

Revisão Redes de Computadores.

As redes de computadores surgiram no final da década de 1960 com o objetivo de compartilhar recursos. Sua grande popularização em ambientes corporativos na década de 1970 fez com que a ISO (Organização de Padronização Internacional) desenvolvesse o modelo de referência para sistemas abertos (**OSI**) baseado em sete camadas. A arquitetura de camadas é importante uma vez que torna mais simples cada camada, facilita o seu desenvolvimento, evolução e manutenção.

Os protocolos OSI não foram bem recebidos pelos usuários de redes de computadores que na época (1980) utilizavam os **protocolos** da família TCP/IP. Com o tempo e a popularização da Internet, que utiliza o TCP/IP, a grande maioria das redes de computadores também adotou os protocolos TCP/IP como principais. Entretanto, para o estudo de redes, usaremos um modelo híbrido baseado no OSI e no TCP/IP em que temos as seguintes camadas:

Camada	Protocolos/Tecnologia
Aplicação	DNS, WWW, FTP, E-mail.
Transporte	TCP – UDP.
Rede	IP.
Enlace	IEEE 802.11 WiFi, IEEE 802.3 Ethernet , IEEE 802.16 WiMax.
Física	Fibra óptica, cabo UTP , cabo Coaxial, laser, ondas eletromagnéticas.

Relembremos alguns pontos importantes de cada camada de nosso modelo híbrido.

A camada física:

- Transmite uma sequência de bits num canal de comunicação. Move os bits de um nodo até outro.
- Garante que quando um lado envia um bit 1, ele seja recebido como um bit 1 pelo outro lado e não como um bit 0.
- Estabelece os parâmetros de tensão e corrente elétricas (quantos volts equivalem a um 1 ou a um 0), o período de tempo de cada bit (em frações de segundos) e como iniciar e terminar uma conexão

- Estabelecer os parâmetros mecânicos das interfaces (cabos, conectores, pinagem, etc).
- Lidar com as interfaces mecânicas, elétricas e de sincronização e com o meio físico de transmissão que se situa abaixo da camada física.

Vejamos na tabela abaixo, algumas características relativas à uma conexão física.

Características de uma Conexão Física	Tipo
Quanto ao sentido da transmissão	Simplex – Num sentido único somente
	Semiduplex – Alternadamente no sentido direto e sentido inverso
	Duplex – Simultaneamente no sentido direto e no sentido inverso
Quanto ao modo de transmissão	Serial – Transmite um <i>bit</i> após o outro
	Paralela – São transmitidos simultaneamente vários <i>bits</i>
Quanto à cadência da transmissão	Síncrona – Dados e sincronismo de <i>bit</i> são codificados e transmitidos segundo um sinal único
	Assíncrona – São transmitidos segmentos de dados (octetos, <i>bytes</i> ou caracteres) e uma informação de fase do sincronismo de <i>bit</i> por segmento.
Quanto a sua utilização	Dedicada – utilização por somente um único par de sistemas finais
	Partilhada – partilhado por vários usuários, por demanda. O acesso ao meio é controlado (MAC – <i>Medium Access Control</i>)
Quanto à estrutura de transmissão	Estruturada – cadência contínua pelo meio de módulos de transporte nos quais são encapsulados os dados
	Não estruturada – Linha apresenta sinal somente quando são transmitidos blocos de dados de forma aleatória no tempo.

Figura 1 – Características de conexões físicas.

Na figura 1 podemos encontrar alguns outros termos vinculados as tecnologias enumeradas, como por exemplo, semiduplex = *half-duplex*, duplex = *full duplex*, dedicada = ponto a ponto, partilhada = difusão = *broadcast*, etc.

Quando enviamos um dado de um ponto a outro através de um meio físico, precisamos levar em consideração algumas propriedades como overhead, largura de banda e tempo de voo, destacados na figura 2.

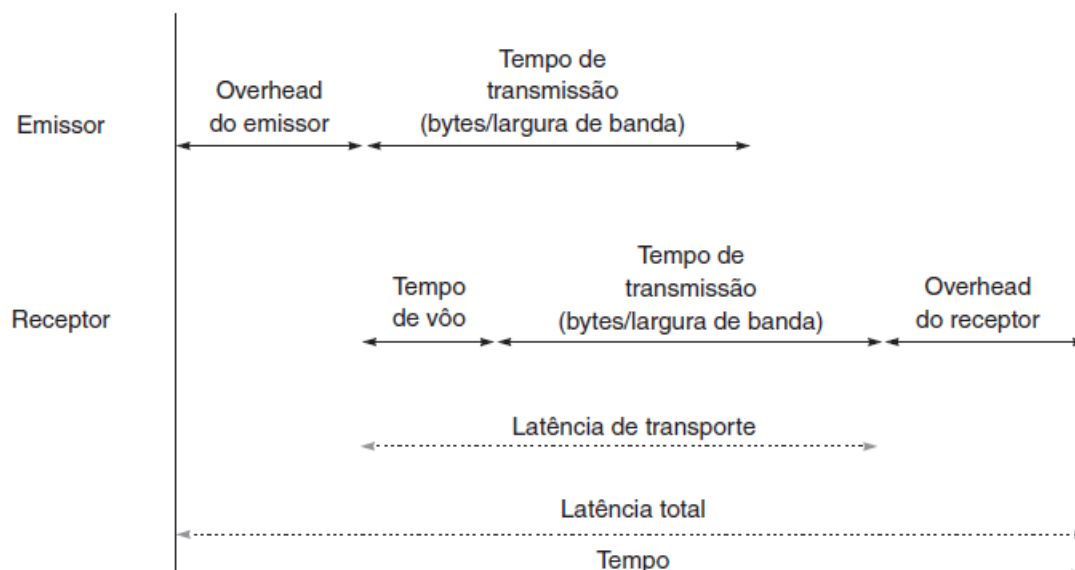


Figura 2 – propriedades de transmissão de dados.

Largura de Banda: É a faixa de frequências transmitidas sem serem fortemente atenuadas pelo meio. Na prática, o corte não é nítido; assim, muitas vezes a largura de banda varia desde 0 até a frequência em que metade da potência é transmitida. A largura de banda é uma propriedade física do meio de transmissão, e em geral depende da construção, da espessura e do comprimento do meio. (Tanenbaum, 2012)

Taxa de Transmissão: É o valor em bits por segundo que está sendo transmitido.

Tempo de voo – É o tempo para que o primeiro bit do pacote chegue no receptor, incluindo o atraso de propagação pelos links e os atrasos decorrentes de outro hardware na rede, como repetidores de link e switches de rede. A unidade de medida para o tempo de voo pode ser em ms para WANs, ms para LANs, ns para SANs (Redes de Armazenamento), e ps para OCN (On Chips Networks).

Tempo de Transmissão: Esse é o tempo para que o pacote passe pela rede, sem incluir o tempo de voo. Uma forma de medi-lo é a diferença no tempo

entre quando o primeiro bit do pacote chega no receptor e quando o último bit desse pacote chega no receptor.

Por definição, o tempo de transmissão é igual ao tamanho do pacote dividido pela largura de banda de dados dos links de rede. Essa medida considera que não existem outros pacotes disputando por essa largura de banda (ou seja, uma rede de carga zero e sem carga).

Latência de transporte – Essa é a soma do tempo de voo e o tempo de transmissão. A latência de transporte é o tempo que o pacote gasta na rede de interconexão. Colocando de outra forma, esse é o tempo desde quando o primeiro bit do pacote é injetado na rede até quando o último bit desse pacote chega no receptor. Isso não inclui o overhead de preparação do pacote no emissor ou seu processamento quando ele chega no receptor.

Overhead de envio – Esse é o tempo para que o nó final prepare o pacote para injeção na rede, incluindo os componentes de hardware e software. Observe que o nó final está ocupado pelo tempo inteiro, daí o uso do termo *overhead*. Quando o nó final está livre, quaisquer atrasos subsequentes são considerados parte da latência de transporte.

Consideramos que o overhead consiste em um termo constante mais um termo variável que depende do tamanho do pacote. O termo constante inclui alocação de memória, preparação de cabeçalho de pacote, configuração de dispositivos de DMA e assim por diante. O termo variável é devido principalmente a cópias de buffer para buffer e normalmente é insignificante para pacotes muito pequenos.

A latência total de um pacote pode ser expressa algebricamente da seguinte forma:

$$\text{Latência} = \text{Overhead de envio} + \text{Tempo de voo} + (\text{Tamanho do pacote} / \text{Largura de banda}) + \text{Overhead de recebimento}$$

Meios de Transmissão.

Em relação aos meios de transmissão, temos os seguintes:

Meios guiados: propagação direcionada através de cabos metálicos ou fibras óticas;

Meios não guiados: propagação em todas as direções, através do ar, vácuo ou água.

Meios Guiados:

Cabo par trançado¹

Par de fios trançados, normalmente de cobre, cada qual envolvido por uma jaqueta de PVC isolante. Um fio do par transporta os sinais entre transmissor e receptor e o outro fio faz o papel de referência do sinal. Possui baixo custo e usado para curtas distâncias (100 m). O trançado facilita a eliminação dos sinais indesejáveis no receptor.

Tipos

- UTP – *Unshielded Twisted Pair* – Par trançado sem blindagem.
- STP – *Shielded Twisted Pair* – Par trançado blindado.
- FTP – *Foiled Twisted Pair* – Par trançado folheado.
- SSTP – *Screened Shielded Twisted Pair* – Par trançado blindado e protegido.

Os cabos de pares trançados que são utilizados para comunicação de dados em redes de computadores são classificados em categorias ou classes de desempenho definidas por organismos de padronização como ISO, EIA/TIA e ABNT. Seguem abaixo as categorias.

Categoria ou CAT 1 - Consiste em um cabo blindado com dois pares trançados compostos por fios 26 AWG. São utilizados por equipamentos de telecomunicação e rádio. Foi usado nas primeiras redes Token-ring mas não é aconselhável para uma rede par trançado. Possui velocidade abaixo de 100 kbps e largura de banda de 1 MHz.

Categoria ou CAT 2 - É formado por pares de fios blindados (para voz) e pares de fios não blindados (para dados). Também foi projetado para antigas redes token ring e ARCnet chegando a velocidade de 4 Mbps e largura de banda de 4 MHz.

¹ Assista como se fabrica um cabo UTP em: <http://www.youtube.com/watch?v=axvwMHV7SsU>.

Categoria ou CAT 3, Classe C - É um cabo não blindado (UTP) usado para voz e dados de até 10 Mbits com a largura de banda de até 16 MHz. Foi muito usado nas redes Ethernet criadas nos anos noventa (10BASET), possuía 24 torções por metro.

Categoria ou CAT 4 - Cabo padronizado usado para transmissão de dados que utiliza frequências até 20 MHz. É muito usado em redes ethernet de 10 Mbps. É um cabo par trançado não blindado (UTP) que pode ser utilizado para transmitir dados a 20 Mbps.

Categoria ou CAT 5 - Usado em redes *fast ethernet*. Pode ser usado para frequências até 100 MHz com uma taxa de 100 Mbps.

Categoria ou CAT 5e, Classe D - É uma melhoria da categoria 5. Pode ser usado para frequências até 100 MHz em redes “1000BASE-T gigabit ethernet”.

Categoria ou CAT 6, Classe E - Definido pela norma ANSI TIA/EIA 568B-2.1 possui bitola 24 AWG e banda passante de até 250 MHz e pode ser usado em redes gigabit ethernet a velocidade de 1 Gbps em 100 metros ou 10 Gbps em 55 metros.

Categoria ou CAT 6a, Classe Ea – Largura de banda de até 500 MHz. Aceita 10 Gbps em 100 metros.

Categoria ou CAT 7, Classe F – Banda passante de 600 MHz, velocidade de 10 GB, aceita distância de 100 m.

Categoria ou CAT 7a, Classe Fa – Banda passante de 1000 MHz, velocidade de 10 GB, aceita distância de 100 m.

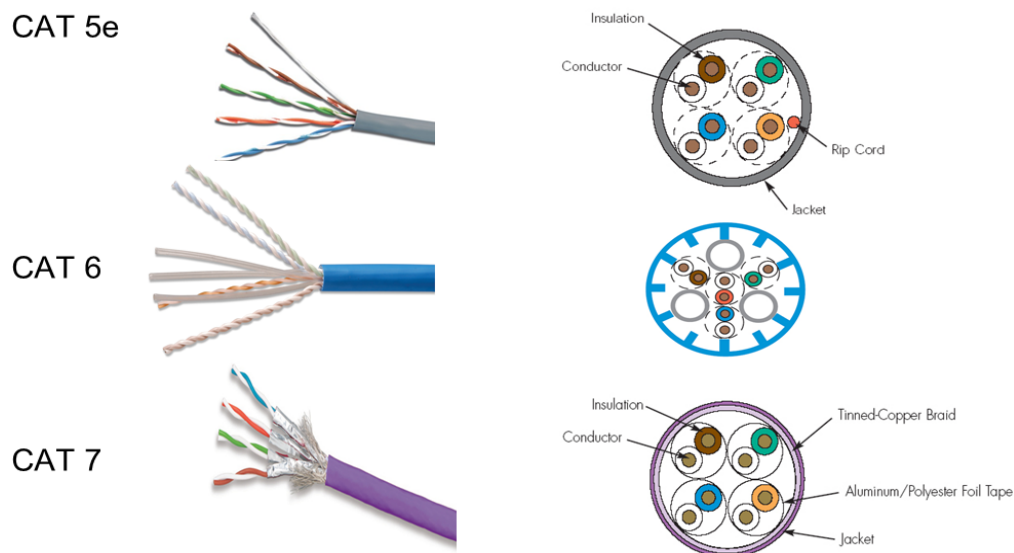


Figura 3 – Cabos UTP e STP

Fibra óptica²

A fibra óptica possui um núcleo interno de fibra de vidro com uma casca que envolve o núcleo, também de fibra de vidro. Possui uma película que recobre a casca, chamada de acrilato. O tubo em que as fibras são comportadas é chamado de tubete e possui também fios de aramida, que atuam como proteção a tração e um bastão de kevlar, que fornece resistência mecânica. A capa da fibra é formada por um polímero.

Tipos de Fibras:

Fibra óptica multimodo de índice gradual. Possui um núcleo composto por índice de refração variável, crescente da periferia para o centro. Possui menor dispersão do sinal e maior largura de banda. Geralmente possui núcleos com diâmetros de 50, 62,5 ou 85 μm e casca de 125 μm . Apresenta atenuação da ordem de no máximo 3 dB/Km a 850 nm. E sua banda passante atinge 1 GHz/Km

Fibra óptica monomodo. Possui um núcleo de reduzidas dimensões que, a partir de um determinado comprimento de onda de luz, transmite só um modo³. Núcleo que pode ter diâmetro de 2 a 10 μm e a casca o diâmetro de 125 μm . Sua largura de banda está entre 10 a 100 GHz. Sua atenuação varia entre 0,2 dB/KM a 0,5 dB/Km.

² Assista como se fabrica a fibra óptica em: <http://www.youtube.com/watch?v=AS95A8pvcIk>

³ Um modo é um caminho eletromagnético no qual a luz pode trafegar no interior da fibra.

As fibras ópticas possuem janelas de transmissão que estão relacionadas ao comprimento de onda da luz que trafega em seu interior. Essas janelas de transmissão, mostradas na figura 4, são regiões em que a luz trafega com baixas perdas e portanto, são mais utilizadas para comunicação de dados.

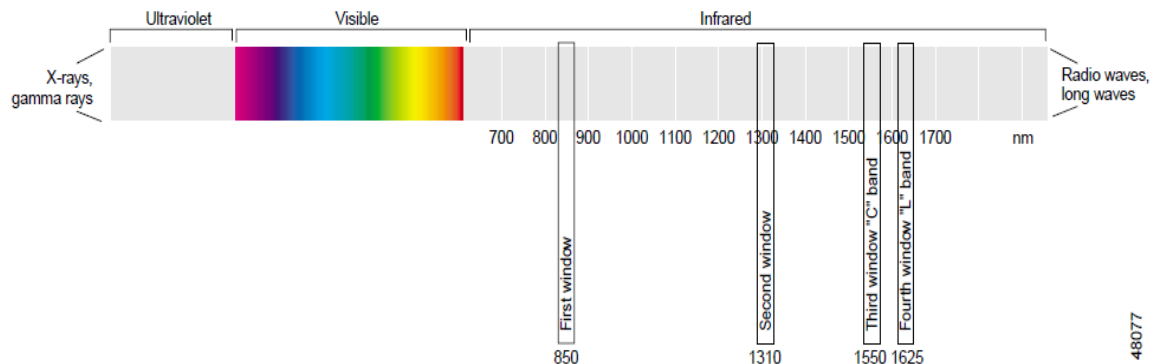


Figura 4 - Janelas de transmissão da fibra óptica.

Vantagens da Fibra óptica

- Largura da banda. Não há limite para o meio e sim para a tecnologia de geração e recepção de sinais.
- Atenuação. Distância de transmissão muito maior que qualquer par metálico. Em alguns casos o sinal pode viajar 50 km sem regeneração.
- Imunidade à interferência eletromagnética.
- Resistência à corrosão dos materiais.
- Peso.
- Imune às derivações.

Desvantagens da fibra óptica

- Instalação/Manutenção. Alto custo de instalação/manutenção e mão de obra escassa.
- Unidirecional. A propagação dá-se apenas em um sentido necessitando de dois cabos, um para envio e outro para recepção.
- Custo. Cabo e interfaces são relativamente mais caras que nos outros tipos de meio. Necessita de uma grande demanda.

A camada de Enlace:

- Transforma a cadeia de bits do meio físico em uma linha livre de erros detectáveis de transmissão para a camada de rede;
- Transforma a cadeia de bits em quadros de dados (*frames*), inserindo marcadores de início e fim, envia os *frames* em sequência e processa o *acknowledgment* (confirmação) dos *frames* de volta à origem;
- Cria e reconhece os delimitadores dos *frames*, distinguindo-os de possíveis sequências de bits enviadas pela camada física;
- Retransmite quadros perdidos/danificados e reconhece *frames* duplicados;
- Implementa um mecanismo de regulação de fluxo impedindo que uma fonte rápida “sufoque” um receptor lento (através de *buffers*);
- Implementa um mecanismo de detecção e/ou correção de erros;
- Implementa um mecanismo de controle de acesso ao meio para redes locais.

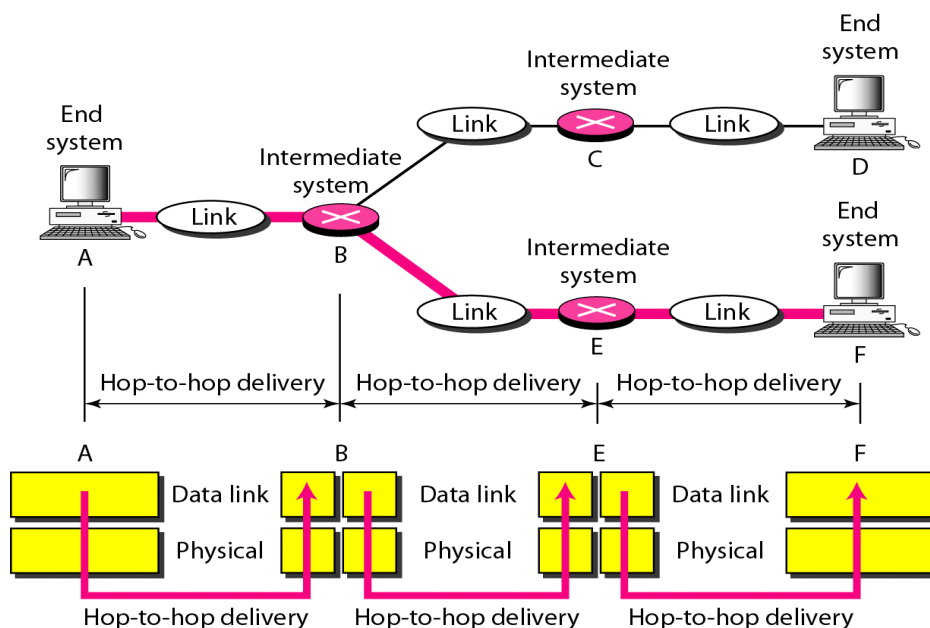


Figura 5 - Camada de Enlace – Entrega Hop a hop.
Fonte: Forouzan, 2008.

A camada de Rede:

- Faz o roteamento dos pacotes;
- Faz o controle de congestionamento com gerenciamento de filas;
- Faz o controle da qualidade de serviço QoS (retardo, tempo de trânsito, etc);
- Interconecta redes heterogêneas (compatibilizar enlaces diferentes);

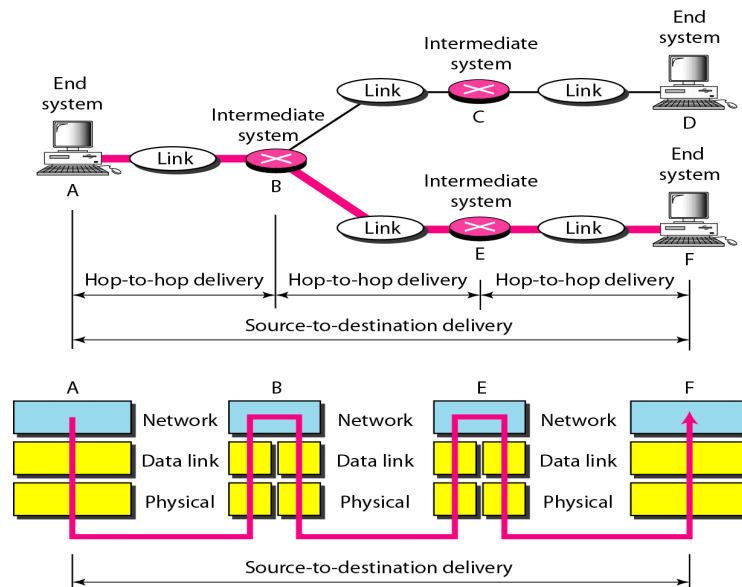


Figura 6 - Camada de Rede – Entrega Origem – Destino.
Fonte: Forouzan, 2008.

A camada de Transporte.

- Pode garantir, ou não, a entrega (qualidade) e sequência (orientação à conexão);
- Isola os níveis superiores de possíveis mudanças na arquitetura de *hardware*;
- Estabelece e termina conexões;
- É a primeira camada realmente fim-a-fim (liga a origem ao destino);
- Faz entrega processo a processo.
- Possui os seguintes protocolos:
 - UDP (*User Datagram Protocol*)
 - Não-orientado à conexão, não confiável (sem confirmação);
 - Usado em aplicações tipo cliente-servidor que usam mecanismo request-reply;
 - Usado onde velocidade é mais importante que confiabilidade.
 - TCP (*Transmission Control Protocol*)
 - Orientado a conexão e confiável (garantia de entrega);
 - Permite que uma sequência de bytes seja entregue, livre de erros;
 - Fragmenta a mensagem original em pacotes e passa à camada de rede;

- Remonta os pacotes no destino.

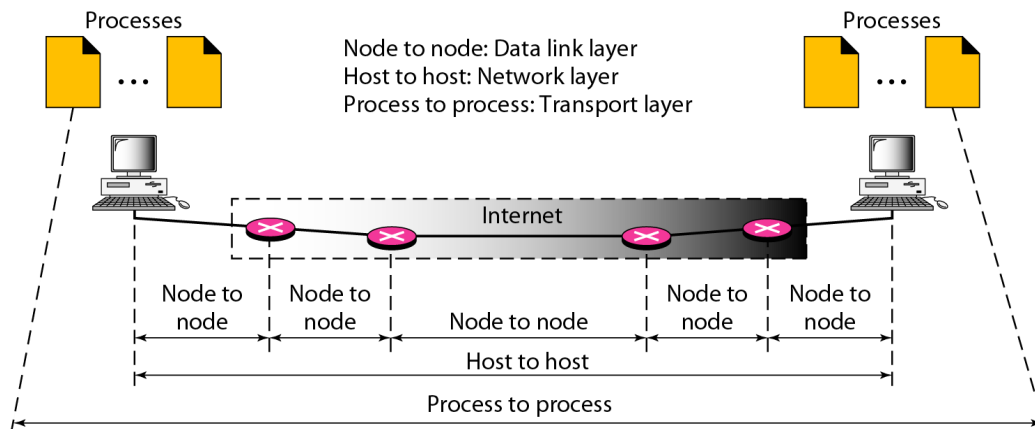


Figura 7 - Camada de Transporte – Entrega processo a processo.
Fonte: Forouzan, 2008.

A camada de Aplicação:

- Promove abstrações da rede para o software de usuários;
- Fornece protocolos de transferência de hipertexto (WEB *browsers*), e-mail, execução remota (telnet), transferência de arquivos (FTP), etc.

Tipos de Redes.

As redes de computadores podem ser classificadas em PAN, LAN, MAN e WAN, respectivamente, redes de área pessoal, redes de área local, redes de área metropolitana e redes geograficamente distribuídas. As redes de área pessoal têm como objetivo a interconexão de dispositivos como celulares, PDAs e notebooks em uma área reduzida. As redes locais conectam computadores de uma mesma sala ou prédio. As redes metropolitanas conectam computadores entre bairros ou regiões de uma cidade e as redes geograficamente distribuídas conectam redes locais.

Tipo Rede	Cobertura	Meios	Taxas Típicas	Padrões e Implementações Representativas
PAN ou WPAN	Alguns metros	Canais de RF (<i>wireless</i>)	2 Mbit/s	Bluetooth (IEEE 802.15)
LAN ou WLAN	Alguns quilômetros	Par trançado, fibra óptica e RF	10Mbit/s a 10 Gbit/s ($10 \cdot 10^6$ a $10 \cdot 10^9$ bit/s)	Ethernet, <i>Token Ring</i> , <i>Token Bus</i> IEEE: 802.3, 802.4, 802.5, WLAN 802.11 (Wi-Fi)
MAN ou WMAN	Centenas de quilômetros	Fibra óptica e canais de RF	155Mbit/s a 10Gbit/s ($155 \cdot 10^6$ a $10 \cdot 10^9$ bit/s)	DQDB (IEEE: 802.6), Metro-Ethernet, NG-SDH, WMAN IEEE 802.16 (WiMAX)
WAN	Nacional e internacional	Fibra óptica	64kbit/s a Tbit/s ($64 \cdot 10^3$ a 10^{12} bit/s)	PDH, SDH/Sonet, Internet, MPLS, OTN ITU-T (G.709)

IEEE: Institute of Electric & Electronic Engineering
ITU-T: International Telecommunication Union
DQDB: *Dual Queue Distributed Bus*
MPLS: *Multiprotocol Label Switching*

NG-SDH: *Next Generation SDH*
OTH: *Optical Transport Network*
PAN: *Personal Area Network*
PDH: *Plesiochronous Digital Hierarchy*

SDH: *Synchronous Digital Hierarchy*
WAN: *Wide Area Network*
WLAN: *Wireless LAN*
WMAN: *Wireless MAN*

Figura 8 – Tipos de Redes.
Fonte: Redes de Computadores, Carissimi.

Quanto à tecnologia de transmissão, as redes de computadores podem ser de difusão ou ponto a ponto. Na difusão, os computadores compartilham o mesmo meio de transmissão e possuem um protocolo que regula em que momento cada um vai fazer a comunicação. Nas redes ponto a ponto, pares de máquinas individuais fazem a comunicação. As redes de difusão são utilizadas em LANs e as redes ponto a ponto em redes WANs. Na figura 1 pode-se ver os diferentes tipos de redes funcionando em conjunto.

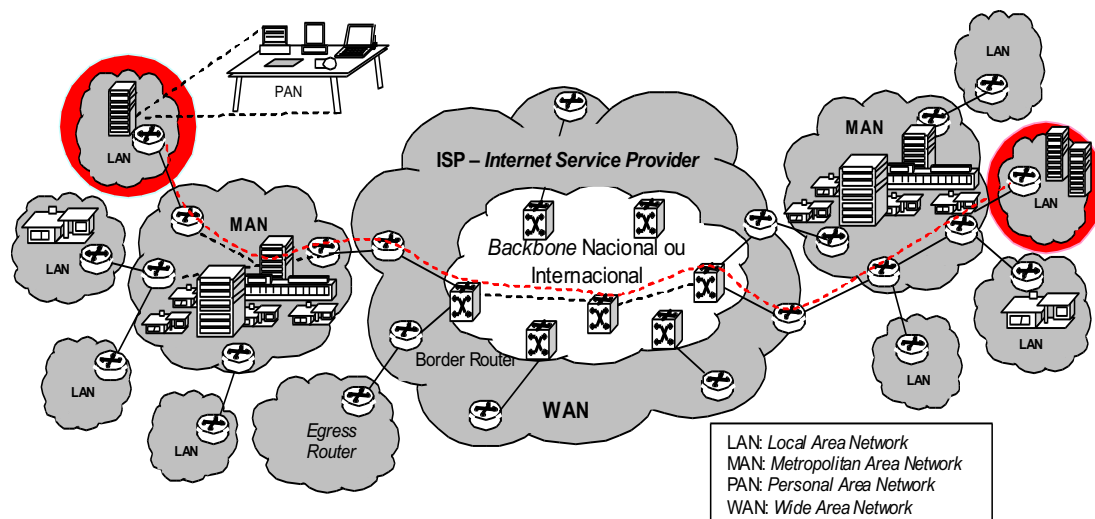


Figura 9 – Heterogeneidade de redes.
Fonte: Redes de Computadores, Carissimi.

Em relação às LANs, com o objetivo de atender às exigências de aplicações das grandes corporações, surgiu o modelo representado na figura 2 em que temos os equipamentos de acesso, de distribuição e de núcleo.

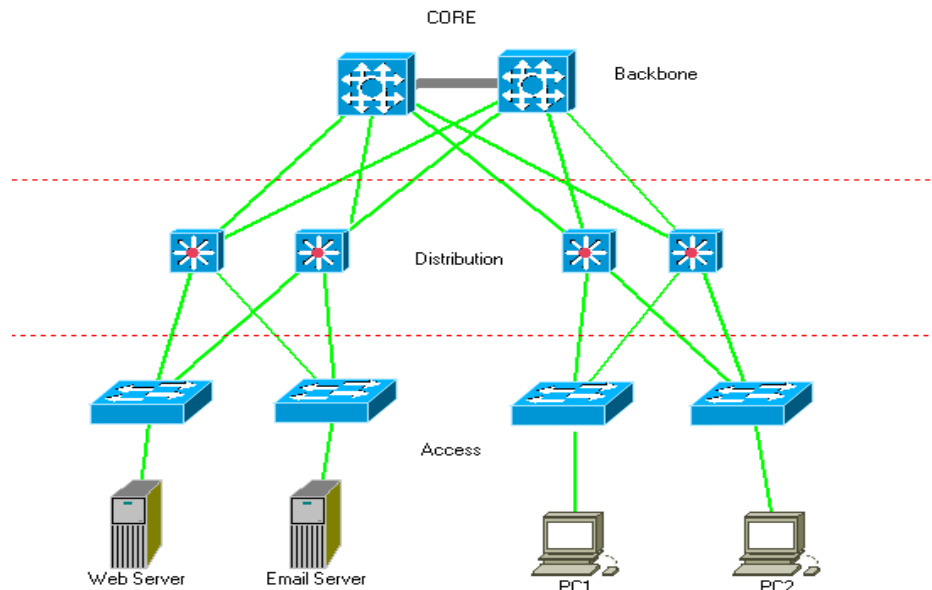


Figura 10 – Novo modelo de LAN.
Fonte: Cisco Systems.

Ethernet.

A maioria das LANs presentes nas empresas baseia-se na tecnologia ethernet, desenvolvida por Robert Metcalf quando trabalhava na Xerox e hoje possui a sua padronização sob a responsabilidade do grupo 802 do IEEE. A ethernet é um padrão de LAN 1-persistente CSMA/CD que possui detecção de portadora (detecta quando outra estação está transmitindo) e é implementada em uma rede de barramento. A ethernet original possuía uma velocidade máxima de 2.94 Mbps.

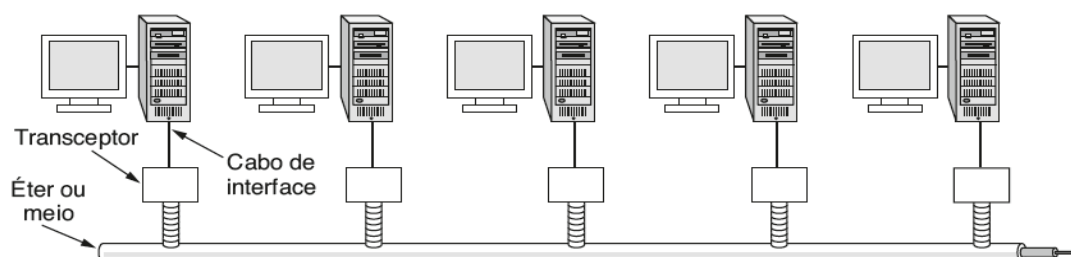


Figura 11 – Barramento Ethernet
Fonte: Tanenbaum, 2012.

A ethernet encapsula, no campo de dados, os pacotes recebidos da camada de rede em quadros ou frames que possuem o formato representado na figura 12.

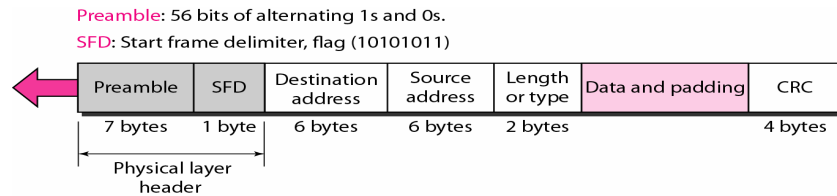


Figura 12 – Quadro Ethernet.
Fonte: Forouzan, 2008.

Os endereços Ethernets são formados por 12 dígitos hexadecimais. Os seis primeiros dígitos representam o fabricante e os dígitos restantes endereçam as interfaces dos hosts.

06 : 01 : 02 : 01 : 2C : 4B

6 bytes = 12 hex digits = 48 bits

Figura 13 – Endereço MAC.
Fonte: Forouzan, 2008.

A Ethernet funciona com o protocolo CSMA/CD, que controla o momento em que as estações enviarão os seus quadros. Ele é descrito abaixo:

1. Adaptador recebe um datagrama da camada de rede e cria um quadro.
2. Se o adaptador detecta um canal livre, ele começa a transmitir o quadro. Se ele detecta o canal ocupado, espera até ele ficar livre e então transmite.
3. Se o adaptador transmite o quadro todo sem detectar outra transmissão, sua missão com esse quadro está cumprida!
4. Se o adaptador detecta outra transmissão enquanto transmite, ele aborta e envia um reforço de colisão (jam signal).
5. Após abortar, o adaptador entra em exponential backoff: após a m -ésima colisão, o adaptador escolhe um K aleatório de $\{0, 1, \dots, 2^m - 1\}$. O adaptador espera

$K \cdot 512$ tempos de bit e retorna ao passo 2. Para velocidade de 10 Mbps esperará 51,2 μ s para $K=1$.

Evolução da Ethernet.

A evolução da Ethernet de barramento foi a Ethernet em estrela. Representada na figura 14. Ela atingiu a velocidade de 10 Mbps, utilizando cabo par trançado e o hub.

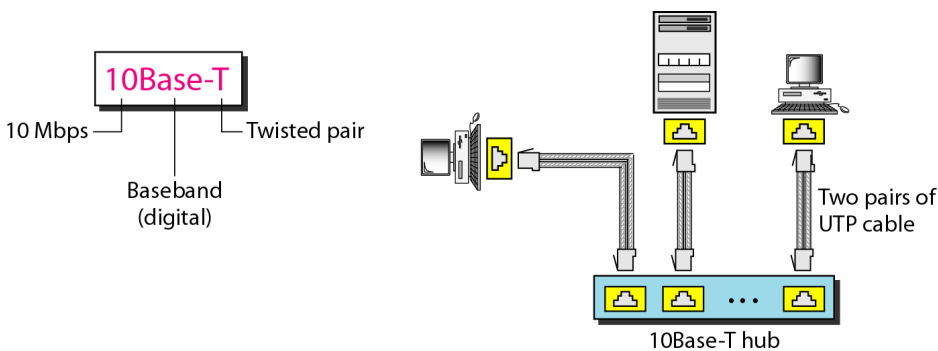


Figura 14 – 10BaseT.
Fonte: Forouzan, 2008.

Depois veio o Fast Ethernet, 100BaseT – IEEE 802.3u. O tempo de transmissão de bit caiu de 100 para 10ns e os cabos coaxiais foram abolidos. A evolução seguinte foi o 1000BaseT – Gigabit Ethernet – IEEE 802.3z, que usa o formato do quadro do Ethernet padrão, permite enlaces ponto-a-ponto e canais de múltiplo acesso compartilhados. No modo compartilhado, o CSMA/CD é usado. Temos também o 10 Gigabit Ethernet, representado na figura 15. Ele é utilizado para ligar redes metropolitanas e redes campus de alta velocidade, *clusters* e datacenters. O CSMA/CD não é utilizado e trabalha apenas no modo *full-duplex*.

Nome	Cabo	Distância máxima do segmento	Vantagens
10GBase-SR	Fibra óptica	Até 300 m	Fibra multimodo (0,85 μ)
10GBase-LR	Fibra óptica	10 Km	Fibra monomodo (1,3 μ)
10GBase-ER	Fibra óptica	40 Km	Fibra monomodo (1,5 μ)
10GBase-CX4	4 pares de twinax	15 m	Cobre twinaxial
10GBase-T	4 pares de UTP	100 m	UTP padrão da Categoria 6a

Figura 15 – Características do 10 Gigabit Ethernet.
Fonte: Redes de Computadores, Carissimi.