

## 2) ARQUITETURA DE REDES DE COMPUTADORES

### 2.1) CAMADA FÍSICA

#### 2.1.1) EMBASAMENTO TEÓRICO PARA COMUNICAÇÃO DE DADOS

- ❖ transmissão de sinal: propagação de ondas através de um meio físico (ar, fios metálicos, fibra de vidro) que podem ter suas características (amplitude, frequência, fase) alteradas no tempo para refletir a codificação da informação transmitida.
- ❖ A informação está associada, em geral, às idéias ou dados manipulados pelos agentes que as criam, manipulam e processam. Sinais correspondem à materialização específica dessas informações, utilizada no momento da transmissão.

---

## REDES DE COMPUTADORES

---

- ❖ sinal analógico: sinal que varia continuamente no tempo.

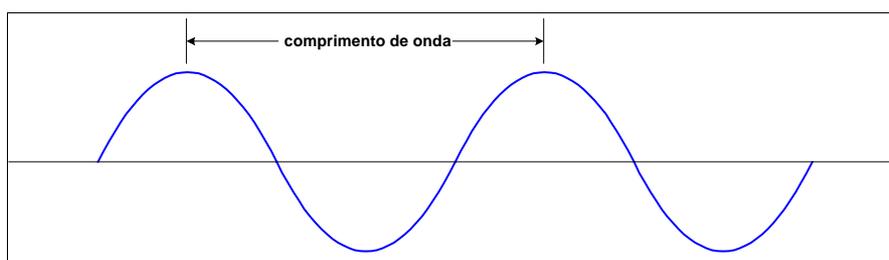


Figura 1. Sinal analógico

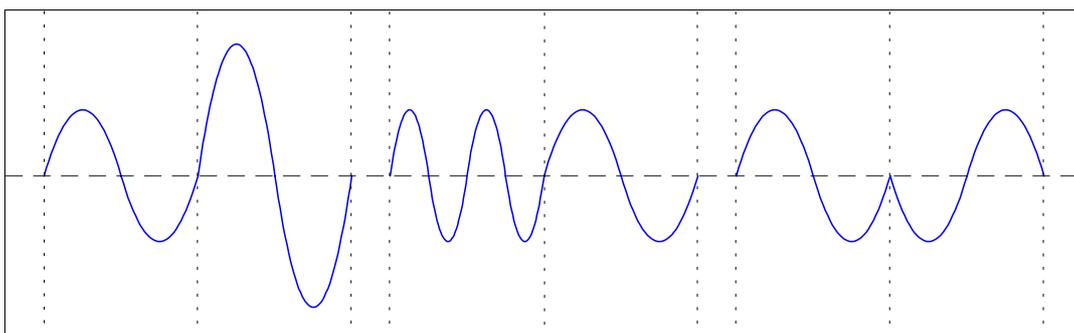


Figura 2. Modulação por amplitude, frequência e fase

- ❖ sinhal digital: seqüência de pulsos com amplitude fixa (em valores discretos), onde o sinal é construído através de uma seqüência de intervalos de tamanho igual a T segundos, chamados intervalos de sinalização.

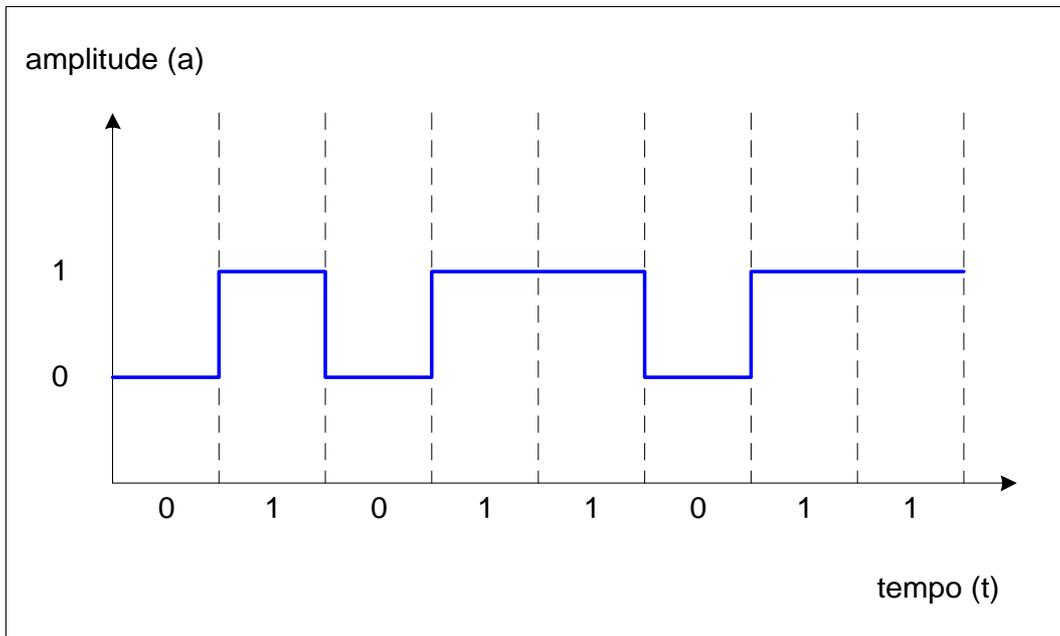


Figura 3. Sinhal digital

- ❖ Em um intervalo de sinalização (T) um ou mais bits podem ser transmitidos (figura 4).

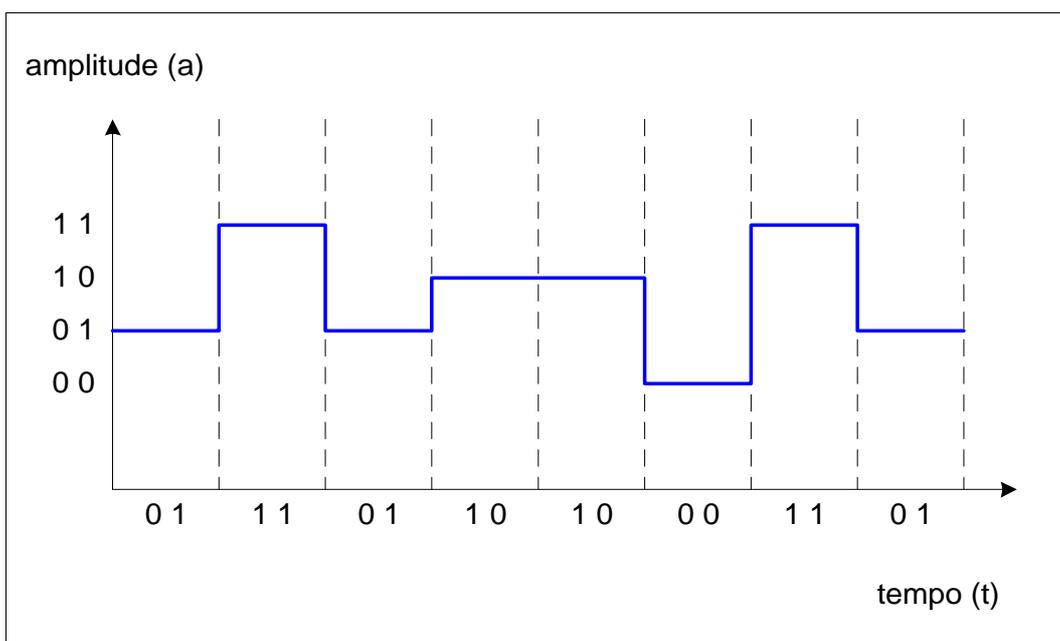


Figura 4. Sinhal digital (dibit)

- ❖ baud: número de intervalos de sinalização em um segundo.

Se:

1 bit em 1 T  $\Rightarrow 2^1$  níveis de sinalização  
2 bits em 1 T  $\Rightarrow 2^2$  níveis de sinalização (dibit)  
3 bits em 1 T  $\Rightarrow 2^3$  níveis de sinalização (tribit)  
...  
n bits em 1 T  $\Rightarrow 2^n$  níveis de sinalização

então:

L níveis de sinalização  $\Rightarrow \log_2(L)$  bits / nível de sinalização

Logo:

1 baud =  $\log_2(L)$  bits por segundo

Exemplo: em uma transmissão de 10 bauds temos:

se 1 bit transmitido em 1 T  $\Rightarrow 10 * \log_2(2)$  bps = 10 bps  
se 2 bits transmitidos em 1 T  $\Rightarrow 10 * \log_2(4)$  bps = 20 bps  
se 3 bits transmitidos em 1 T  $\Rightarrow 10 * \log_2(8)$  bps = 30 bps

## REDES DE COMPUTADORES

---

- ❖ banda passante de um sinal: intervalo de frequências que compõe o sinal.

Exemplo:

banda passante do ouvido humano: 20 Hz a 20 kHz

- ❖ largura de banda: tamanho da banda passante (diferença entre a maior e a menor frequência).

Exemplo:

largura de banda do ouvido humano: 20.000 - 20 = 19.980 Hz

- ❖ Taxa de transmissão máxima de um canal sem ruído (teorema de Nyquist)

- ◆ Em 1924 H. Nyquist provou que se um sinal arbitrário é transmitido por um canal de largura de banda de W Hz, o sinal resultante da transmissão pode ser totalmente reconstituído no receptor através da amostragem do sinal transmitido a uma frequência mínima de 2 W Hz (que também é a máxima recomendada).

- ◆ Para transmissão digital isso implica que o nível de sinalização (mudanças de amplitude do sinal) não pode ser maior que 2 W Hz. Ou seja, em um canal digital de W Hz de banda, transmite-se no máximo 2 W bauds.

Como

$$1 \text{ baud} = \log_2 (L) \text{ bps}$$

então a capacidade máxima de um canal digital (na ausência de ruído) é

$$C = 2 W \log_2 (L) \text{ bps}$$

**Exemplo:**

Em um canal de 3.000 Hz de banda (típico em telefonia) com 2 níveis de sinalização, pode-se transmitir (digitalmente) no máximo:

$$C = 2 * 3.000 * \log_2 (2) = 6.000 \text{ bps}$$

### ❖ Ruído

- ◆ Em qualquer transmissão, o sinal recebido é sempre igual ao sinal transmitido modificado por distorções impostas por meios físicos e por distorções inseridas através de interferências indesejáveis ou ruídos (maior limitação no desempenho dos sistemas de comunicação).
- ◆ O ruído é medido pela razão entre a potência do sinal (S) e a potência do ruído (N), chamada de razão (ou relação) sinal-ruído (S/N).
- ◆ Em geral se usa o valor

$$10 \log_{10} (S/N)$$

que se denomina decibel (dB).

- ❖ Ruído pode ser:
  - ◆ térmico: causado pela agitação dos elétrons nos condutores, presente em todos os dispositivos eletrônicos e meios de transmissão, sendo uniformemente distribuído em todas as frequências do espectro (ruído branco) com quantidade definida em função da temperatura.
  - ◆ intermodular: causado pelo compartilhamento de um mesmo meio físico (através de multiplexação de frequência) por sinais de diferentes frequências. Ocorre em geral devido a defeitos de equipamento ou na presença de sinais de potência muito alta.
  - ◆ crosstalk: causado pela interferência indesejável entre condutores muito próximos que induzem sinais entre si (linhas telefônicas cruzadas, cabos de pares trançados em redes Ethernet, por exemplo).
  - ◆ impulsivo: pulsos irregulares de grande amplitude, não contínuos e de difícil prevenção. Tem origem em várias fontes: distúrbios elétricos externos, falha de equipamento, etc. Na transmissão analógica, sendo de curta duração, não causam danos. Na transmissão digital são a maior causa de erros.

- ❖ Taxa de transmissão máxima de um canal com ruído térmico (Lei de Shannon)

Em 1948, Claude Shannon provou que a taxa de transmissão máxima de um canal, na presença de ruído térmico é:

$$C = W \log_2 (1 + S/N) \text{ bps}$$

onde  $W$  é a largura de banda e  $S/N$  a relação sinal ruído.

**Exemplo:**

Canal de 3 kHz, com  $S/N = 30$  dB (padrão de linha telefônica)

$$30 \text{ dB} \Rightarrow 30 = 10 \log_{10} (S/N) \Rightarrow 3 = \log_{10} (S/N) \Rightarrow S/N = 1000$$

$$C = 3000 * \log_2 (1 + 1000) \approx 3000 * 9,9672 \approx 29.902 \text{ bps}$$

- ❖ Atenuação: queda de potência de um sinal em função da distância de transmissão e do meio físico.
- ❖ Eco: reflexão de sinal quando há mudança da impedância (resistência à passagem de um sinal alternado) do meio de transmissão.

### 2.1.2) MEIOS FÍSICOS DE TRANSMISSÃO DE SINAIS

- ❖ Os meios físicos de transmissão de sinais diferem com relação à:
  - ◆ banda passante;
  - ◆ potencial para conexão ponto a ponto ou multiponto;
  - ◆ limitação geográfica devido à atenuação do meio;
  - ◆ imunidade a ruído;
  - ◆ custo;
  - ◆ disponibilidade de componentes; e
  - ◆ confiabilidade.
  
- ❖ Os meios mais comumente usados são:
  - ◆ cabo de pares trançados;
  - ◆ cabo coaxial; e
  - ◆ fibra ótica.
  
- ❖ Sob circunstâncias especiais, podem também serem usados:
  - ◆ radiodifusão;
  - ◆ infravermelho;
  - ◆ enlaces de satélites; e
  - ◆ enlaces de microondas.

### Cabo coaxial

- ❖ O cabo coaxial é constituído de um condutor interno (mina) circundado por um condutor externo (malha), tendo, entre os condutores, um dielétrico plástico que os separa, terminando com uma cobertura externa de proteção.

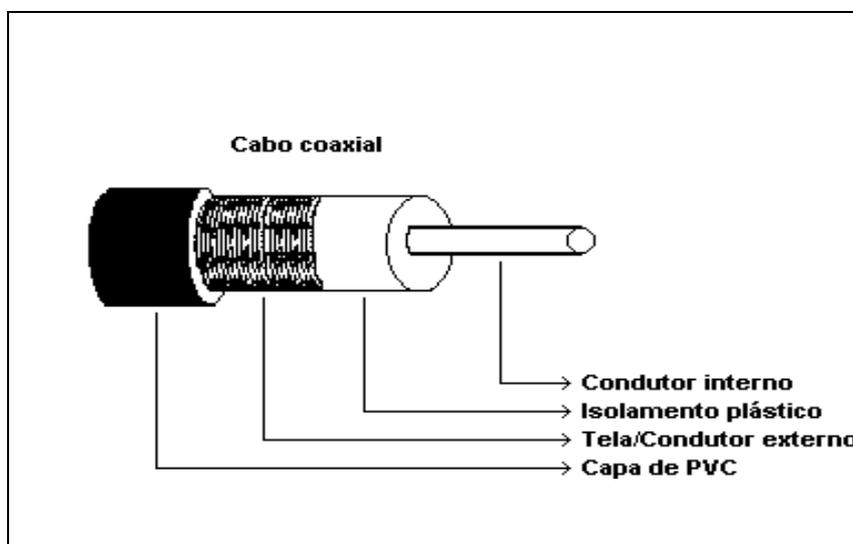


Figura 5. Cabo coaxial

Cabo de pares trançados

- ❖ No cabo de pares trançados, um, dois ou quatro pares de fios são enrolados em espiral dois a dois de forma a reduzir o ruído e manter constante as propriedades elétricas do meio ao longo de todo o seu comprimento. Suporta transmissão analógica e digital, tem largura de banda relativamente alta (10/100/1000 Mbps, dependendo da distância, técnica de transmissão e qualidade do cabo).

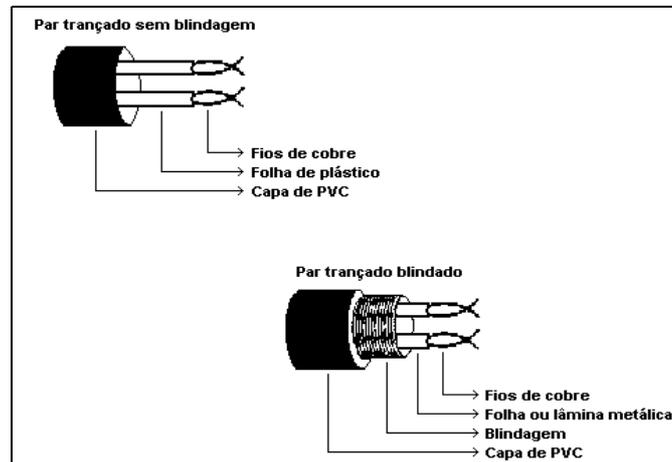


Figura 6. Cabo de pares trançados

- ❖ O cabo de pares trançados pode ser:
  - ♦ não blindado: (*Unshielded Twisted Pair* - UTP): quando seus pares são envolvidos unicamente por uma cobertura plástica (são mais baratos, mas mais sujeitos à interferências); ou
  - ♦ blindado: (*Shielded Twisted Pair* - STP): quando seus pares são envolvidos por uma capa metálica (blindagem) e uma cobertura plástica. A malha metálica confere uma imunidade bastante boa em relação ao ruído, particularmente ao efeito *crosstalk* de fiações adjacentes.
- ❖ Hoje em dia, os cabos de pares trançados mais usados são os não blindados, nas seguintes classificações e características:

CATEGORIA	CARACTERÍSTICAS
3	16 MHz, utilizado em ligações de até 10 Mbps
4	20 MHz, utilizado em ligações de até 16 Mbps
5	125 MHz, utilizado em ligações de até 100 Mbps
6	250 MHz, utilizado em ligações de até 155 Mbps
7	600 MHz, utilizado em ligações de até 1000 Mbps

## REDES DE COMPUTADORES

---

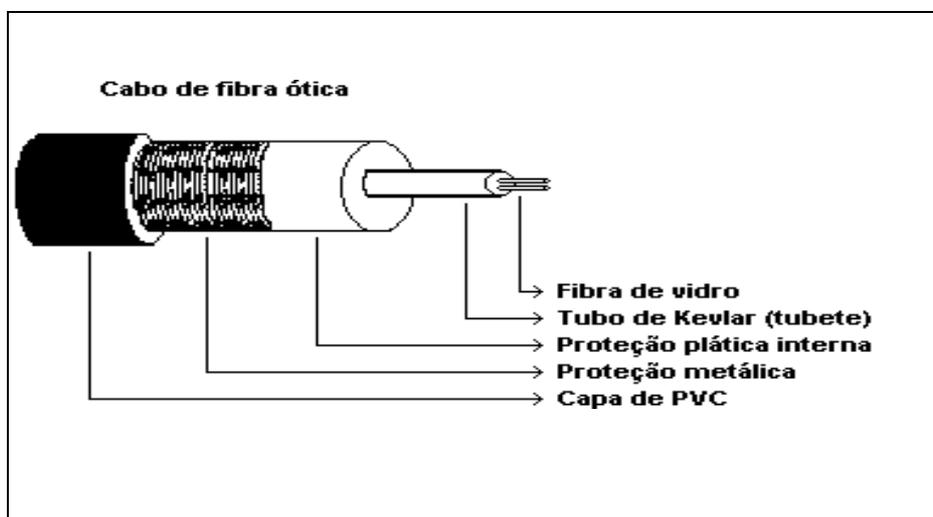
- ❖ Os cabos considerados nessa classificação são definidos através de padrões industriais [ EIA/TIA 91] e correspondem a cabos UTP de 100 Ohms de impedância, com condutores de corpo sólido com bitola de 24 AWG, utilizados na distância máxima de 100 metros.
- ❖ Os cabos de pares trançados são bastante usados hoje em dia para a interconexão de computadores em redes locais, sendo de fácil aquisição e manuseio e apresentando custos bastantes acessíveis (US\$ 0,20 a US\$ 0,50/metro, dependendo da categoria, US\$ 0,50/conector).
- ❖ O cabo coaxial, comparado com o cabo de pares trançados, tem uma imunidade à ruído de "crosstalk" bem maior, sendo utilizado para a transmissão de dados na impedância de 50 Ohms (para televisão, se usa cabo de 75 Ohms). O cabo coaxial tem um custo mais elevado que o cabo de pares trançados (US\$ 0,50/metro, US\$ 1,50/conector).

## REDES DE COMPUTADORES

---

### FIBRA ÓTICA

- ❖ A transmissão em fibra ótica é realizada pelo envio de um sinal de luz codificado, dentro de um domínio de frequência do infravermelho,  $10^{12}$  a  $10^{14}$  Hz, através de um cabo ótico que consiste de um filamento de sílica ou plástico.



*Figura 7. Cabo de fibra ótica*

- ❖ Conceito de índice de refração (IR<sup>1</sup>) de luz de um material:

“O índice de refração absoluto de um material é dado pela razão do IR nesse material e o IR no vácuo”:

$$IR_{abs} = IR_{material} / IR_{vácuo}$$

- ❖ O IR<sub>abs</sub> é sempre igual ou inferior a 1, que é o índice de refração da luz do vácuo. Em termos práticos, usamos sempre a velocidade da luz no ar (que é muito próxima da velocidade da luz no vácuo) como referência (e com valor 1).
- ❖ Toda vez que um feixe de luz atravessa um material e passa para outro material com índice de refração diferente, ocorre um fenômeno chamado refração.
- ❖ Ao passar para um meio com índice de refração menor, o ângulo do feixe de luz com a normal aumenta em relação ao ângulo de incidência. Para um determinado ângulo de incidência, denominado ângulo crítico, os feixes de luz não são mais refratados. Para ângulos maiores que o ângulo crítico, observa-se apenas o fenômeno da reflexão total do feixe incidente.

---

<sup>1</sup> IR = velocidade de propagação da luz no vácuo / velocidade de propagação da luz no material

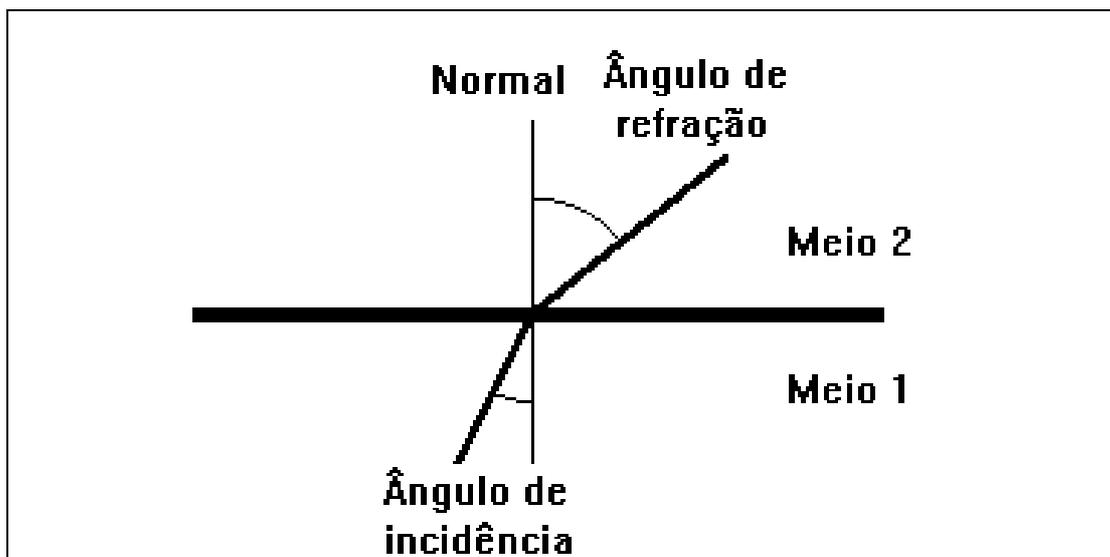
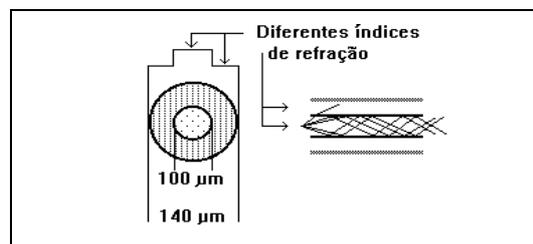


Figura 8. Refração da luz

- ❖ O cabo ótico funciona baseado nesse princípio. Possui um filamento condutor de luz, ao redor do qual se colocam substâncias de menor índice de refração, que fazem com que os raios de luz sejam refletidos internamente, minimizando as perdas de transmissão.
- ❖ Existem três tipos de fibras óticas:
  - ◆ multimodo degrau
  - ◆ multimodo gradual
  - ◆ monomodo

### Fibra ótica multimodo degrau

- ❖ É a mais simples e foi a primeira a ser produzida. Seu funcionamento é baseado no fenômeno da reflexão total interna na casca de índice de refração mais baixo.



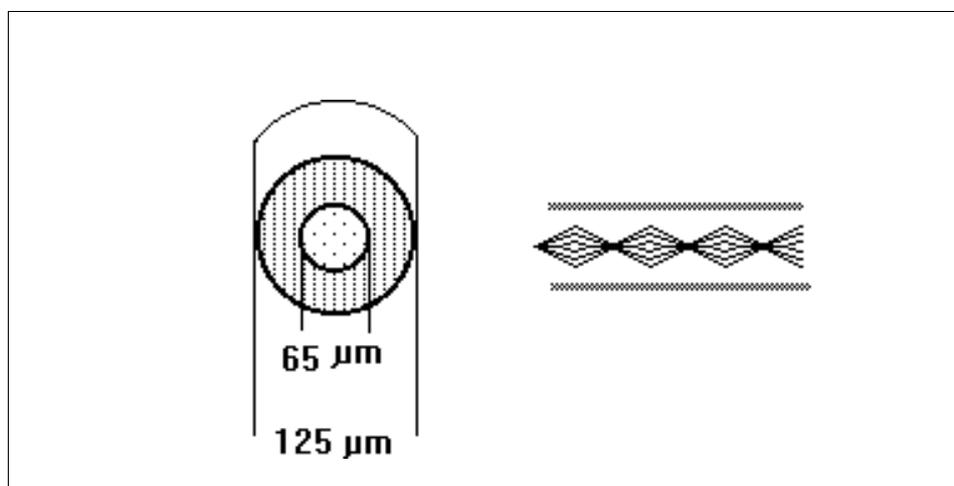
*Figura 9. Fibra multimodo degrau*

- ❖ A qualificação multimodo refere-se à possibilidade de que vários feixes em diferentes ângulos de incidência se propaguem através de diferentes caminhos pela fibra.
- ❖ O termo degrau vem da existência de uma descontinuidade na mudança de índice de refração na fronteira entre o núcleo e a casca da fibra.

- ❖ As fibras multimodo degrau mais comuns têm diâmetro de núcleo e casca de 100  $\mu\text{m}$  e 140  $\mu\text{m}$ , respectivamente (normalmente indicados separados por uma barra: 100/140). O padrão ISO 9314/ANSI X3T9.5 (FDDI) define a possibilidade da utilização de cabos de fibra multimodo degrau 50/125, 100/140 e 85/125.
- ❖ Em fibras multimodo degrau, o fenômeno de dispersão modal é um dos maiores limitantes da taxa de transmissão.
- ❖ A dispersão modal caracteriza-se pelo fato de que os diferentes raios de um pulso de luz se propagam por diferentes caminhos ao longo da fibra fazendo com que os momentos de chegada desses raios no destino ocorram em tempos diferentes, fazendo com que pulsos consecutivos possam gerar interferência uns nos outros.

### Fibra ótica multimodo gradual

- ❖ Na fibra ótica multimodo gradual, ao invés de ocorrer uma mudança brusca do índice de refração do núcleo para a casca, ocorre uma diminuição gradual de forma contínua, como mostra a figura 10.



*Figura 10. Fibra ótica multimodo gradual*

- ❖ Dependendo do ângulo de incidência, os raios sofrem uma refração que aumenta seus ângulos em relação à normal. Tal aumento dos ângulos de incidência atinge gradativamente o ângulo crítico, quando os raios são refletidos totalmente, percorrendo o caminho inverso em direção ao eixo central do núcleo, passando por sucessivas refrações que diminuem cada vez mais os ângulos em relação à normal. Ao passar pelo eixo central, os ângulos de incidência voltam a se afastar da normal e assim sucessivamente.
- ❖ Como índices de refração menores significam maiores velocidades de propagação, os raios que se afastam mais do núcleo central, apesar de percorrerem distâncias maiores, adquirem maior velocidade nas partes mais externas; estes fatores (distância percorrida e velocidade de propagação) se compensam de forma que os raios apresentem os mesmos tempos de propagação, minimizando o problema de dispersão modal.

Fibra ótica monomodo

- ❖ Em fibras monomodo, a idéia é produzir núcleos de diâmetro tão pequeno, que apenas um modo (feixe) seja transmitido (ver figura 11).

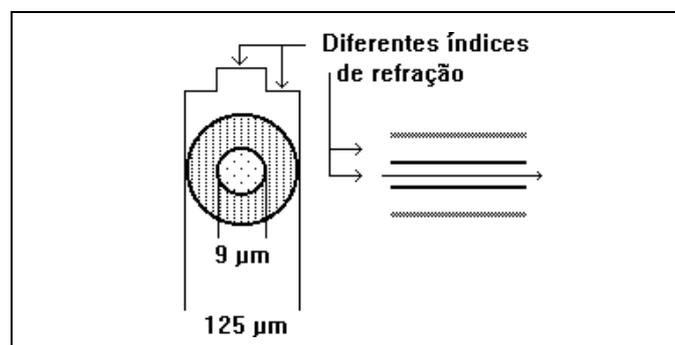


Figura 11. Fibra monomodo

- ❖ Dessa forma é eliminado naturalmente o problema da dispersão modal, atingindo-se, conseqüentemente, maiores taxas de transmissão e maiores distâncias.

- ❖ Fibras óticas têm uma série de vantagens sobre cabos metálicos (par trançado e coaxial):
  - ◆ São imunes a interferências eletromagnéticas e a ruídos e, como não irradiam luz para fora do cabo, não se verifica "crosstalk".
  - ◆ Permitem um isolamento completo entre o emissor e o receptor, eliminando o perigo de curtos elétricos entre ambos
  - ◆ São mais finas e mais leves que cabos coaxiais e permitem taxas de transmissão de até 1000 Gbps (operacional; experimentalmente já se trabalha com taxas de Terabits por segundo).
  
- ❖ Existem desvantagens também:
  - ◆ Ainda são caras (faixa de US\$ 5,00/metro)
  - ◆ Exigem procedimentos especiais para a emenda e aplicação de conectores (junção ou solda)
  - ◆ O lançamento (aéreo ou subterrâneo) da fibra exige certos cuidados de manuseio e disposição (não se poder fazer uma curva muito acentuada com o cabo sob pena de tornar o ângulo de incidência dos feixes em relação à normal muito pequeno, provocando o escape desses feixes que não serão mais refratados).

### 2.1.3) OUTROS MEIOS DE TRANSMISSÃO

- ❖ Além dos três meios descritos acima, existem outros meios de transmissão (pouco usados em redes locais).
  
- ❖ A radiodifusão (*wireless networks*) é adequada para ligações ponto a ponto e para ligações multiponto, e são uma alternativa viável onde é difícil, ou mesmo impossível, instalar cabos metálicos ou de fibra ótica (ligação de redes entre dois prédios separados por ruas de uma cidade), ou então quando a confiabilidade do meio físico é extremamente importante, como por exemplo em aplicações bélicas, onde o rompimento de cabos poderia paralisar todo um sistema de defesa.
  
- ❖ Radiação infravermelha, microondas e satélites também podem ser usados como meios de transmissão em redes de computadores (na verdade, muita da comunicação entre redes distantes - intermunicipais/interestaduais - são feitas através de enlaces de rádio com microondas e redes intercontinentais são feitas através de enlaces de satélites).

### 2.1.4) LIGAÇÕES PONTO A PONTO

- ❖ São caracterizadas pela conexão de somente dois equipamentos em um mesmo meio de transmissão, que devem apresentar impedância igual à impedância característica do meio de transmissão, de forma a evitar reflexões (ecos). Os segmentos de cabos usados não devem ultrapassar o tamanho no qual a atenuação total do sinal transmitido caia abaixo das especificações do receptor (para cada meio físico, as taxas de atenuação especificadas pelo fabricante - em dB/metro definem os tamanhos máximos dos cabos). Repetidores de sinal podem ser usados para se atingir distâncias maiores.

### 2.1.5) LIGAÇÕES MULTIPONTO

- ❖ São caracterizadas pela conexão de mais de dois equipamentos em um mesmo meio de transmissão. O meio de transmissão deve ter suas extremidades, terminando com uma impedância igual à sua impedância característica, de modo a impedir reflexões. São usados dispositivos que permitem o acesso dos equipamentos ao meio (MAU - *Medium Access Unit* - transceptores) sempre com a preocupação de se manter compatibilidade com a impedância do meio. São usados mecanismos de controle que impedem a utilização simultânea do meio por mais de um equipamento.

### 2.1.6) INSTALAÇÃO FÍSICA E CABEAMENTO ESTRUTURADO

- ❖ Os meios físicos apresentam diferentes características no que diz respeito a taxas de transmissão, atenuação, facilidades de instalação etc. Diferentes formas de construção física dos cabos permitem diferentes utilizações para os diversos meios e a escolha dos cabos corretos para os diversos segmentos em um projeto de uma rede é de vital importância para o seu bom funcionamento. Considerando projetos de médio e grande porte, onde várias redes de diversas tecnologias e topologias devem conviver interligadas, as opções de instalação e cabeamento têm se tornado uma parte bastante custosa do projeto.
- ❖ Diversos esforços têm surgido no sentido de compilar e organizar as opções de instalação de forma a fornecer um conjunto básico de configurações para os tipos de instalações mais comuns. Essas configurações definem o que comumente tem sido chamado de cabeamento estruturado.

### 2.1.7) TRANSMISSÃO SEM FIO

- ❖ Necessária para:
  - ◆ Pessoas que precisam ficar on-line o tempo todo;
  - ◆ Estabelecimento de conexões de longa distância (intermunicipal, interestadual, intercontinental; interplanetária).
- ❖ Base: Quando os elétrons se movem, criam ondas eletromagnéticas que podem se propagar no espaço (inclusive no vácuo). Foram descritas pelo físico inglês James C. Maxwell em 1865, e produzidas e observadas pelo físico alemão Heinrich Hertz em 1887.
- ❖ Características:
  - ◆ O número de oscilações por segundo de uma onda eletromagnética é chamado frequência (f) e é medido em Hz (em homenagem a Hertz);
  - ◆ A distância entre dois pontos máximos (ou mínimos) da onda é chamada de comprimento de onda ( $\lambda$ ).

- ❖ Conectando-se uma antena de tamanho apropriado a um circuito elétrico, as ondas eletromagnéticas podem ser propagadas eficientemente e recebidas por um receptor distante. Toda comunicação sem fio é baseada nesse princípio.
- ❖ Relação básica:
$$\lambda \cdot f = c \equiv \text{velocidade da luz no vácuo} = 300.000 \text{ Km/seg}^2$$
- ❖ O espectro de frequências normalmente utilizado é mostrado a seguir.

---

<sup>2</sup> No cobre e na fibra ótica a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas é aprox. 2/3 disso.

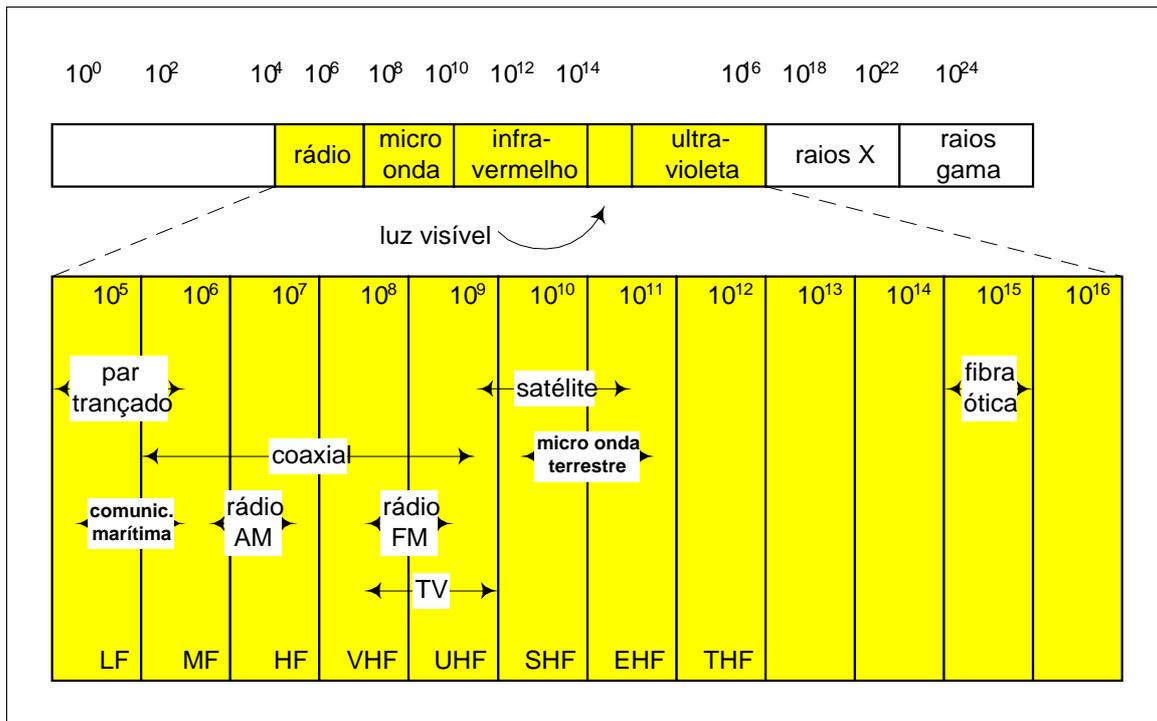


Figura 12. Espectro eletromagnético e seu uso nas comunicações

Legenda:

LF	Low Frequency
MF	Medium Frequency
HF	High Frequency
VHF	Very High Frequency
UHF	Ultra High Frequency
SHF	Super High Frequency
EHF	Extremely High Frequency
THF	Tremendously High Frequency

- ❖ O gerenciamento do espectro eletromagnético é normalmente realizado por organismos internacionais (ITU-R) e nacionais (Dentel - Departamento Nacional de Telecomunicações).

Transmissão de Rádio

- ❖ Espectro vai de VLF a VHF;
- ❖ Fácil e barato de geral;
- ❖ Viaja a longa distância e é multidirecional;
- ❖ VLF, LF e MF atravessa obstáculos (p. ex. prédios), perde potência muito rapidamente (aprox.  $1 / \text{raio}^3$ ) e tende a seguir a curvatura da Terra;
- ❖ HF, UHF e VHF viaja em linha reta, reflete em obstáculos, pode ser absorvida pela chuva, é sujeita a interferências de motores, é absorvida pela Terra, é refletida pela ionosfera;
- ❖ Governo controla o uso através do Departamento Nacional de Telecomunicação (DENTEL);

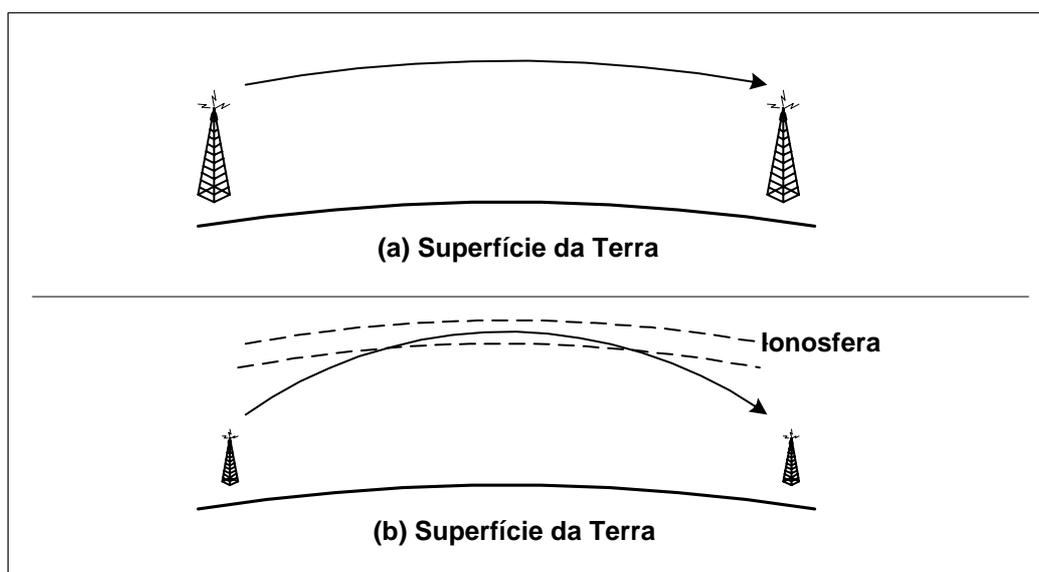


Figura 13. Propagação de ondas: (a) VLF, LF e MF, (b) HF e VHF

## **REDES DE COMPUTADORES**

---

### **Transmissão em Microondas**

- ❖ Acima de 100 MHz, as ondas viajam em linha reta, sendo necessário um alinhamento perfeito entre o emissor e o receptor;
- ❖ Fornecem relação sinal / ruído muito superior;
- ❖ Até o surgimento da fibra ótica, por décadas formaram o coração do sistema de transmissão das operadoras de telecomunicação;
- ❖ Com propagação em linha reta o alcance é curto (devido à curvatura da Terra). Com torres de 100 metros de altura, são necessários repetidores a cada 80 Km aproximadamente.
- ❖ Hoje trabalha-se até com 10 GHz, mas a partir de 8 GHz tem-se o problema da absorção pela água (chuva);
- ❖ É muito usada na comunicação de longa distância (telefonia fixa, telefonia móvel, distribuidoras de TV);
- ❖ A faixa de 2,400 a 2,484 GHz é reservada para uso industrial / científico / médico, podendo ser usada sem autorização prévia do governo.

---

© UFPB / CCT / DSC / PSN, 2001 \* Parte 2: Arquitetura - Camada Física \* Pág. 35

## **REDES DE COMPUTADORES**

---

### **Ondas em Infravermelho e Ondas Milimétricas**

- ❖ Usadas para comunicação de curta distância (controles remotos de TC, videocassete, aparelhos de som, redes locais);
- ❖ Parcialmente direcionais;
- ❖ Barato e fácil de construir;
- ❖ Não atravessa objetos sólidos (não transparentes);
- ❖ Bom para redes locais onde não se quer (ou pode) colocar cabeamento.

---

© UFPB / CCT / DSC / PSN, 2001 \* Parte 2: Arquitetura - Camada Física \* Pág. 36

### Transmissão em ondas de luz (laser)

- ❖ Emissão de feixe de luz de alta frequência com alto poder de propagação, com excelente relação sinal / ruído;
- ❖ Bastante usada para interligação de prédios não muito distantes, sem obstáculos interpostos.

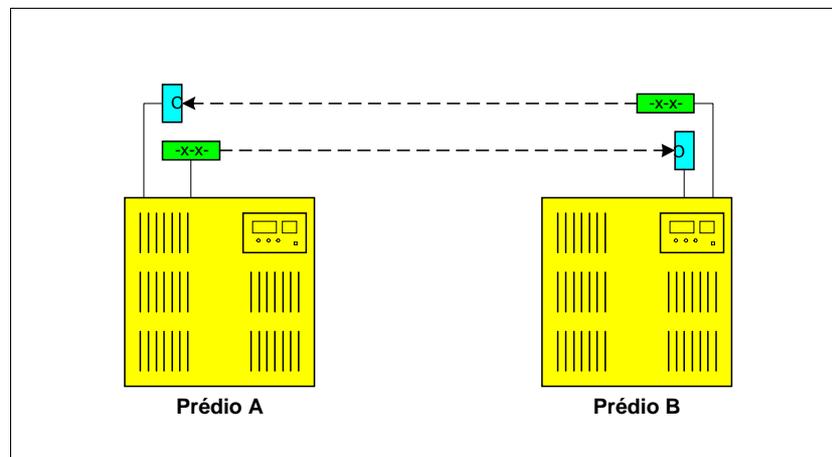


Figura 14. Transmissão por feixe de luz

### 2.1.8) O SISTEMA TELEFÔNICO

- ❖ O sistema telefônico brasileiro (e da maioria dos países) é composto basicamente de 3 elementos:
  - ◆ Centrais telefônicas locais, às quais estão conectados os aparelhos telefônicos de uma pequena região (na distância máxima típica de 10 Km);
  - ◆ Centrais telefônicas de comutação, as quais se ligam várias centrais locais de diversas pequenas regiões;
  - ◆ Centrais telefônicas de interconexão, que interligam centrais de comutação de regiões mais abrangentes.
- ❖ Normalmente, obedece-se ao padrão mostrado na figura a seguir, onde se identificam:
  - ◆ Enlaces de loop local, normalmente em fio de cobre com sinalização analógica;
  - ◆ Enlaces de tronco de conexão, normalmente feitos em fio de cobre especial ou fibra ótica (mais comum hoje em dia);
  - ◆ Enlaces de tronco de interconexão, normalmente feitos em microondas ou fibra ótica (mais comum hoje em dia).

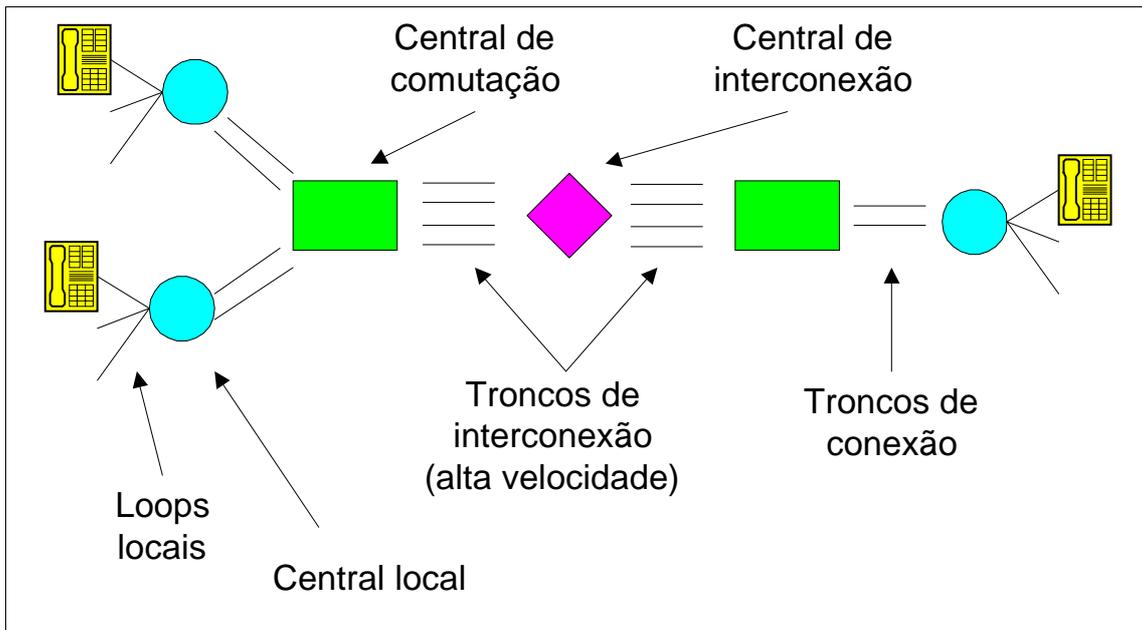


Figura 15. Sistema telefônico

Enlace de Loop Local

- ❖ Disponibiliza enlace analógico com banda de 4 KHz entre o usuário final e a central telefônica local.
- ❖ A comunicação digital se faz com o uso de modems (moduladores / demoduladores) que convertem sinal digital em sinal analógico e vice-versa.

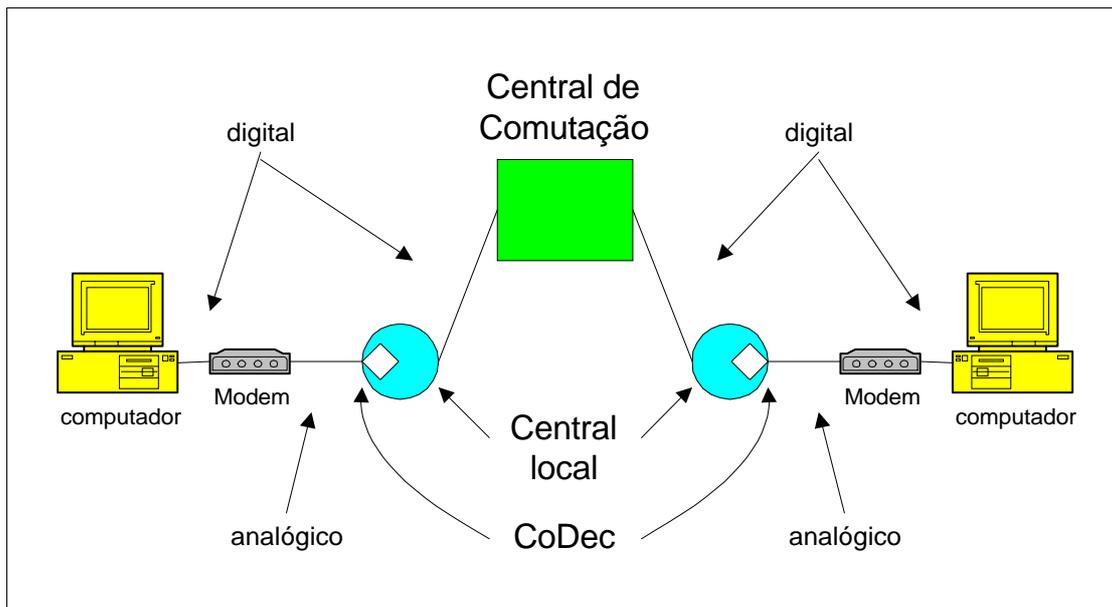


Figura 16. Enlace digital através de transmissão analógica

Enlace de Tronco de Conexão - Multiplexação

- ❖ A partir de centrais telefônicas locais, obviamente não se disponibiliza tantos enlaces quantos os existentes no loop local.
- ❖ A tecnologia avança e a economia de escala exige o compartilhamento de meios entre vários usuários via multiplexação de canais de melhor qualidade. Como? Com técnicas de multiplexação de canais.

Multiplexação por Divisão de Freqüência (*Frequency Division Multiplexing - FDM*)

- ❖ Com a divisão da banda passante em várias sub-bandas. Por exemplo, a faixa de 500 a 1500 KHz reservada para rádios AM, é dividida em sub-faixas que são destinadas às rádios que transmitem em uma mesma região.

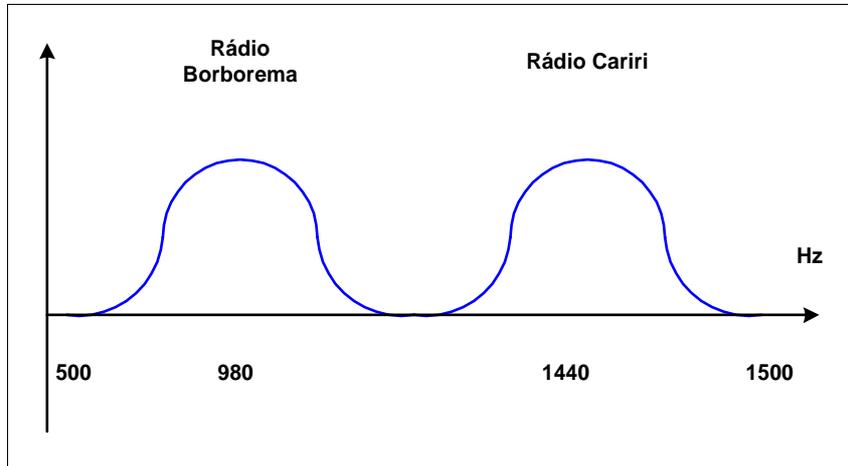


Figura 17. Multiplexação por Divisão de Freqüência nas rádios AM

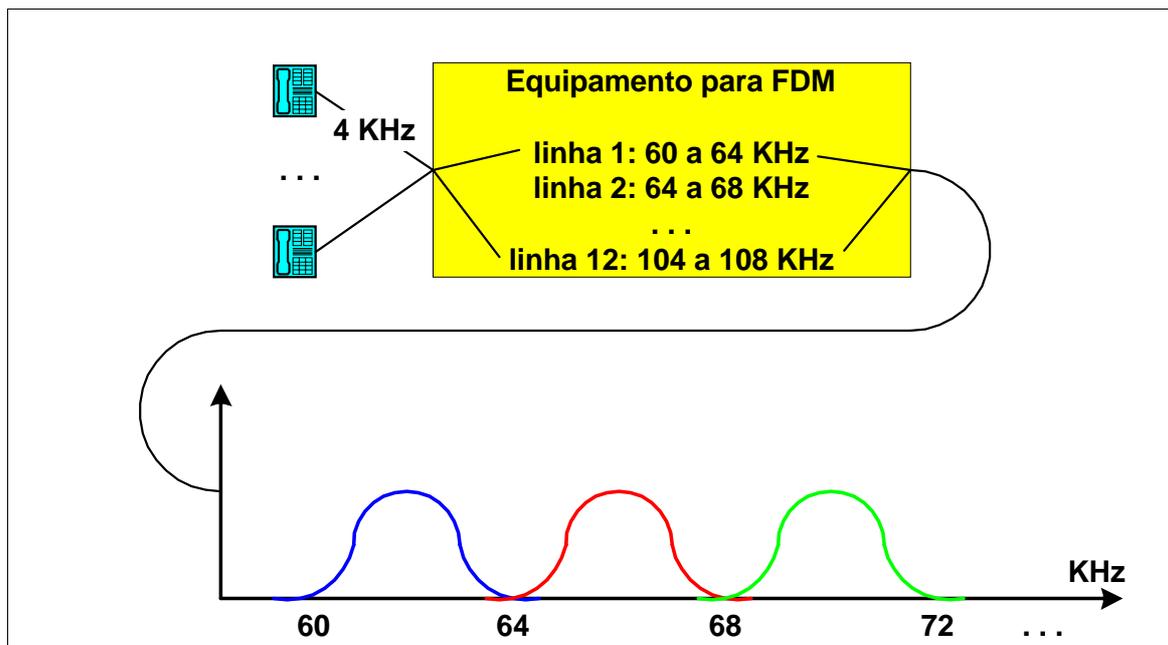


Figura 18. Multiplexação por Divisão de Freqüência no sistema telefônico (analógico)

Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda (*Wavelength Division Multiplexing - WDM*)

- ❖ Usada para fibras óticas, fazendo-se com que dois ou mais sinais óticos com comprimento de onda diferentes viajem por caminhos distintos dentro de uma mesma fibra ótica.

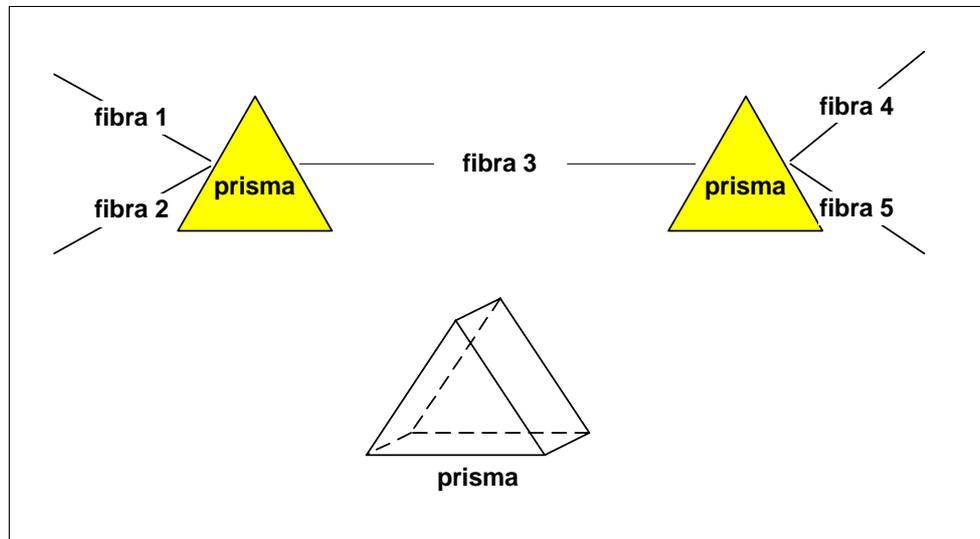


Figura 19. Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda

Multiplexação por Divisão de Tempo (*Time Division Multiplexing - TDM*)

- ❖ Nos enlaces entre centrais de comutação e centrais de interconexão, tem-se cada vez mais o uso de tecnologias digitais.
- ❖ Atualmente, a comunicação de voz e/ou dados tende a ser digitalizada o mais rapidamente possível, senão no cliente final, pelo menos na central local.
- ❖ Como? Cada enlace analógico é digitalizado na central local por um CODEC (Codificador-Decodificador), na frequência de 8 KHz.

$$8000 \text{ Hz} \Rightarrow 1 / 8000 \text{ Seg por amostra} \Rightarrow 125 \text{ u Seg por amostra}^3$$

- ❖ Essa técnica de digitalização é chamada de Modulação por Codificação de Pulso (*Pulse Code Modulation - PCM*) e é a base de todo o sistema telefônico do país (de vários países).
- ❖ No Brasil, 30 canais analógicos digitalizados, mais 2 canais de sincronização e controle, formam um tronco de 32 canais de 8 bits.

$$32 \text{ canais} \times 8 \text{ bits/canal} \times 8000 \text{ amostras/segundo} = 2048 \text{ Kbps} \equiv \text{tronco E1}$$

<sup>3</sup> Que é a unidade básica de tempo do sistema telefônico.

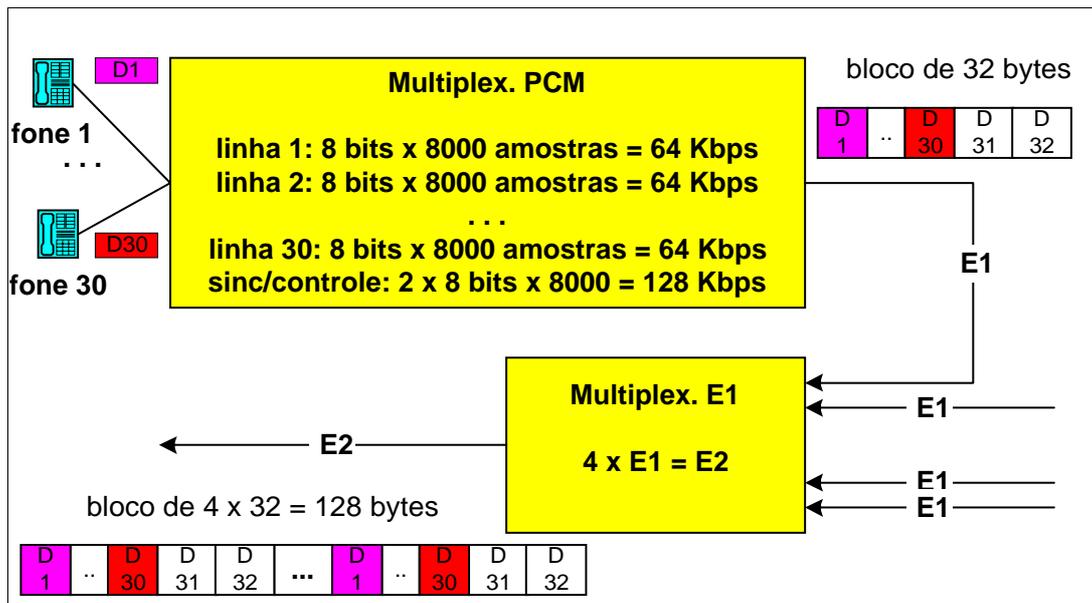


Figura 20. Rede telefônica do ponto de vista de multiplexadores

REDES DE COMPUTADORES

32	x	Canal PCM (64 Kbps)	=	2,048 Mbps	≡	Tronco E1
4	x	Tronco E1	=	8,848 Mbps	≡	Tronco E2
4	x	Tronco E2	=	34,304 Mbps	≡	Tronco E3
4	x	Tronco E3	=	139,264 Mbps	≡	Tronco E4
4	x	Tronco E4	=	565,148 Mbps	≡	Tronco E5

Figura 21. Padrão de multiplexação a partir de tronco E1

24	x	Canal PCM (64 Kbps)	=	1,544	≡	Tronco T1
4	x	Tronco T1	=	6,312 Mbps	≡	Tronco T2
7	x	Tronco T2	=	44,736 Mbps	≡	Tronco T3
6	x	Tronco T3	=	274,176 Mbps	≡	Tronco T4

Figura 22. Padrão de multiplexação a partir de tronco T1 (mais comum nos EUA)

### Multiplexação SONET / SDH

- ❖ No início do uso das fibras óticas, cada companhia telefônica no mundo acabou definindo uma forma de TDM específica para ela própria.
- ❖ Em 1985, a empresa BellCore definiu o padrão SONET (*Synchronous Optical Network*) que foi oficializado pelo CCITT como o padrão SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*).
- ❖ SONET tinha 4 objetivos principais:
  - ◆ Compatibilizar diferentes transportadores de dados (empresas), com relação à sinalização, comprimento de onda, temporização, formato de quadros, etc.;
  - ◆ Unificar os padrões dos EUA, Europa e Japão (baseados no PCM, mas com algumas incompatibilidades);
  - ◆ Multiplexar múltiplos canais digitais juntos, promovendo pesquisa para ultrapassar T4 e chegar a Gigabits/Seg;
  - ◆ Prover suporte para Operação, Administração e Manutenção padronizadas.

- ❖ SONET tem por princípio:
  - ◆ Transmissão absolutamente sincronizada, controlada por um relógio central para toda a rede (com precisão próxima de  $1/10^9$ );
  - ◆ Estrutura composta de multiplexadores e repetidores;
  - ◆ Quadro básico de 810 bytes transferido a cada 125  $\mu$  Seg ( $810 \text{ bytes} \times 8 \text{ bits} \times 8000 \text{ Hz} = 51,84 \text{ Mbps}$  que é o tronco básico SONET, chamado de STS-1 (*Synchronous Transport Signal – 1*)). Todos os outros troncos são múltiplos do STS-1. A taxa de 8 KHz torna-o totalmente compatível com o PCM básico.

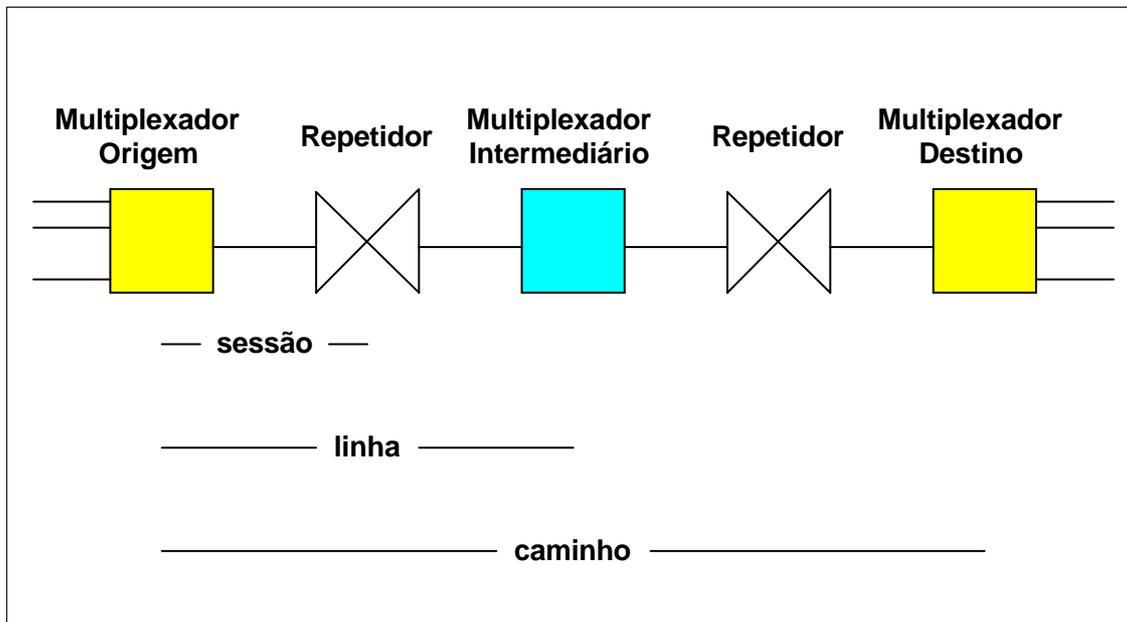


Figura 23. Estrutura SONET / SDH

SONET		SDH	Taxa de Dados (Mbps)		
Elétrico	Ótico	Ótico	Total	SPE	Usuário
STS-1	OC-1		51,84	50,112	49,536
STS-3	OC-3	STM-1	155,52	150,336	148,608
STS-9	OC-9	STM-3	466,56	451,008	445,824
STS-12	OC-12	STM-4	622,08	601,344	594,432
STS-18	OC-18	STM-6	933,12	902,016	891,648
STS-24	OC-24	STM-8	1244,16	1202,688	1188,864
STS-36	OC-36	STM-12	1866,24	1804,032	1783,296
STS-48	OC-48	STM-16	2488,32	2405,376	2377,728

Figura 24. Multiplexação SONET / SDH a partir de tronco STS-1

- ❖ OBSERVAÇÃO: quando o transporte de células ATM é destinado a troncos OC-3 (que normalmente são usados como multiplexadores de 3 troncos OC-1), usa-se a designação OC-3c (de concatenado).
- ❖ SPE = *Synchronous Payload Envelope* ≡ Carga útil síncrona envelopada.