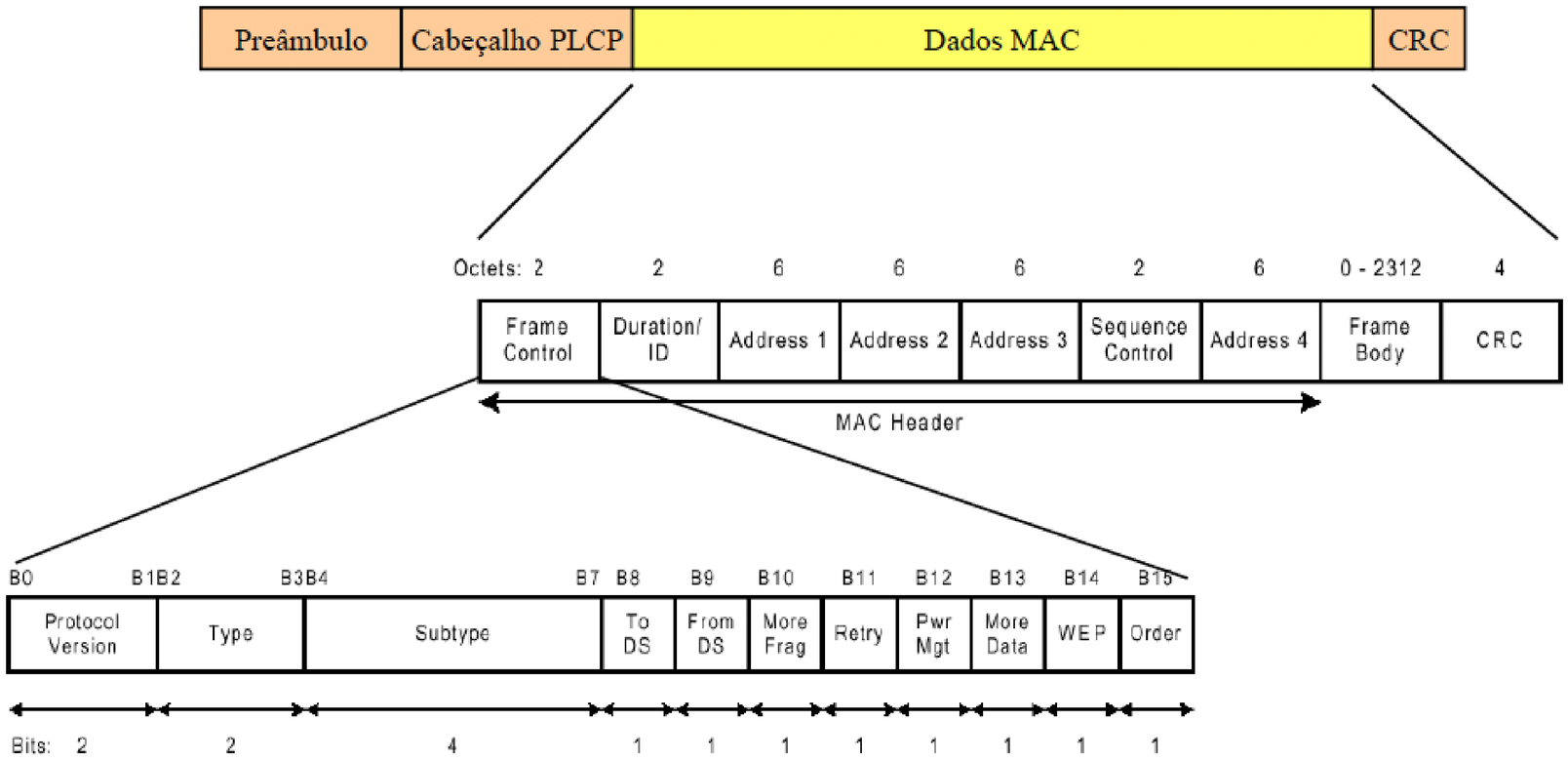
Wi-Fi – Formato das tramas 802.11 (continuação)



- O cabeçalho PLCP tem três campos com as seguintes funções:
  - Tamanho da trama permite ao receptor detectar correctamente o fim da transmissão.
  - Taxa de transmissão.
  - CRC é usado para detectar erros na transmissão.

REDES SEM FIOS

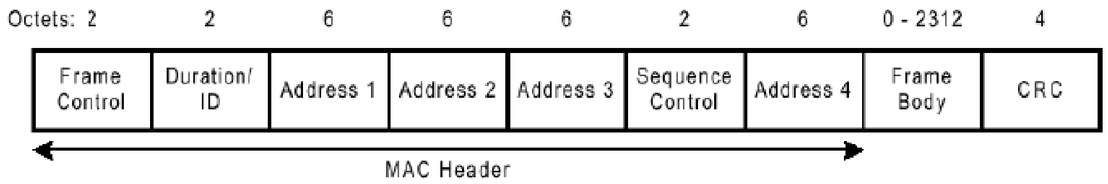
- **Wi-Fi – Formato das tramas 802.11 (continuação)**



- Existem vários tipos de tramas MAC, e nem todos os campos aparecem nalguns tipos de tramas.

REDES SEM FIOS

Wi-Fi – Formato das tramas 802.11 (continuação)



- **Duration / ID**: no modo de poupança de energia, este campo representa o ID da estação; no modo normal representa a duração usada para o cálculo NAV.
- **Address 1**: o endereço imediato de destino desta trama. Se o bit ToDS estiver activo, este será o endereço do AP, caso contrário será o endereço da estação de destino.
- **Address 2**: o endereço imediato de origem desta trama. Se o bit FromDS estiver activo, este será o endereço do AP, caso contrário será o endereço da estação de origem.
- **Address 3**: nos casos em que a trama passa pelo DS, este é o verdadeiro endereço de origem ou de destino da estação que originou ou que vai receber a trama.
- **Address 4**: nos sistemas ESS, quando a trama viaja de um AP para outro AP, os dois endereços imediatos são dos APs, pelo que é necessário mais um campo de endereço para a trama poder indicar os dois endereços verdadeiros de origem e destino da trama.
- **Sequence Control**: usado para numerar as tramas e os fragmentos.
- **Frame Body**: o campo onde seguem os dados.
- **CRC**: usado para detectar erros de transmissão.

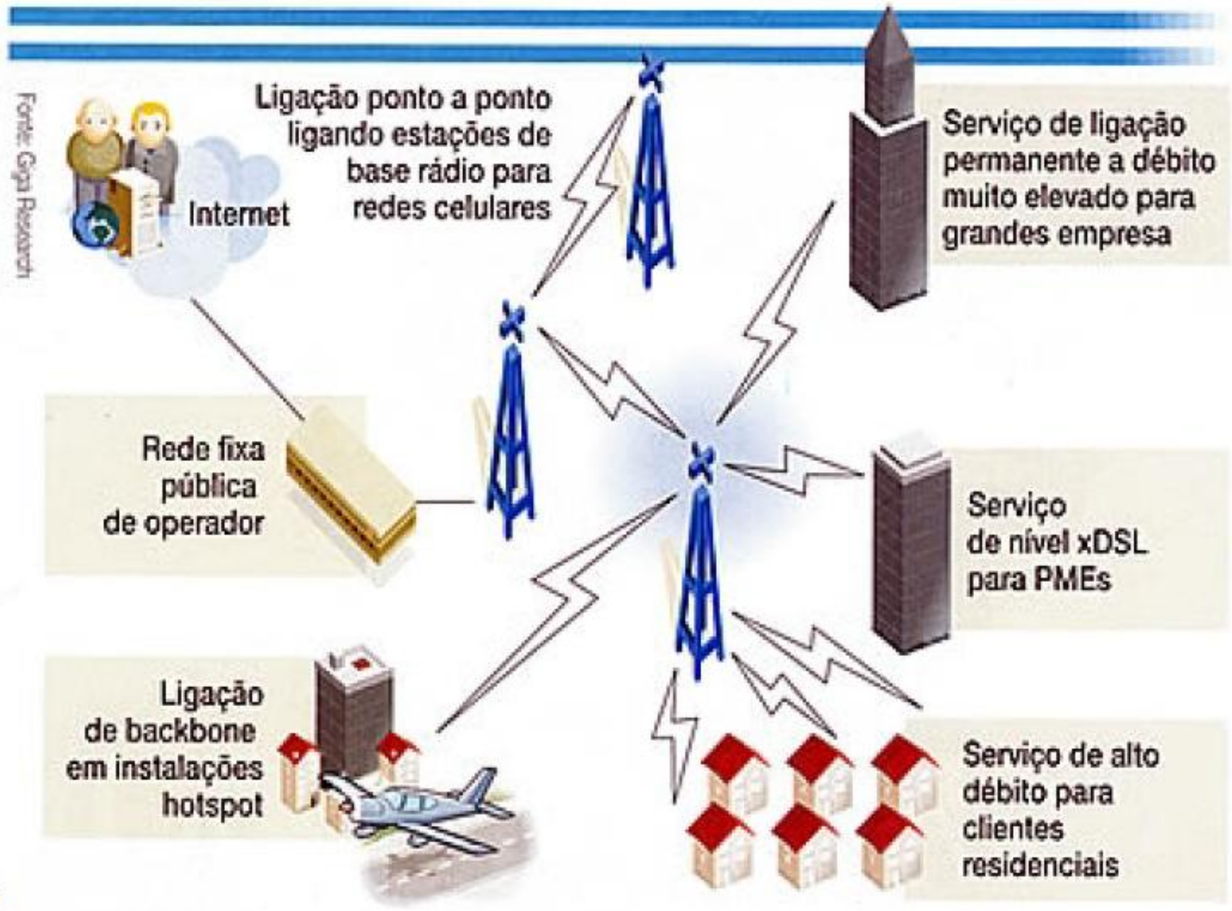
- **ATENÇÃO!** nem todos os campos aparecem nalguns tipos de tramas!

REDES SEM FIOS

- **WiMAX** = ***W****orld* ***I****nteroperability for* ***M****icrowave* ***A****ccess*
  - Utilizada em redes do tipo WMAN (longo alcance).
  - Performance elevada:
    - Débito de 10 a 70 Mbps, em distâncias que podem variar entre 10 e 50 Km.
  - Utilização em áreas onde é difícil instalar cablagem.
    - Torna possível a instalação em locais anteriormente inviáveis.
  - Motivar um mercado de acesso *broadband* mais competitivo.
    - Acessos *broadband* mais velozes e baratos.
  - Forum WiMAX formado em Abril 2001.
  - IEEE 802.16

REDES SEM FIOS

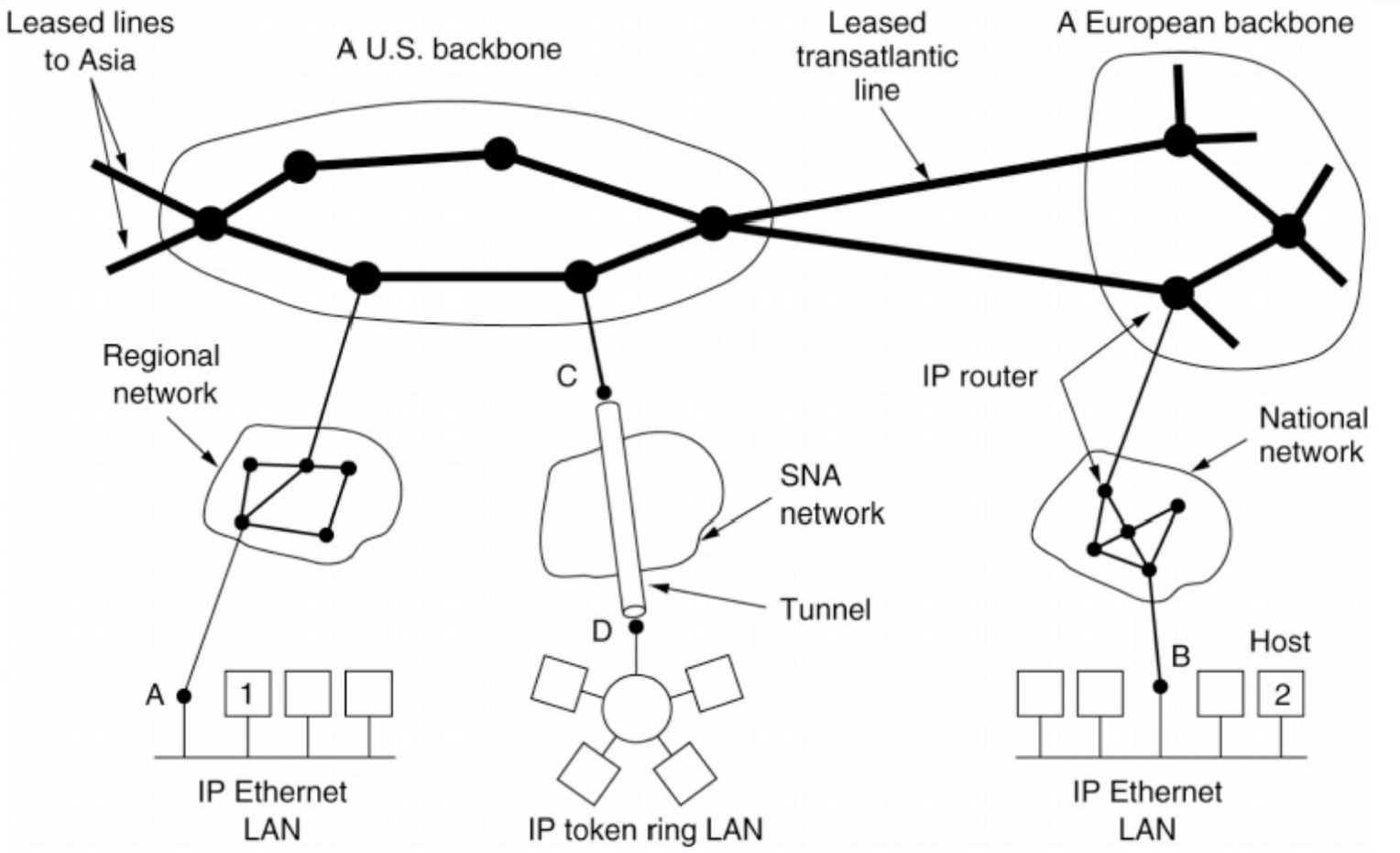
- **WiMAX (continuação)**



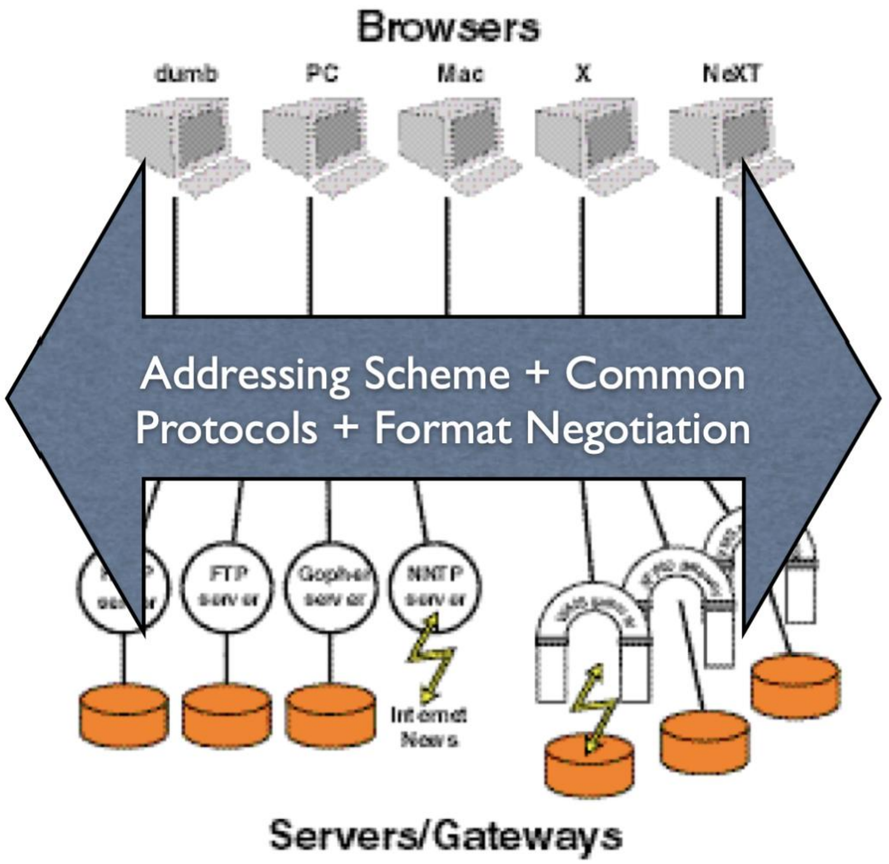
6

PROTOCOLOS DA CAMADA MAC

PROBLEMA


Leased lines
to Asia
A U.S. backbone
Leased
transatlantic
line
A European backbone
Regional
network
C
IP router
National
network
SNA
network
Tunnel
D
B
Host
A
1
2
IP Ethernet
LAN
IP token ring LAN
IP Ethernet
LAN

PROBLEMA

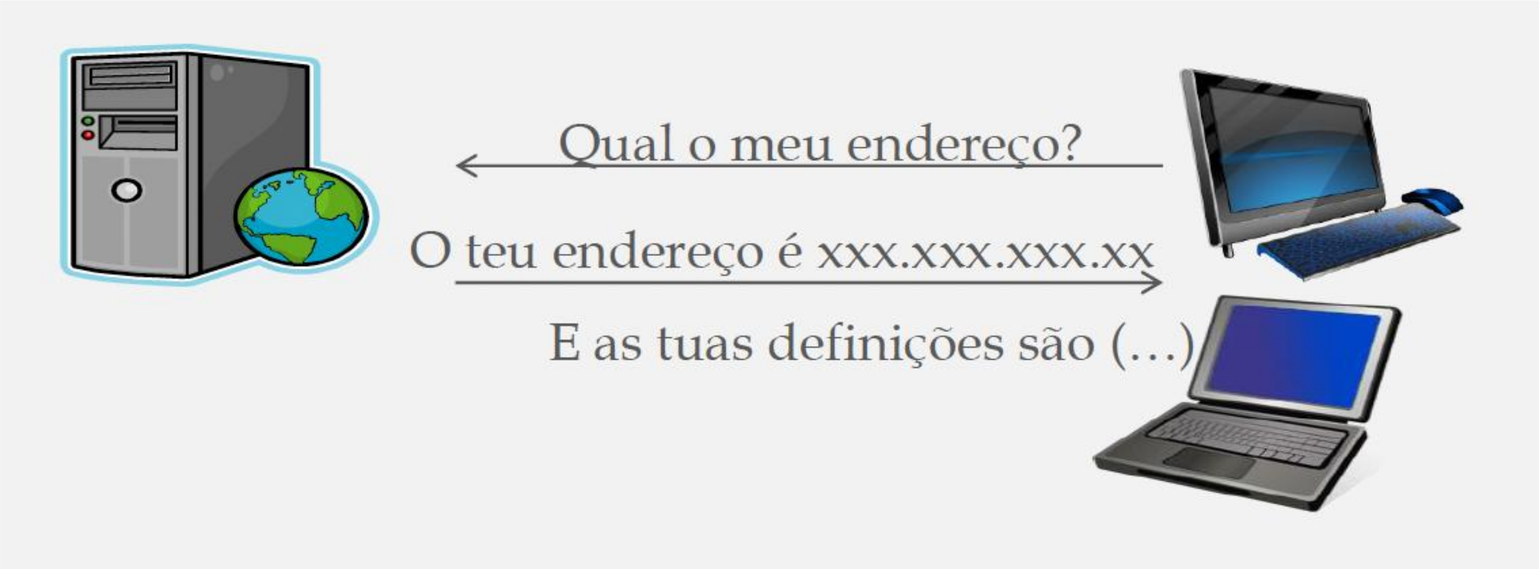


© 1992 Tim Berners-Lee, Robert Cailliau, Jean-François Groff, C.E.R.N.

Figure 5-5. Early WWW Architecture Diagram

ATRIBUIÇÃO DINÂMICA DE INFORMAÇÃO IP

- Se a sua rede tiver 5 computadores, o trabalho e os erros que pode cometer na atribuição e configuração manual dos endereços são poucos.
- Mas se a sua rede tiver 300 ou mais máquinas? Com maquinas portáteis sempre a entrar e a sair da rede? Não seria fácil configurar manualmente todos os endereços.
- Solução: arranjar um serviço centralizado que faça essa função de forma automática.



ENDEREÇO MAC (MEDIA ACCESS CONTROL)

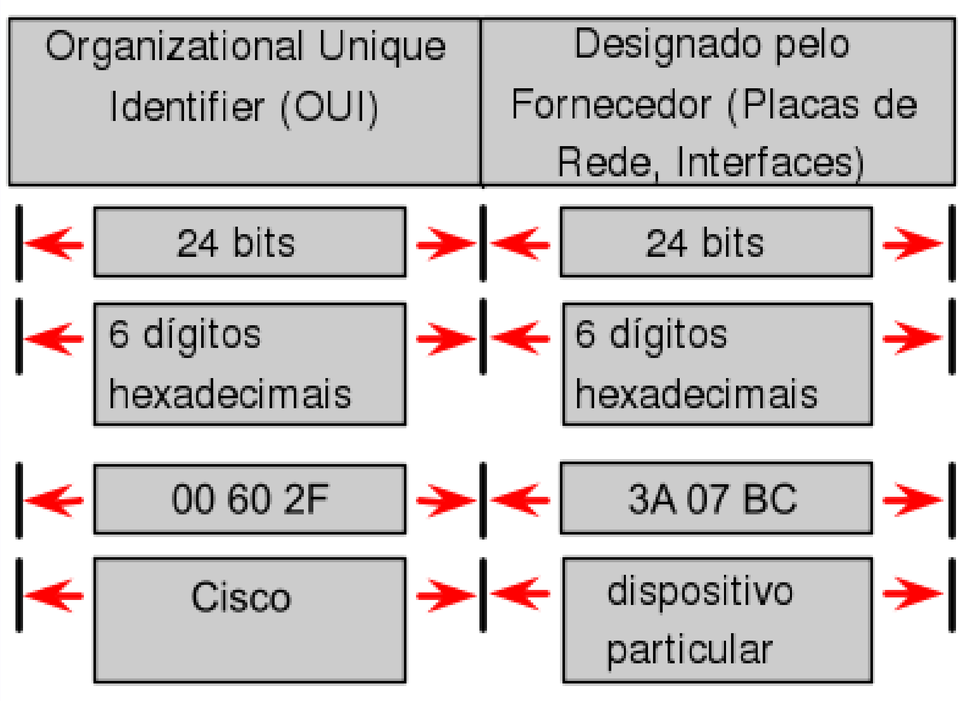
- Cada máquina com uma placa de rede possui uma identificação única e que não se repete.

- Esta identificação é uma sequência de bits, que se chama o endereço físico na rede (MAC address).

- O endereço MAC é formado por um conjunto de 6 bytes separados por dois pontos (“:”) ou hífen (“-”), sendo cada byte representado por dois algarismos na forma hexadecimal, como por exemplo: "00:19:B9:FB:E2:58". Cada algarismo em hexadecimal corresponde a uma palavra binária de quatro bits, desta forma, os 12 algarismos que formam o endereço totalizam 48 bits.

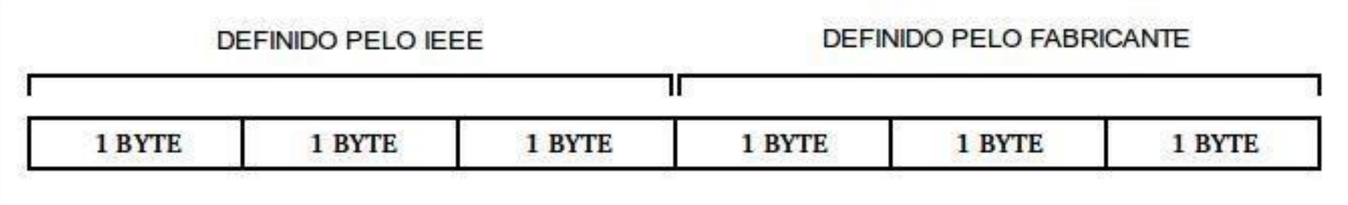
ENDEREÇO MAC

- Endereços de 48 bits
- Representados em 12 dígitos hexamedimais
  - e.g. : 00:50:56:c0:00:01
- Necessário em ethernet para enviar pacotes para destino.



ENDEREÇO MAC (MEDIA ACCESS CONTROL)

- Há um padrão para os endereços MAC que é administrada pela IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) que define:
  - Os três primeiros bytes - chamados OUI (Organizationally Unique Identifier), e que são destinados a identificação do fabricante são fornecidos pela própria IEEE.
  - Os três últimos bytes são definidos pelo fabricante, sendo este responsável pelo controle da numeração de cada placa que produz.



- O endereço MAC é único no mundo para cada placa de rede (apesar de existirem ferramentas que possibilitam a sua alteração), e é mantido na memória ROM , sendo posteriormente essa informação copiada para a memória RAM aquando da inicialização da placa.

ENDEREÇO MAC (MEDIA ACCESS CONTROL)

```
Placa de rede local sem fios Ligação de rede sem fios:

   Estado do suporte . . . . . . . . . : Suporte desligado
   Sufixo DNS específico da ligação. :
   Descrição . . . . . . . . . . . . . : Placa LAN Sem Fios 802.11n
   Endereço físico . . . . . . . . . . : 00-22-5F-55-91-D9
   DHCP activado . . . . . . . . . . . : Sim
   Autoconfiguração activada . . . . : Sim

Adaptador ethernet Ligação de Área Local:

   Sufixo DNS específico da ligação. : ccdrc.global
   Descrição . . . . . . . . . . . . . : Realtek PCIe GBE Family Controller
   Endereço físico . . . . . . . . . . : 00-23-54-A4-04-FD
   DHCP activado . . . . . . . . . . . : Sim
   Autoconfiguração activada . . . . : Sim
   Endereço IPv6 de local de ligação : fe80::8091:72:f2ca:e150%11(Preferido)
   Endereço IPv4 . . . . . . . . . . . . . . . : 10.9.35.199(Preferido)
   Máscara de sub-rede . . . . . . . . : 255.255.255.0
   Concessão obtida. . . . . . . . . . : quinta-feira, 5 de Março de 2015 08:56:39

   Concessão obtida válida até . . . : quinta-feira, 5 de Março de 2015 17:26:23
```

Endereço MAC de duas placas de rede de uma maquina

ARP - ADDRESS RESOLUTION PROTOCOL

- 1) Quando pretendemos comunicar com outra máquina, o que precisamos de saber?
  - Endereço IP (ou o nome que depois é traduzido num endereço IP).

- 2) Qual a informação que é inserida numa frame relativamente ao destinatário?
  - O MAC Address do PC de destino (endereço físico) é incluído na frame.

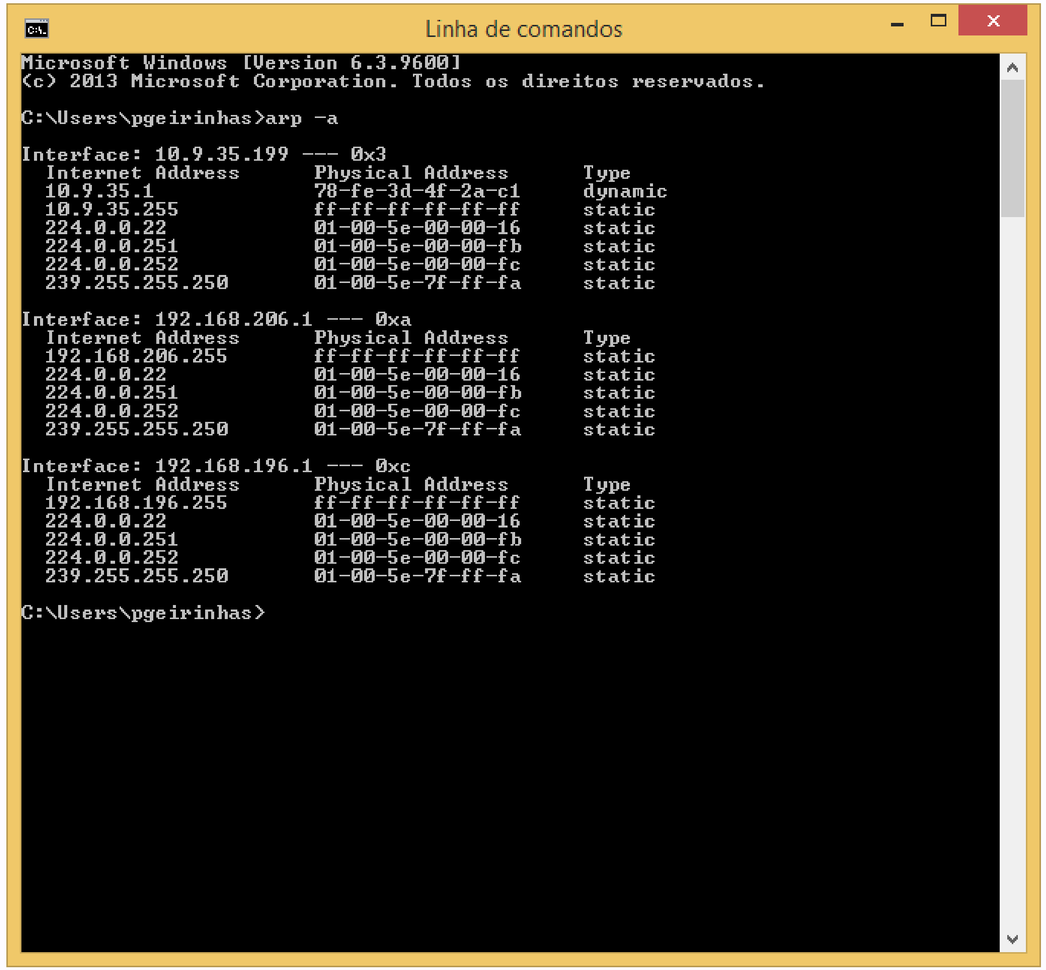
- 3) Mas se eu só sei o IP, como descobrir o MAC do PC de destino?
  - Recorrendo ao protocolo ARP, que permite obter o endereço MAC (do PC de destino) usando o endereço IP (do PC de destino).

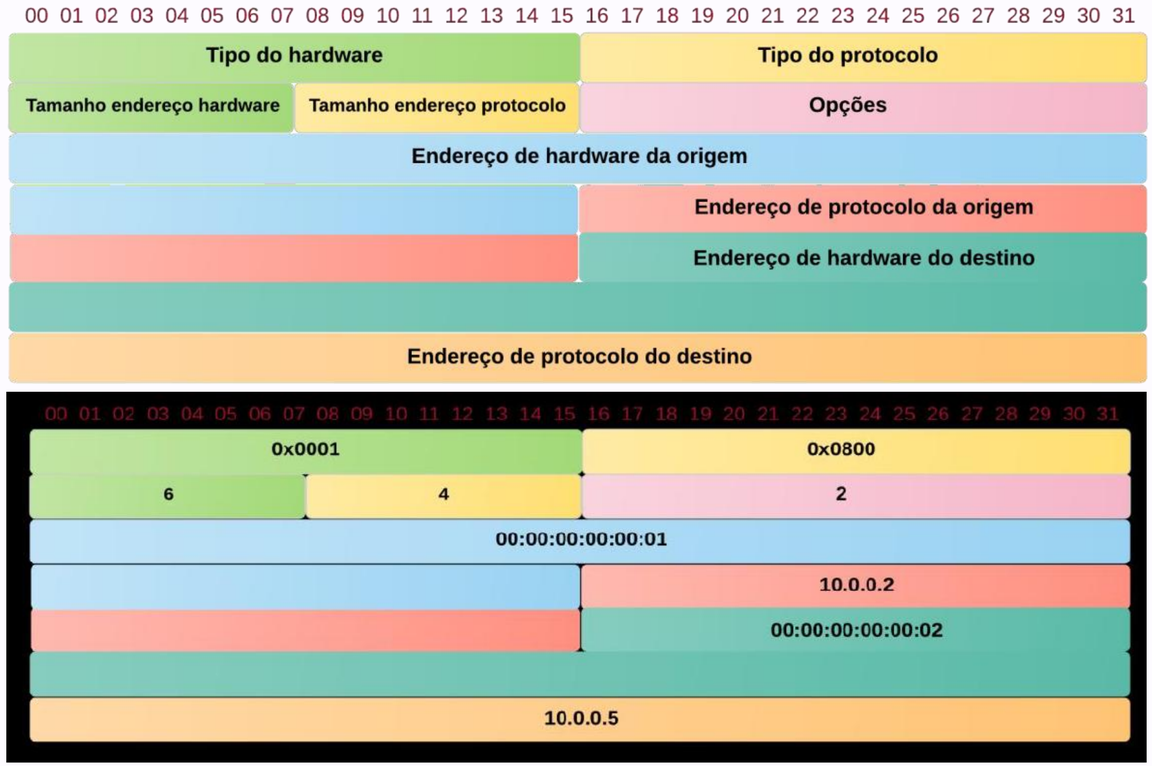
- 4) No caso do envio de informação para fora do domínio da rede local, o endereço físico a ser registado na tabela ARP de um PC local será o endereço físico do gateway.

ARP - ADDRESS RESOLUTION PROTOCOL

- Sempre que uma máquina começa a comunicar com outra é consultada a sua tabela de ARP.
- Se o endereço pedido não se encontrar na tabela, o protocolo ARP emite um pedido para a rede (ARP Request).
- As máquinas ligadas na rede vão comparar o endereço IP (endereço lógico) do pedido ao seu.
- Se alguma das máquinas reconhecer o seu endereço IP no pedido vai responder enviando um (ARP Reply).
- Esta resposta vai conter o endereço físico (MAC) da maquina destino, que será guardado na tabela de ARP da maquina origem

ARP - ADDRESS RESOLUTION PROTOCOL



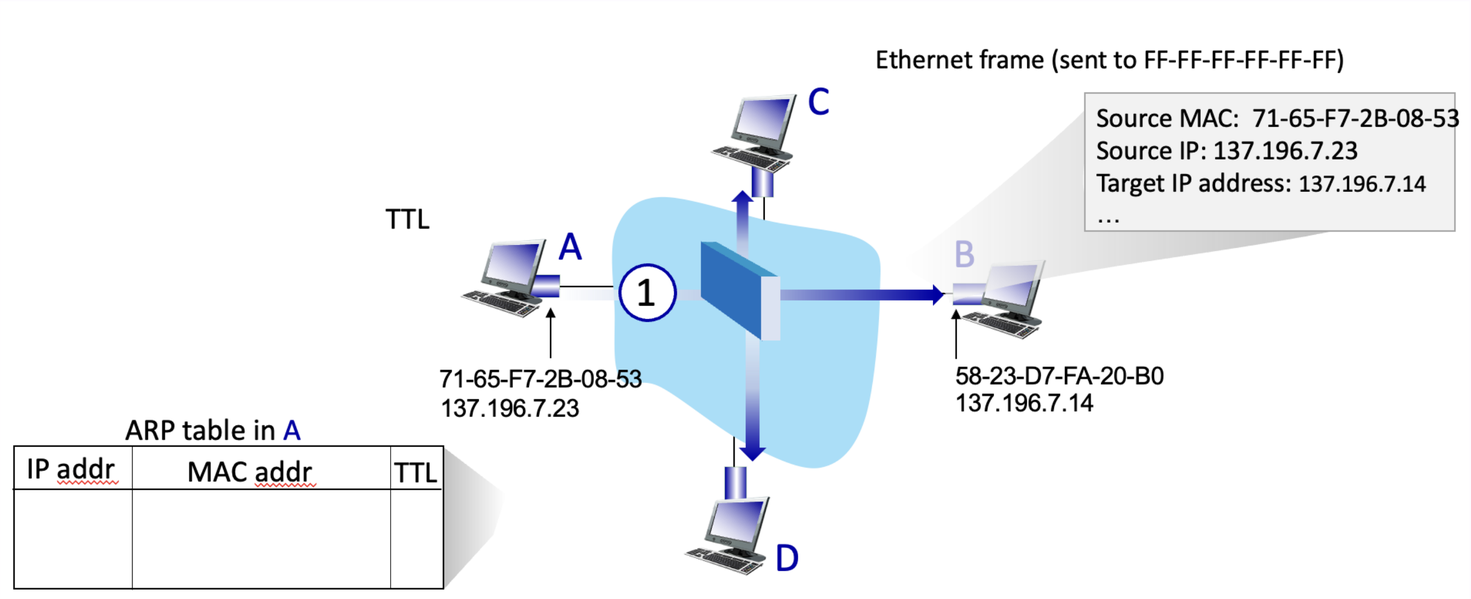


https://blog.pantuza.com/artigos/o-protocolo-arp-address-resolution-protocol

ARP PROTOCOL IN ACTION

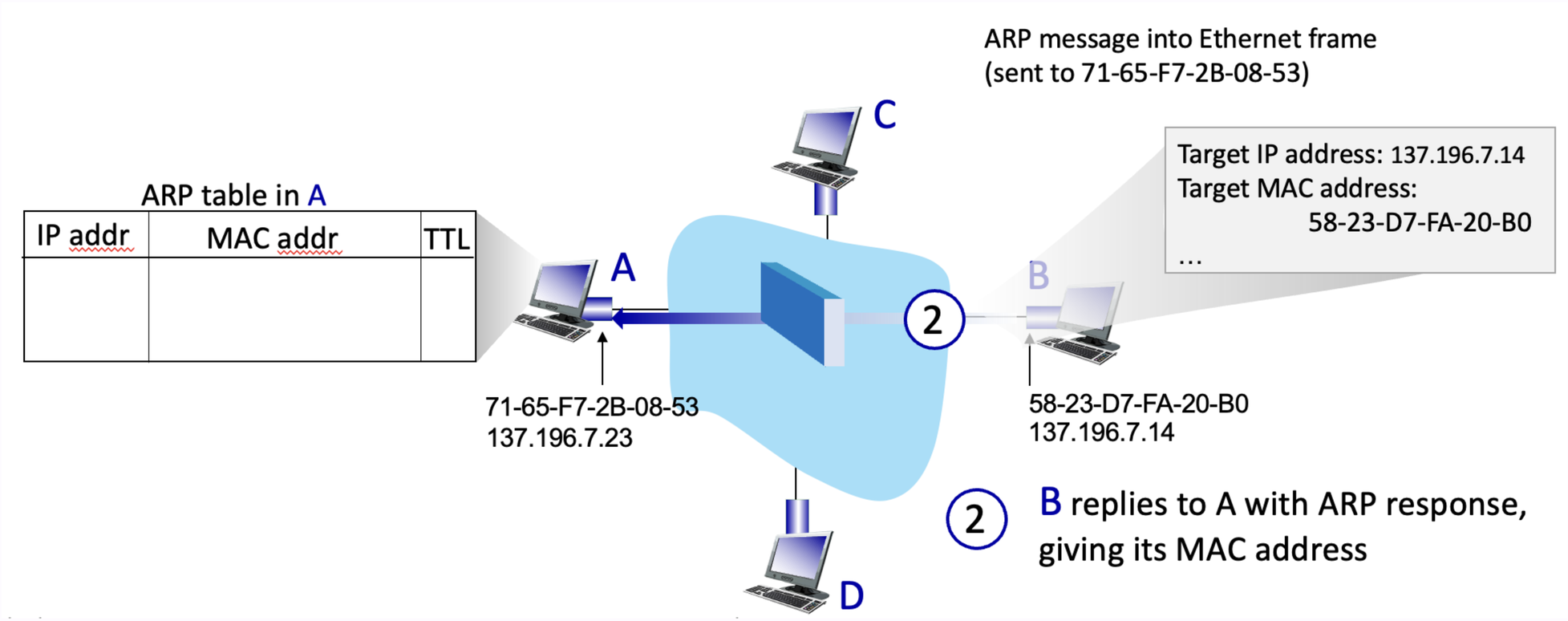
- example: A wants to send datagram to B
  - B's MAC address not in A's ARP table, so A uses ARP to find B's MAC address

- A broadcasts ARP query, containing B's IP addr
  - destination MAC address = FF-FF-FF-FF-FF-FF
  - all nodes on LAN receive ARP query



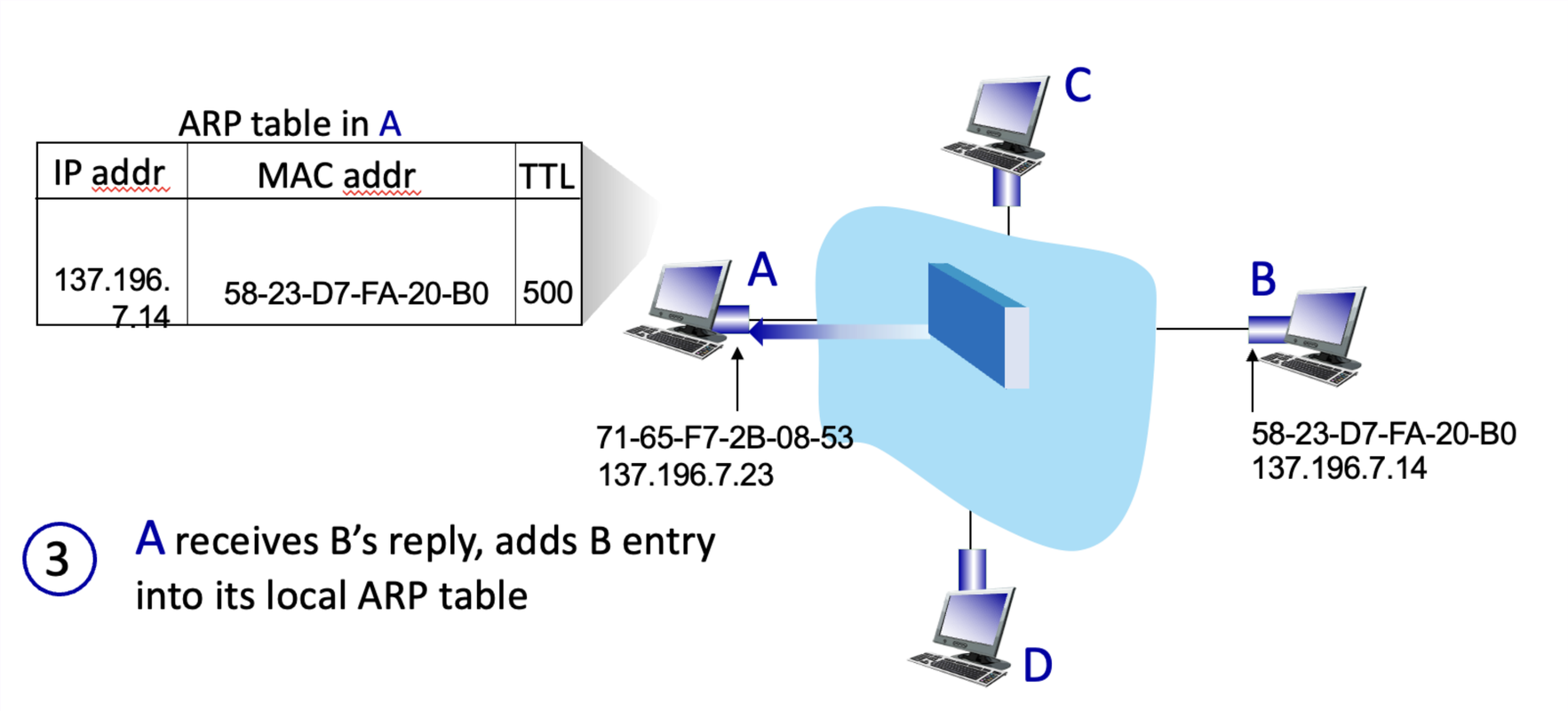
ARP PROTOCOL IN ACTION

- example: A wants to send datagram to B
  - B's MAC address not in A's ARP table, so A uses ARP to find B's MAC address

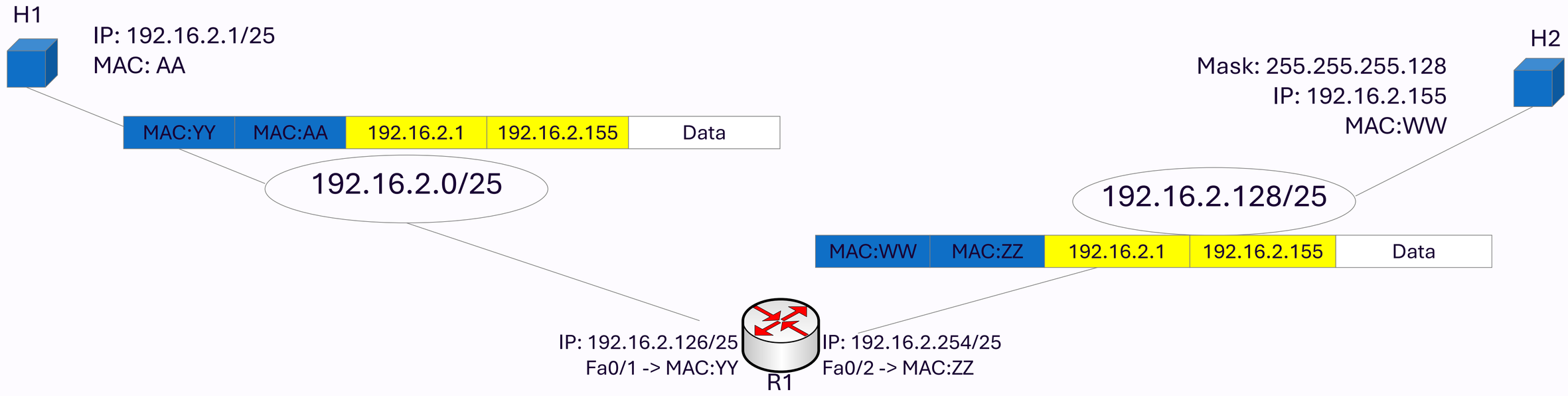


ARP PROTOCOL IN ACTION

- example: A wants to send datagram to B
  - B's MAC address not in A's ARP table, so A uses ARP to find B's MAC address



Exemplo da ação do Router a ligar duas rede Ethernet: H1 pretende enviar um pacote IP a H2



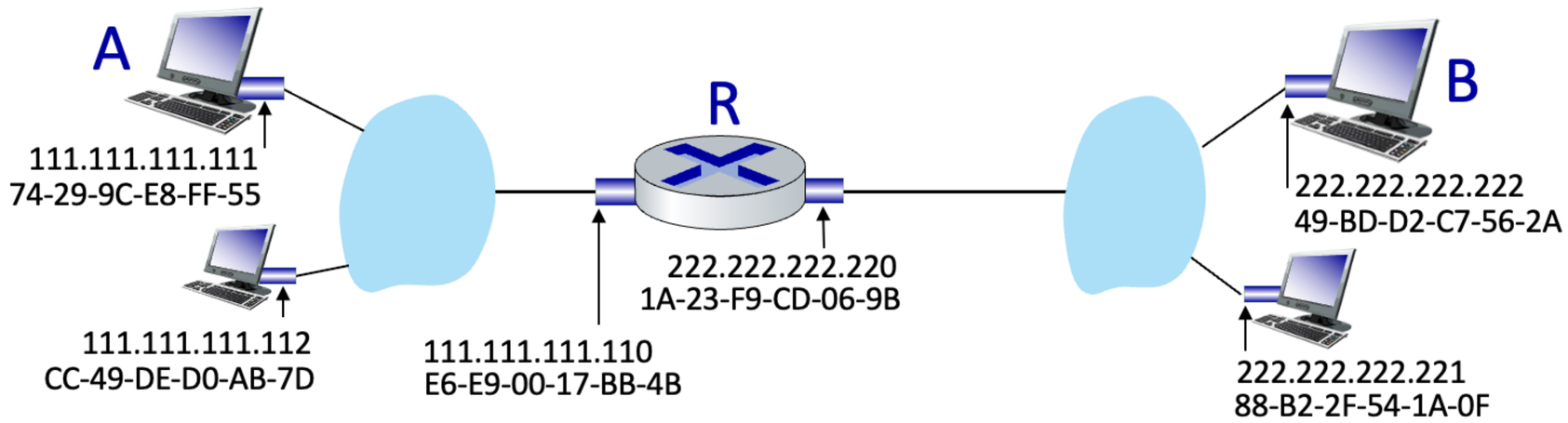
1. H1 constata que IP de H2 não pertence à mesma rede;
2. H1: tem configurado o default gateway 192.16.2.126;
3. H1: Envia trama Ethernet para MAC YY (Fa01 do Router) que encapsula o pacote IP com o endereço de H2

1. R1: Consulta a tabela de encaminhamento e verifica que o IP 192.16.2.155 é atingível pela interface Fa02 MAC:ZZ
2. R1:Envia o pacote IP encapsulado numa nova trama com MACs de origem ZZ e destino WW

Nota: Ao longo do percurso, os endereços MAC das tramas vão sendo modificados quando passam de uma rede para outra. O mesmo não acontece com os endereços IP Remetente e Destino!!

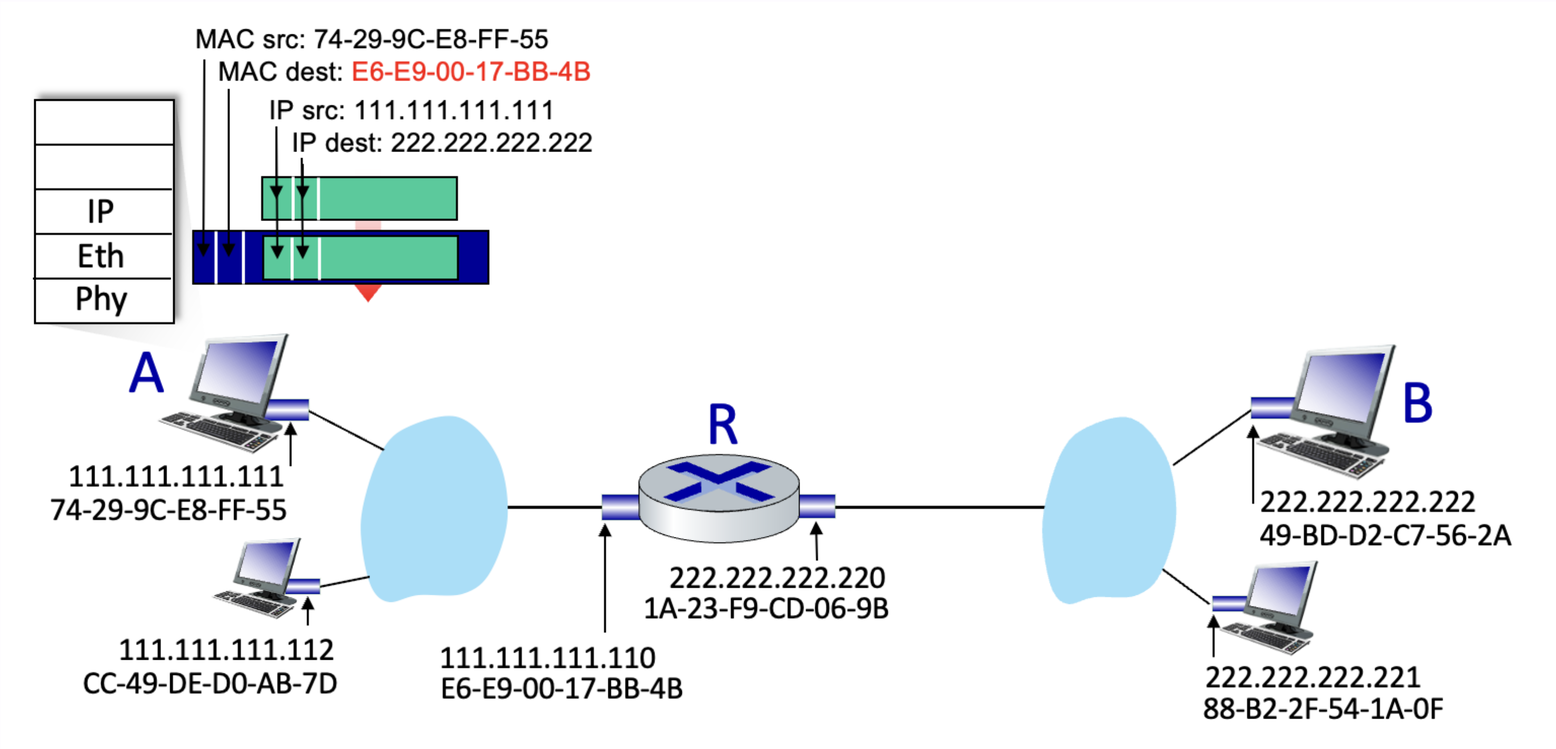
ROUTING TO ANOTHER SUBNET: ADDRESSING

- walkthrough: sending a datagram from A to B via R
  - focus on addressing – at IP (datagram) and MAC layer (frame) levels
- assume that:
  - A knows B's IP address
  - A knows IP address of first hop router, R (how?)
  - A knows R's MAC address (how?)



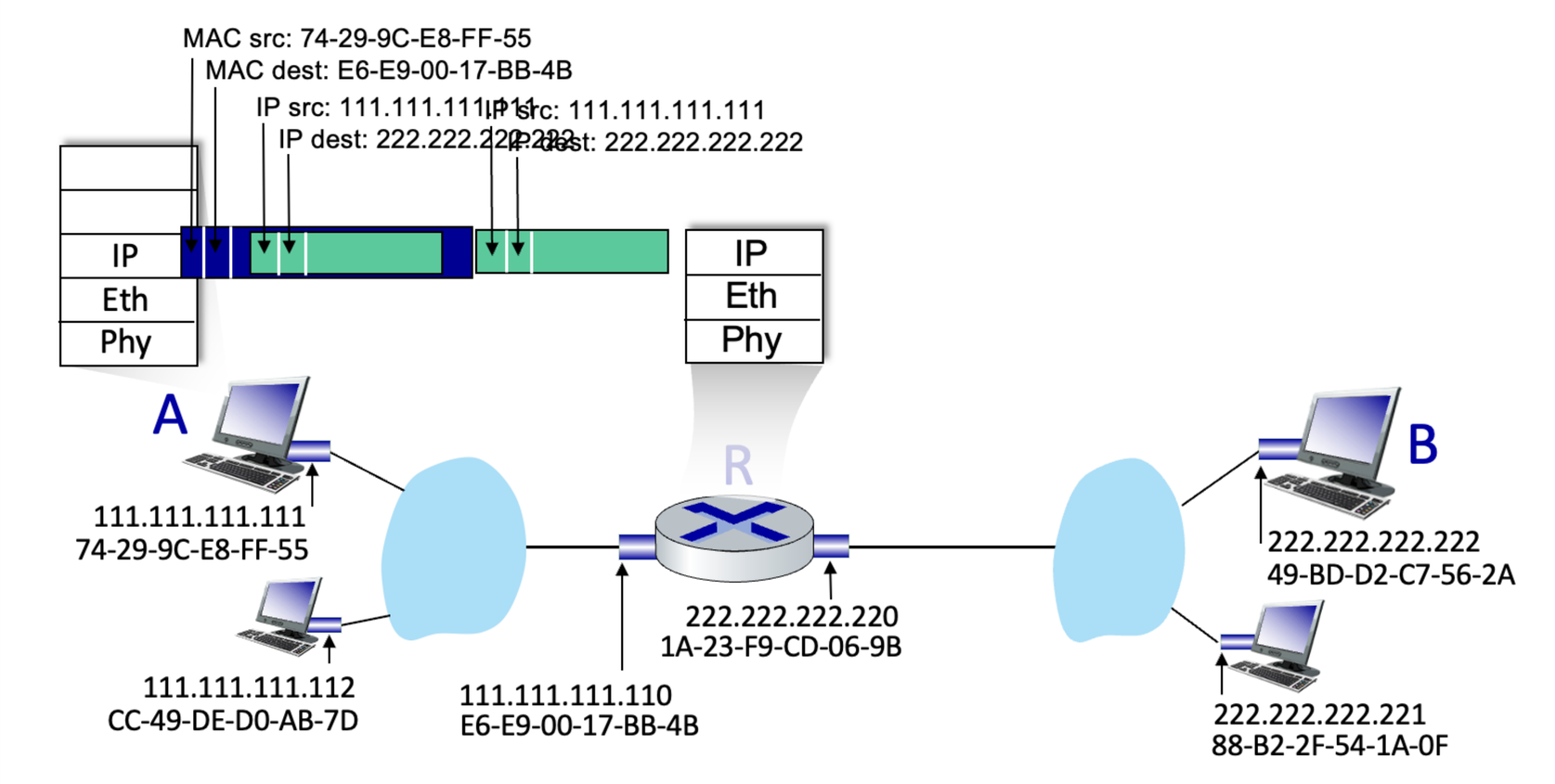
ROUTING TO ANOTHER SUBNET: ADDRESSING

- A creates IP datagram with IP source A, destination B
- A creates link-layer frame containing A-to-B IP datagram
    - R's MAC address is frame's destination



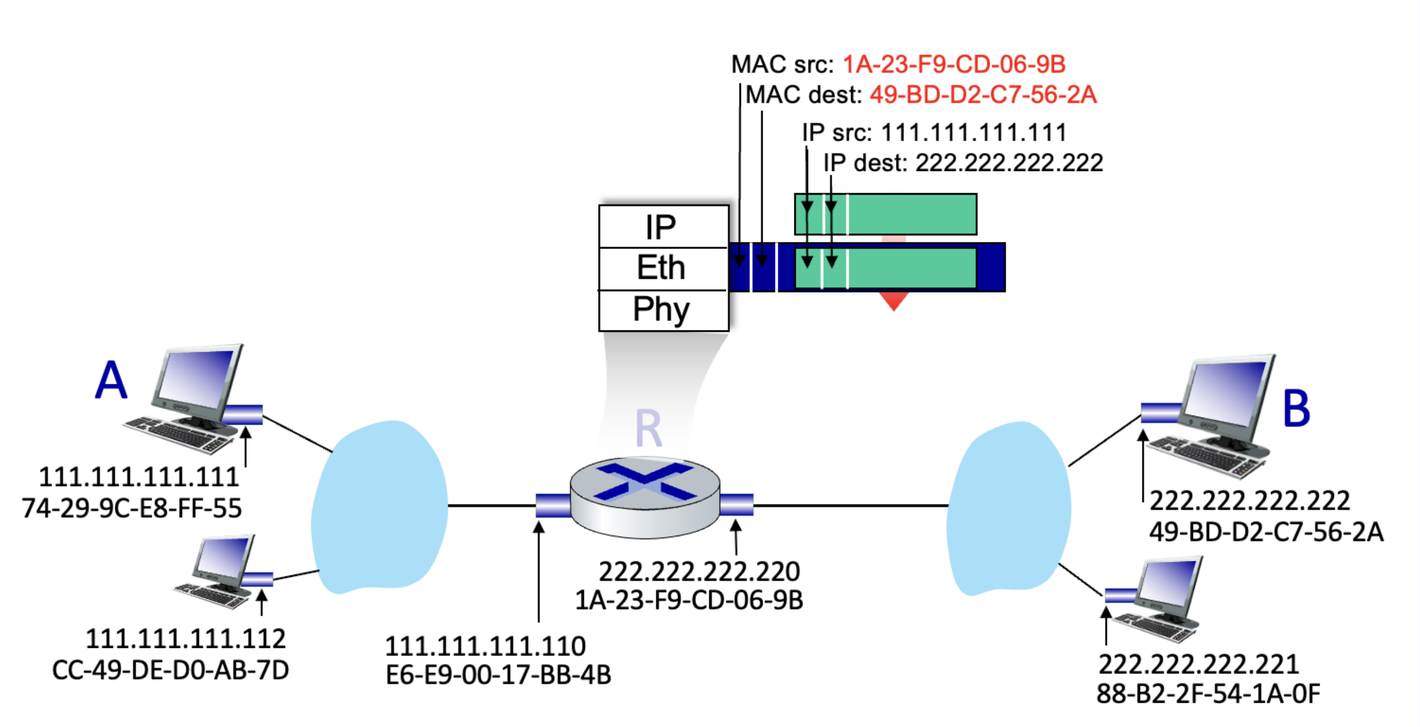
ROUTING TO ANOTHER SUBNET: ADDRESSING

- frame sent from A to R
- frame received at R, datagram removed, passed up to IP



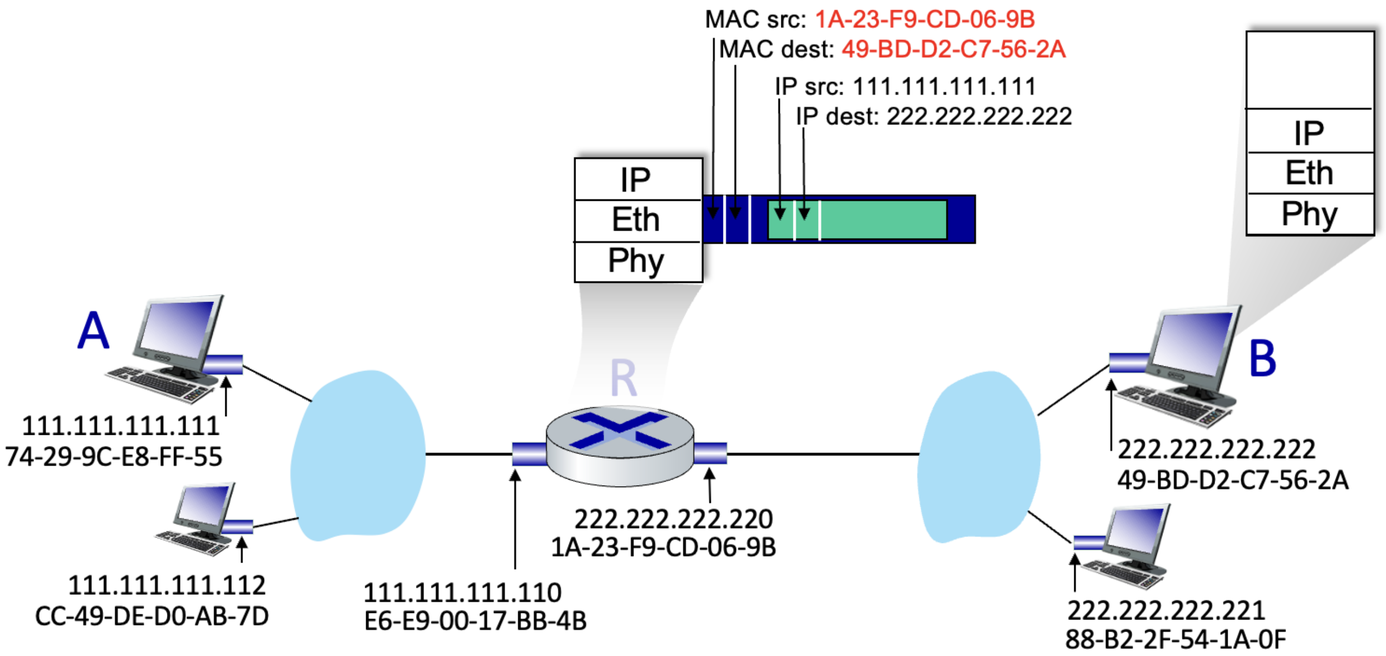
ROUTING TO ANOTHER SUBNET: ADDRESSING

- R determines outgoing interface, passes datagram with IP source A, destination B to link layer
- R creates link-layer frame containing A-to-B IP datagram. Frame destination address: B's MAC address



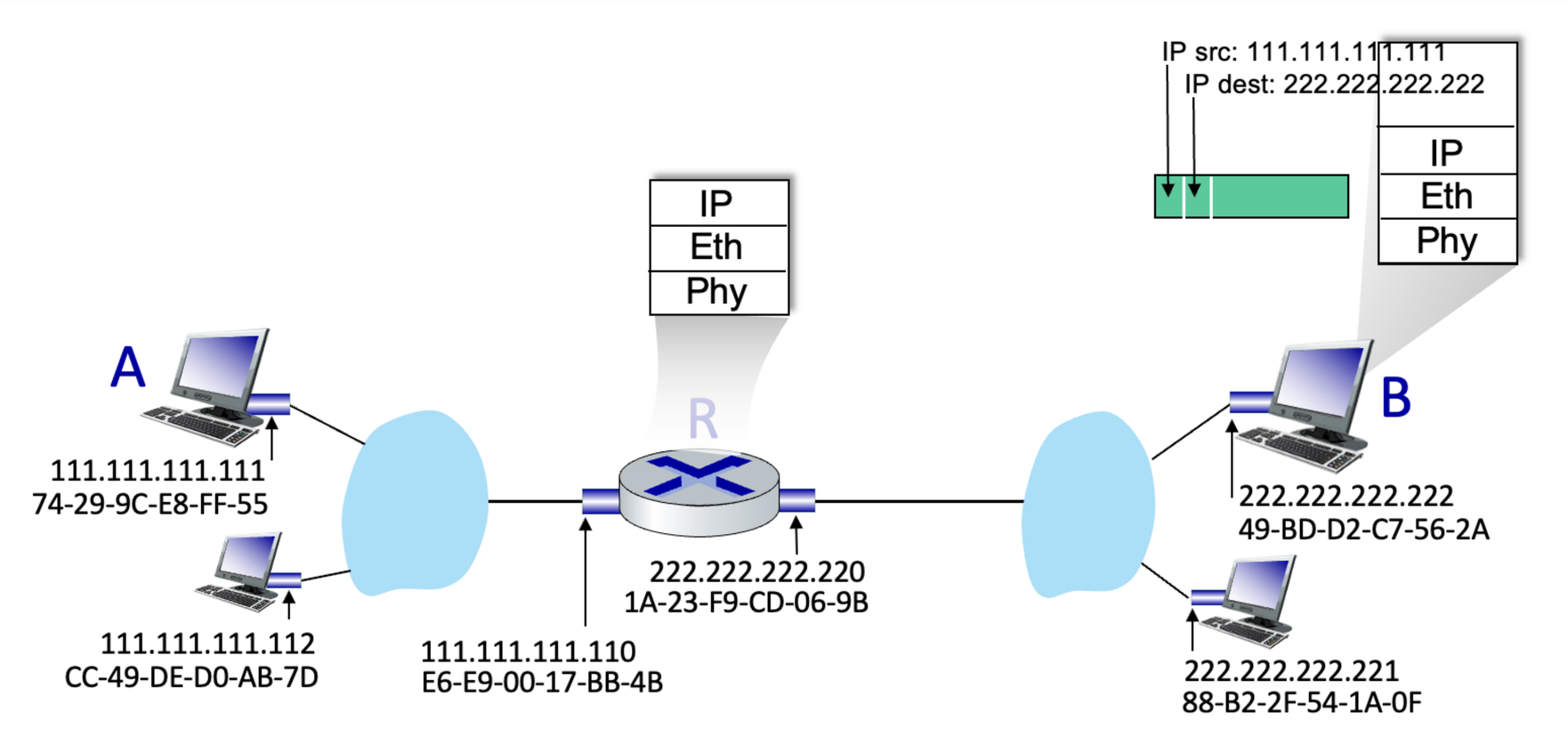
ROUTING TO ANOTHER SUBNET: ADDRESSING

- R determines outgoing interface, passes datagram with IP source A, destination B to link layer
- R creates link-layer frame containing A-to-B IP datagram. Frame destination address: B's MAC address
- transmits link-layer frame



ROUTING TO ANOTHER SUBNET: ADDRESSING

- B receives frame, extracts IP datagram destination B
- B passes datagram up protocol stack to IP



DÚVIDAS?