

CAPÍTULO 2

Camada Física

Teoria da Comunicação de Dados

REDES DE COMPUTADORES 1

Engenharia de Telecomunicações

2. A CAMADA FÍSICA

- A camada física é o alicerce sobre o qual a rede é construída. O protocolo do nível físico dedica-se à transmissão de uma cadeia de bits.
- Ela é a camada mais baixa na hierarquia de uma rede e define a interface elétrica, de sincronização e outras, pelas quais os bits são enviados como sinais pelos canais.
- A camada física contém todas as funções necessárias para transmitir as sequências de bits, que constituem os quadros da camada de enlace de dados, sobre um meio físico de um sistema para outro.
- É a única que possui acesso físico ao meio de transmissão, tendo como função adaptar o sinal lógico ao meio de transmissão.

2. A CAMADA FÍSICA

- ▶ ***Funções e características da Camada Física***
- ▶ Criar o sinal elétrico, óptico ou de microondas que representará os bits em cada quadro;
 - ▶ Cada bit no quadro é representado como um sinal
 - ▶ Cada sinal posto no meio tem uma duração específica – Tempo de bit
- ▶ Retirar esses sinais individuais do meio, restaurá-los à representação de bits e passar os bits para a camada de enlace como um quadro completo
- ▶ O meio não transporta os quadros como entidades únicas, mas sim sinais representantes dos bits que formam os quadros

2. A CAMADA FÍSICA

► *Funções e características da Camada Física*

- **Estabelecimento e encerramento de conexões:** ativa e desativa conexões físicas de acordo com as solicitações feitas pela camada de enlace.
- **Transferência de dados:** a transmissão dos dados é realizada em bits de acordo com a ordem de chegada dos dados vindos da camada de enlace, e são devolvidos a camada de enlace na mesma ordem que chegaram.
- **Gerenciamento de conexões:** verifica o nível de qualidade das conexões físicas estabelecidas, monitorando taxas de erro, disponibilidade de serviço, taxa de transmissão, etc.

2.1 Teoria da comunicação de dados

- ▶ O matemático francês Jean-Baptiste Fourier provou que qualquer função periódica razoavelmente estável, $g(t)$, com o período T pode ser construída como a soma de um número (possivelmente infinito) de senos e cossenos.

- ▶ Devido a Análise de Fourier, podemos modelar matematicamente as variações de t

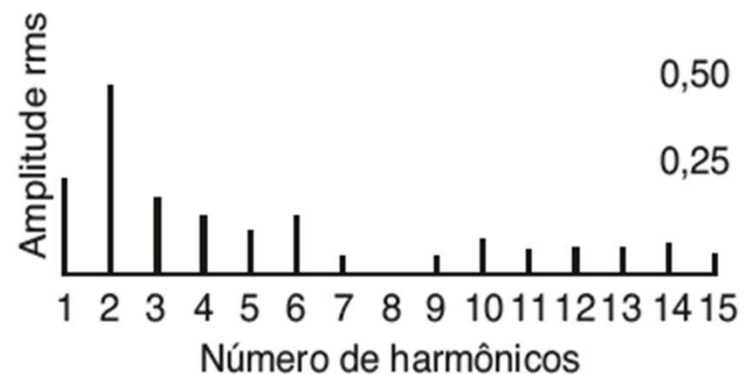
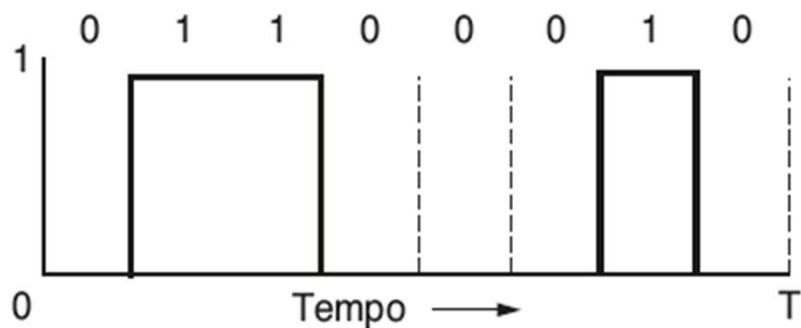
$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt \quad c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt$$

- ▶ f é a frequência fundamental, C é uma constante, A_n e B_n são as amplitudes do seno e do cosseno dos n -ésimos termos (harmônicos)

2.1 Teoria da comunicação de dados

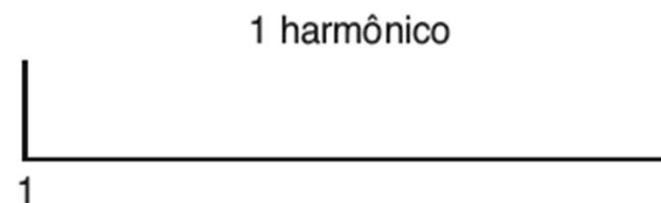
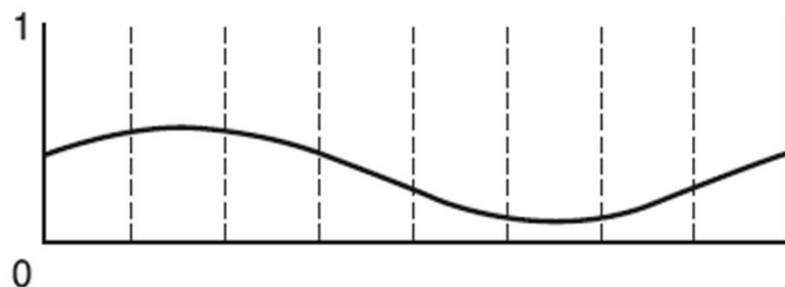
- ▶ Suponhamos que deseja-se transmitir o caractere ASCII “b” codificado como 8 bits (01100010).
- ▶ Se todos os coeficientes da série de Fourier fossem igualmente atenuados pelo meio físico, o sinal resultante seria atenuado, mas não distorcido, conforme figura.



(a)

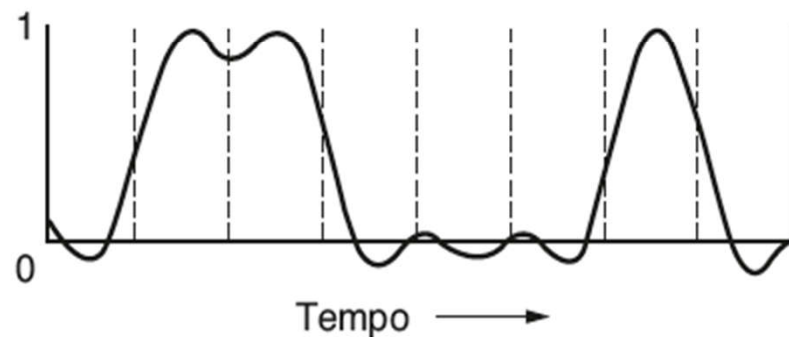
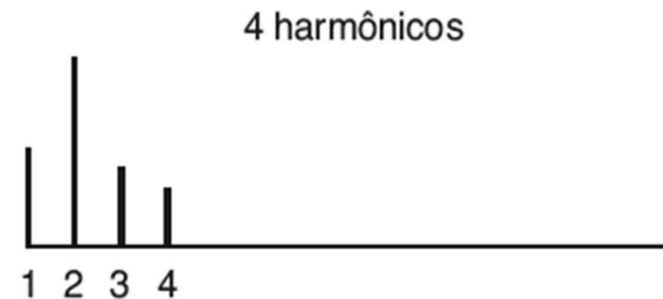
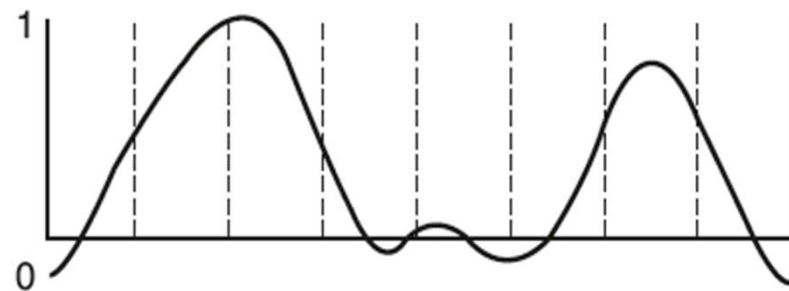
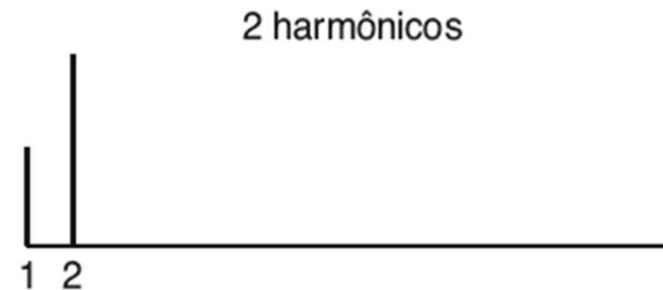
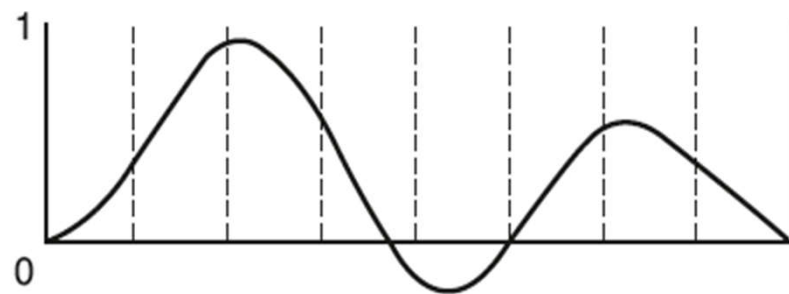
2.1 Teoria da comunicação de dados

- ▶ Infelizmente todos os meios de transmissão atenuam diferentes componentes de Fourier (frequências) por diferentes valores, introduzindo distorção.
- ▶ A faixa de frequências que podem ser transmitidas em um meio sem uma forte atenuação é chamada de **Largura de Banda**.
- ▶ LIMITAÇÃO DE SINAIS POR LARGURA DE BANDA
- ▶ Sinal resultante para uma largura de banda muito estreita (apenas 1º harmônico, o fundamental “f”, passante)



2.1 Teoria da comunicação de dados

- ▶ Sinais resultantes para larguras de banda maiores



Tempo →

Número de harmônicos →

(e)

2.1 Teoria da comunicação de dados

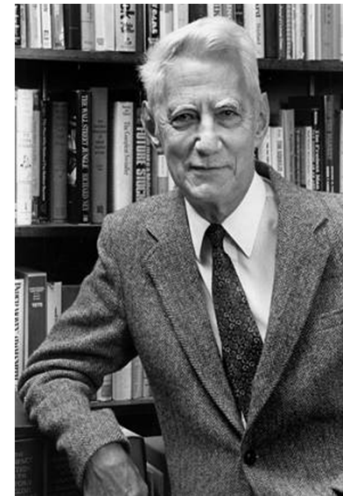
- ▶ Percebe-se que para transmitir o sinal digital do exemplo, 8 harmônicos é suficiente para que ele seja reconstruído no destino, mais harmônicos gerariam uma replica mais precisa porém haveria maior consumo de banda.
- ▶ **Taxa máxima de dados de um canal**
- ▶ Em 1924, H. Nyquist, um engenheiro da AT&T, percebeu que ate mesmo um canal perfeito tem uma capacidade de transmissão finita.
- ▶ Em 1948, Claude Shannon aprofundou o trabalho de Nyquist e o estendeu ao caso de um canal sujeito a ruído aleatório.

H. Nyquist



de Pernambuco

Universidade de Pernambuco



Claude Shannon

2.1 Teoria da comunicação de dados

- ▶ **L. Nyquist:** lida com canais sem ruído, com o Teorema de Nyquist.

$$\text{taxa máxima de dados} = 2B \log_2 V \text{ bits/s}$$

- ▶ onde B (Hz) é largura de banda,
- ▶ V é a quantidade de níveis discretos do sinal
- ▶ Ele provou que, se um sinal atravessar um filtro passa baixa de largura de banda B, é possível reconstruir este sinal a partir de apenas 2B amostras por segundo.
- ▶ Por exemplo, um canal de 3 kHz sem ruído não pode transmitir sinais binários (ou seja, de dois níveis) a uma taxa superior a 6000 bps.

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

2.1 Teoria da comunicação de dados

- ▶ Claude Shannon: lida com canais com ruído. Ele mostrou que a capacidade de um canal com ruídos (taxa máxima de dados) é dada por:

$$\text{número máximo de bits/s} = B \log_2 (1 + S/N)$$

- ▶ onde B Hz é largura de banda,
- ▶ S/N é a relação sinal/ruído,
- ▶ Por exemplo, um canal de largura de banda 3kHz com uma relação de sinal para ruído térmico igual a 30 dB (parâmetros típicos da parte analógica do sistema telefônico) nunca pode transmitir muito mais de 30000 bps, independente da quantidade de níveis de sinal utilizados e da frequência com que as amostras são obtidas.

$$\begin{aligned} 30 \text{ dB} &\Rightarrow 30 = 10 \log_{10} (S/N) \Rightarrow 3 = \log_{10} (S/N) \Rightarrow S/N = 1000 \\ C &= 3000 * \log_2 (1 + 1000) \approx 3000 * 9,9672 \approx 29.902 \text{ bps} \end{aligned}$$

2.1 Teoria da comunicação de dados

▶ 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).

▶ Tipos de Ruído

- **térmico**: causado pela agitação dos elétrons nos condutores, presente em todos os dispositivos eletrônicos e meios de transmissão, sendo distribuído em todas as frequências do espectro (ruído branco).

2.1 Teoria da comunicação de dados

- **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.

2.2 Meios de Transmissão Guiados

▶ **Meios Magnéticos**

- ▶ Uma das formas mais comuns de transportar dados de um computador para outro e gravá-los em fita magnética ou em mídia removível (por exemplo, DVDs graváveis, “pendrives”), transportar fisicamente a fita ou os discos para a máquina de destino,
- ▶ Exemplo:
 - ▶ Basta fazer um cálculo simples para esclarecer essa questão. Uma fita Ultrium de padrão industrial pode armazenar 800 gigabytes. Uma caixa de 60x60x60 cm pode conter cerca de 1000 fitas desse tipo, perfazendo uma capacidade total de 800 terabytes, ou 6400 terabits (6,4 petabits). Uma caixa de fitas pode ser entregue em qualquer parte do país em 24 horas pelo serviço Sedex dos Correios, pela Federal Express e por outras transportadoras.
 - ▶ A largura de banda efetiva dessa transmissão é de 6400 terabits/86400s, ou 70Gbps. Se o destino estiver a apenas uma hora de distância, a largura de banda será ampliada para mais de 1700 Gbps. Nenhuma rede de computadores consegue nem mesmo se aproximar desse desempenho.

2.2 Meios de Transmissão Guiados

▶ **Par Trançado**

- ▶ 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).
- ▶ **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*.

2.2 Meios de Transmissão Guiados

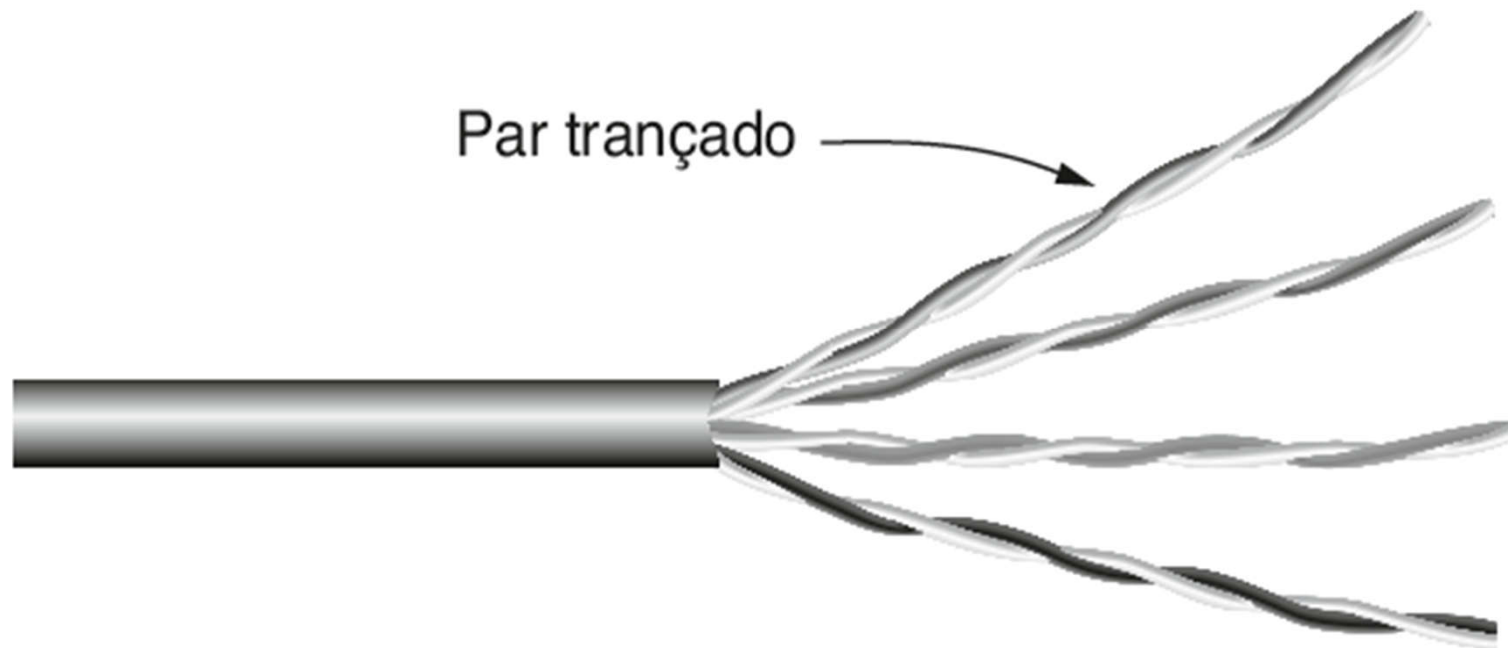
- ▶ Hoje em dia, os cabos de pares trançados mais usados são os não blindados, nas seguintes classificações e características:

Categoria	Característica
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

- ▶ Os cabos considerados nessa classificação são definidos através de padrões industriais [EIA/TIA 91] e correspondem a cabos UTP (Unshielded Twisted Pair) de 100 Ohms de impedância, com condutores de corpo sólido com bitola de 24 AWG, utilizados na distância máxima de 100 metros.

2.2 Meios de Transmissão Guiados

- ▶ Os cabos de pares trançados são bastante usados hoje em dia para a interconexão de computadores em redes locais.

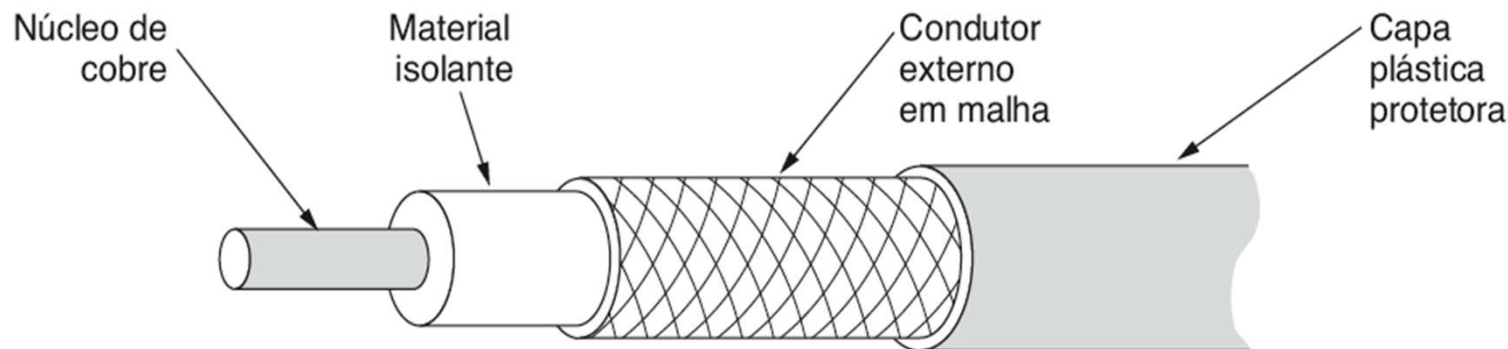


Cat 5 UTP: cabo com quatro pares trançados.

2.2 Meios de Transmissão Guiados

► Cabo coaxial

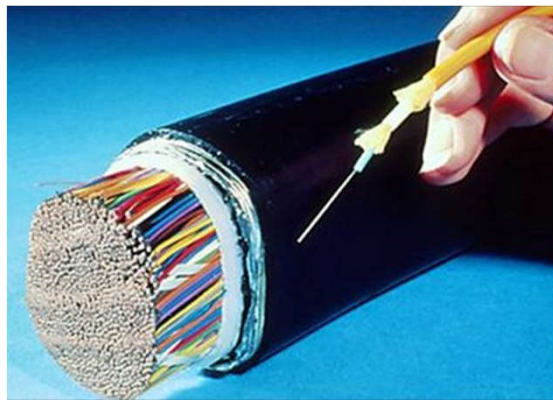
- Ele tem melhor blindagem que os pares trancados, e assim pode se estender por distâncias mais longas em velocidades mais altas.
- Dois tipos de cabo coaxial são amplamente utilizados. Um deles, o cabo de **50 ohms**, é comumente empregado nas transmissões digitais. O outro tipo, o cabo de **75 ohms**, é usado com frequência nas transmissões analógicas e de televisão a cabo, mas esta se tornando mais importante com o advento da Internet por cabo. Os cabos modernos tem uma largura de banda próxima de 1 GHz.



2.2 Meios de Transmissão Guiados

▶ Fibra Óptica

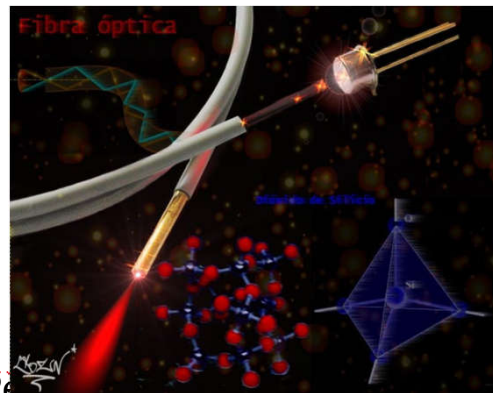
- O IBM PC original (de 1981) funcionava com uma velocidade do *clock* de 4,77 MHz. Vinte anos depois, os PCs podiam funcionar a 2 GHz, um aumento de desempenho de dezesseis vezes por década.
- Neste mesmo período enlaces de comunicação passaram de 45Mbps (T3 nos sistema telefônico) para 100 Gbps (linha moderna de longa distância) isso significa que seu desempenho melhorou mais de 16vezes em cada década, enquanto no mesmo período a taxa de erros passou de 10^{-5} por bit para quase zero.



2.2 Meios de Transmissão Guiados

▶ Fibra Óptica

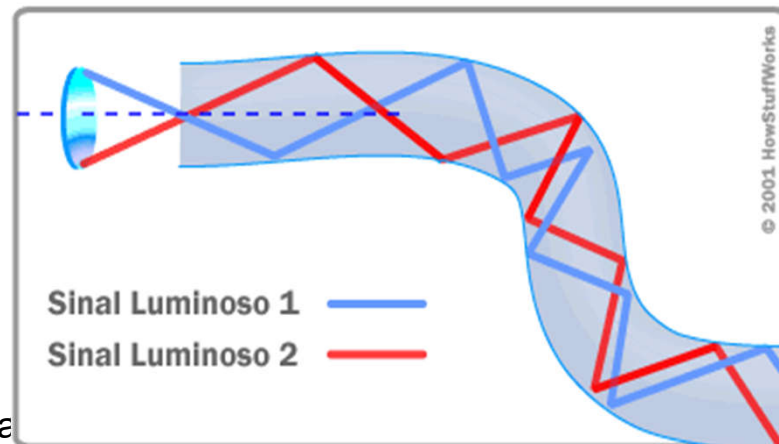
- ▶ CPUs isoladas estão se aproximando dos limites físicos, como a velocidade da luz e os problemas decorrentes da dissipação de calor.
- ▶ Com a atual tecnologia de fibra óptica, a largura de banda pode ultrapassar a casa dos 50.000 Gbps (50 Tbps) e muitas pessoas estão procurando tecnologias e materiais de melhor qualidade.
- ▶ Limite pratico da sinalização atual e de cerca de 100 Gbps, devido a nossa incapacidade para realizar a conversão entre sinais elétricos e ópticos com velocidade maior.



2.2 Meios de Transmissão Guiados

▶ Fibra Óptica

- ▶ Quando vários raios incidem na fronteira acima do ângulo crítico em uma fibra óptica, estes estarão ricocheteando em diferentes ângulos. Cada raio em um modo diferente. A fibra preparada para este tipo de uso é chamada de **multimodo**.
- ▶ Se o diâmetro da fibra for reduzido a alguns comprimentos de onda da luz, esta agirá como um guia de onda e a luz se propagará em linha reta, sem ricochetear. A fibra com essas características é chamada de **monomodo** ou de modo único.



2.2 Meios de Transmissão Guiados

▶ Fibra Óptica

- Um sistema de transmissão óptica tem três componentes fundamentais: a fonte de luz, o meio de transmissão e o detector.
- Por convenção, um pulso de luz indica um bit 1, e a ausência de luz representa um bit zero.
- 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.
- Utiliza-se a unidade de Microns para comprimento de onda. 1 MICRON = 10^{-6} METROS.

2.2 Meios de Transmissão Guiados

► Transmissão de luz

- As fibras ópticas são feitas de vidro que, por sua vez, é produzido a partir da areia, uma matéria-prima de baixo custo e abundante.
- A atenuação da luz através do vidro depende do comprimento de onda da luz (bem como de algumas propriedades físicas do vidro).

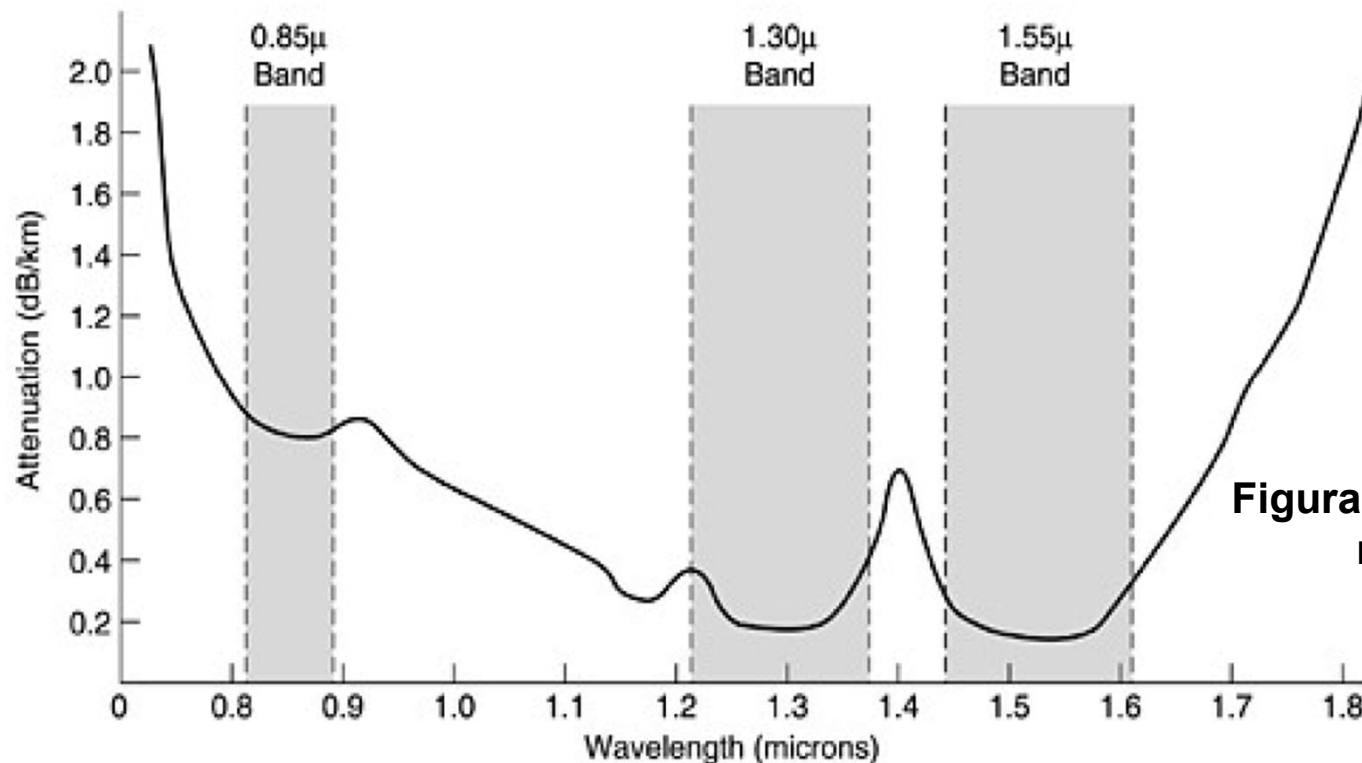
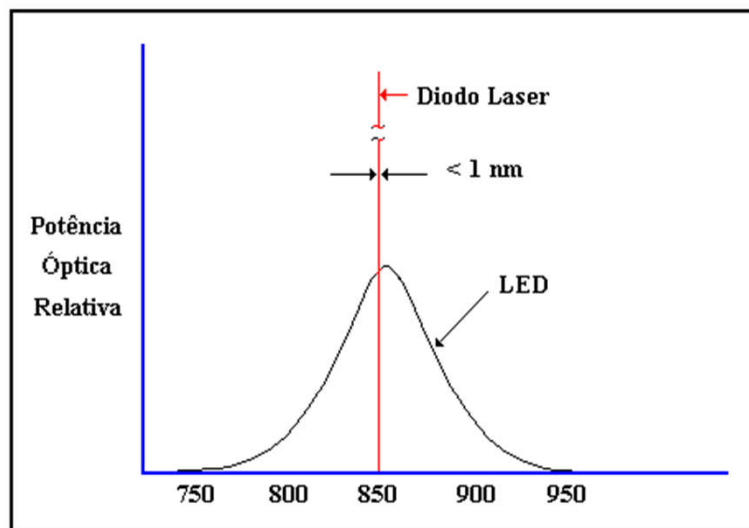


Figura. Atenuação da luz na fibra, na região do infravermelho.

2.2 Meios de Transmissão Guiados

- Dentro da faixa de infravermelho as fibras apresentam três janelas de condução 850, 1300 e 1550nm com aproximadamente 30000Ghz de largura de banda cada uma.
- Os pulsos de luz enviados através de uma fibra se expandem a medida que se propagam. Essa expansão é chamada **dispersão cromática**. O volume da dispersão depende do comprimento de onda. Uma forma de impedir que esses pulsos dispersos se sobreponham e aumentar a distância entre eles, mas isso só pode ser feito reduzindo-se a taxa de sinalização.

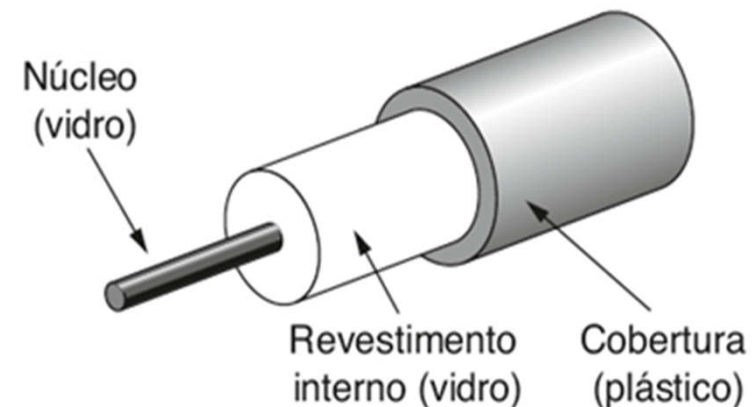
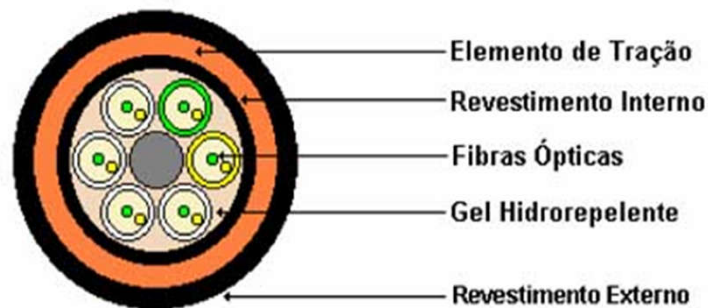


Largura espectral do Led e do Laser

Dois tipos de fontes de luz são usadas geralmente para fazer a sinalização: os diodos emissores de luz (LEDs — Light Emitting Diodes) e os lasers semicondutores.

2.2 Meios de Transmissão Guiados

- ▶ Os cabos de fibra óptica são semelhantes aos cabos coaxiais, exceto por não terem a malha metálica.
- ▶ Normalmente, os cabos de fibra terrestres são colocadas no solo a um metro da superfície, onde ocasionalmente são atacados por pequenos animais roedores. Próximo ao litoral, cabos de fibra transoceânicos são enterrados em trincheiras por uma espécie de arado marítimo.



2.2 Meios de Transmissão Guiados

► Redes de Fibra Óptica

- As fibras ópticas podem ser usadas em LANs e nas transmissões de longa distancia, apesar de sua conexão ser mais complexa que a conexão a uma rede Ethernet.
- Uma forma de contornar esse problema e perceber que uma rede em anel e, na verdade, apenas um conjunto de enlaces ponto a ponto, como mostra a Figura.

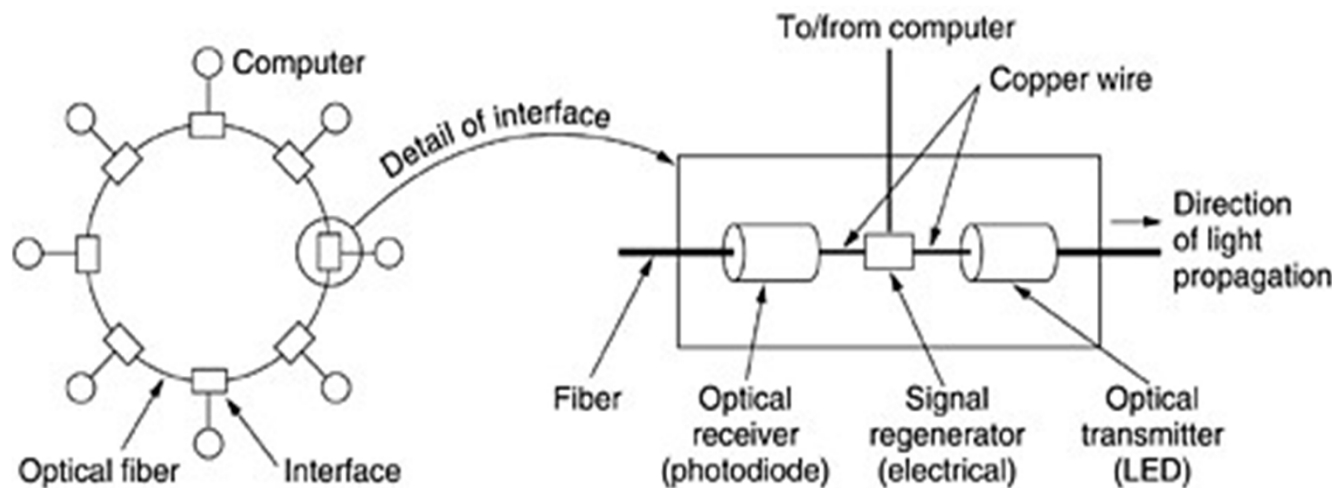


Figura. Um anel de fibra óptica com repetidores ativos.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco

2.2 Meios de Transmissão Guiados

- ▶ **Comparação entre fibras ópticas e fios de cobre**
- ▶ E instrutivo comparar a fibra com o cobre. A fibra tem muitas vantagens, entre elas, pode-se citar:
 - Pode gerenciar larguras de banda muito mais altas do que o cobre;
 - Devido a baixa atenuação, os repetidores só são necessários a cada 50 quilômetros de distancia em linhas longas, comparada a distancia de 5 km no caso do cobre;
 - Não ser afetada por picos de tensão, interferência eletromagnética ou quedas no fornecimento de energia
 - Imune a ação corrosiva de alguns elementos químicos que pairam no ar;
 - Mil pares trançados com 1km de comprimento pesam 8 toneladas, duas fibras ópticas possuem mais capacidade e pesam apenas 100kg.

Figura. Um anel de fibra óptica com repetidores ativos.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco

2.2 Meios de Transmissão Guiados

- ▶ **Comparação entre fibras ópticas e fios de cobre**
- ▶ Por outro lado:
 - a fibra tem a desvantagem de ser uma tecnologia menos familiar,
 - As fibras podem ser danificadas com facilidade, se forem encurvadas demais
 - Como a transmissão óptica é basicamente unidirecional, a comunicação bidirecional exige duas fibras ou duas bandas de frequência em uma única fibra
 - As interfaces de fibra são mais caras que as interfaces elétricas.

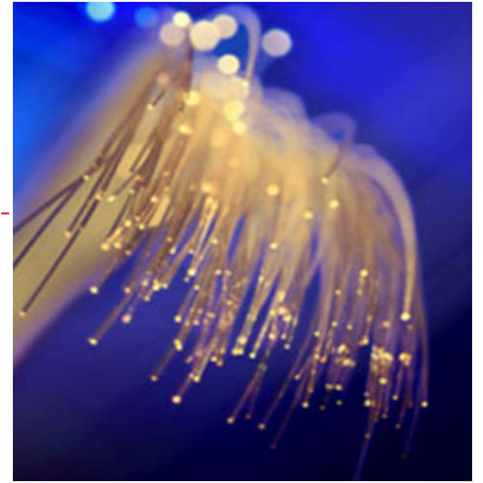


Figura. Um anel de fibra óptica com repetidores ativos.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco

2.3 Transmissão Sem Fios



- ▶ A cada dia mais, as pessoas precisam transferir dados para seus computadores laptop, notebook, palmtop, de bolso ou de pulso sem depender da infraestrutura de comunicação terrestre.
- ▶ Chega-se a acreditar que no futuro só haverá dois tipos de comunicação: as comunicações por fibra e as comunicações sem fios. Todos os computadores, telefones e equipamentos de fax fixos (isto é, não moveis) serão conectados por fibra óptica, e todos os computadores moveis utilizarão comunicações sem fios.



2.3 Transmissão Sem Fios

► O espectro eletromagnético

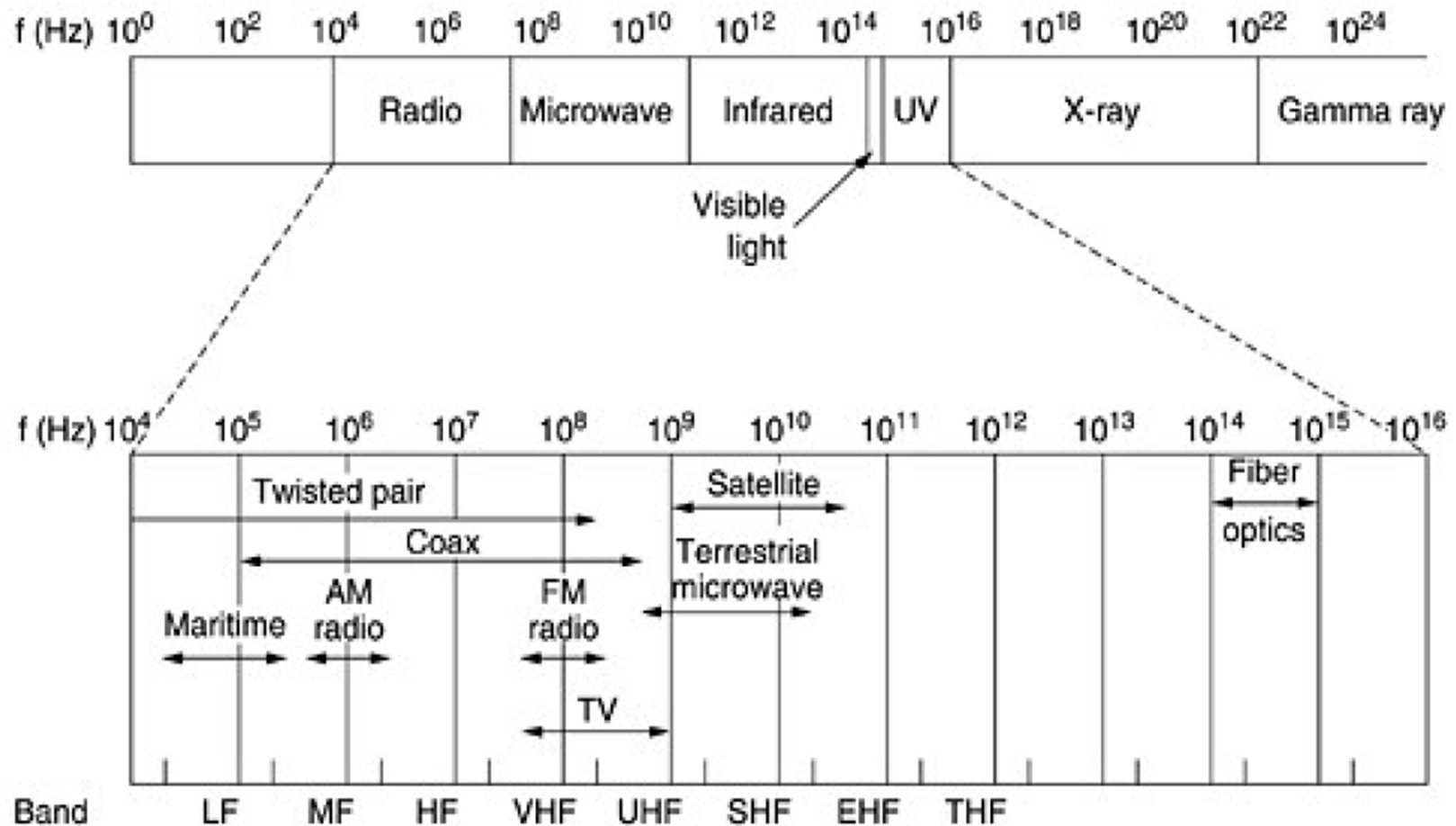


Figura. O espectro eletromagnético e a maneira como ele é usado na comunicação.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco

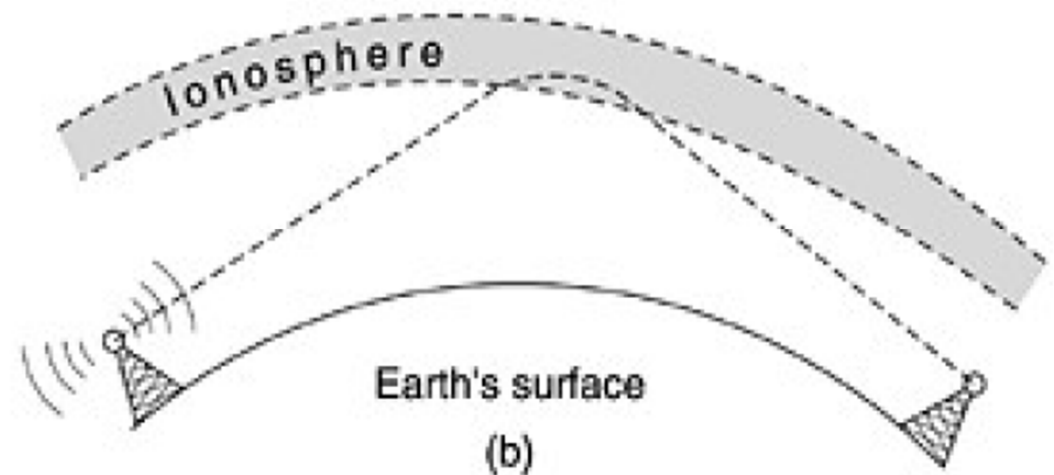
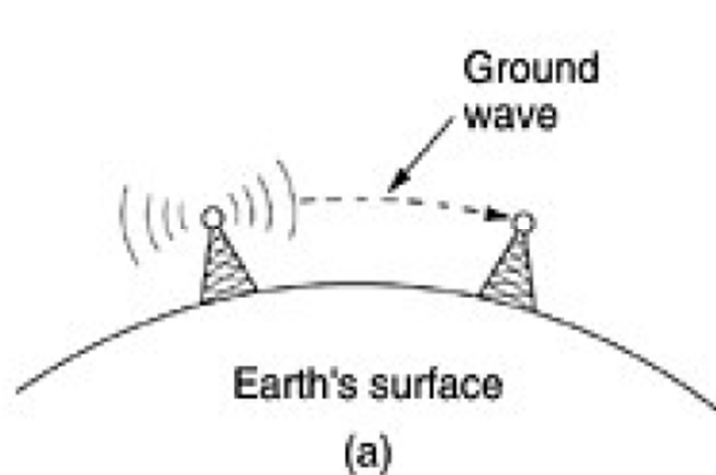
2.3 Transmissão Sem Fios

Faixa	Mecan. de Propagação	Aplicações
VLF (Very Low Frequency) 3 a 30 KHz	Guia de onda entre o solo e a ionosfera.	Radionavegação, Comunicação móvel marítima, Radiolocalização, Sonar.
LF (Low Frequency) 30 a 300 KHz	Guia de onda entre o solo e a ionosfera. Onda de superfície.	Radionavegação, Comunicação móvel, Marítima, Radiolocalização, Sonar.
MF (Medium Frequency) 300 a 3.000 KHz	Onda de superfície. Refração ionosférica (à noite).	Rádiodifusão AM, Radionavegação, Comunicação móvel marítima.
HF (High Frequency) 3 a 30 MHz	Refração ionosférica.	Telefonia fixa e móvel à longa distância, Rádiodifusão internacional, Radio amador, Comunicação navio-costa.
VHF (Very High Frequency) 30 a 300 MHz	Propagação troposférica: visibilidade direta, reflexão, difração e difusão.	Telefonia, Rádiodifusão FM e TV, Rádio amador, Radionavegação, Radioastronomia, Serviços de despacho (táxi, polícia, bombeiros, etc..).
UHF (Ultra High Frequency) 300 a 3.000 MHz	Propagação troposférica: visibilidade direta, reflexão, difração e difusão.	Telefonia móvel celular, Rádiodifusão UHF, Radionavegação, Radioastronomia, Radar.
SHF (Super High Frequency) 3 a 30 GHz	Visibilidade direta.	Sistemas de média e alta capacidade, Radionavegação, Radioastronomia, Microondas, Via-satélite, Radar.
EHF (Extremely High Freq.)	Visibilidade direta.	Sistemas Via-satélite, Radar, Aplicações em fase

2.3 Transmissão Sem Fios

▶ Transmissão de rádio

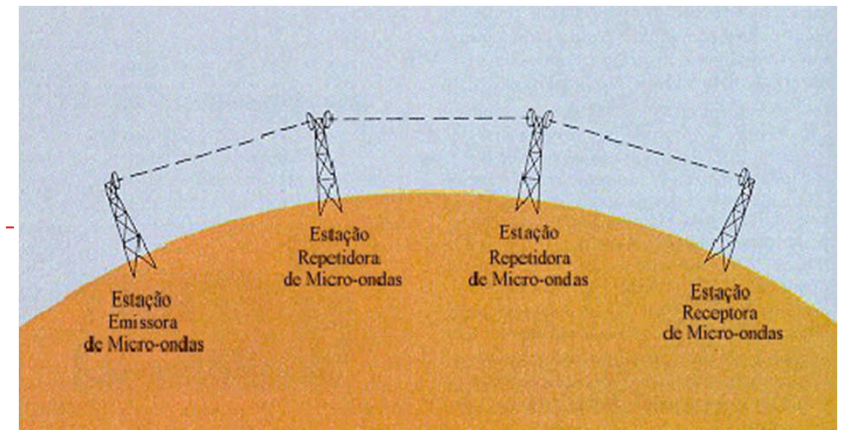
- ▶ As ondas de rádio são omnidirecionais, o que significa que elas viajam em todas as direções a partir da fonte; desse modo, o transmissor e o receptor não precisam estar cuidadosa e fisicamente alinhados.
- ▶ Nas bandas VLF, VF e MF, as ondas de rádio obedecem a curvatura da Terra.
- ▶ Na banda HF, elas ricocheteiam na ionosfera.



2.3 Transmissão Sem Fios

▶ Transmissão de Microondas

- ▶ Acima de 100 MHz, as ondas trafegam praticamente em linha reta e, portanto, podem ser concentradas em uma faixa estreita.
- ▶ A concentração de toda a energia em um pequeno feixe através de uma antena parabólica (como a conhecida antena de TV por satélite) oferece uma relação sinal/ruído muito mais alta, mas as antenas de transmissão e recepção devem estar alinhadas com o máximo de precisão.
- ▶ Tendo em vista que as microondas viajam em linha reta, se as torres estiverem muito afastadas, a Terra acabara ficando entre elas. Torres com 100 m de altura devem ter repetidores a cada 80 km.



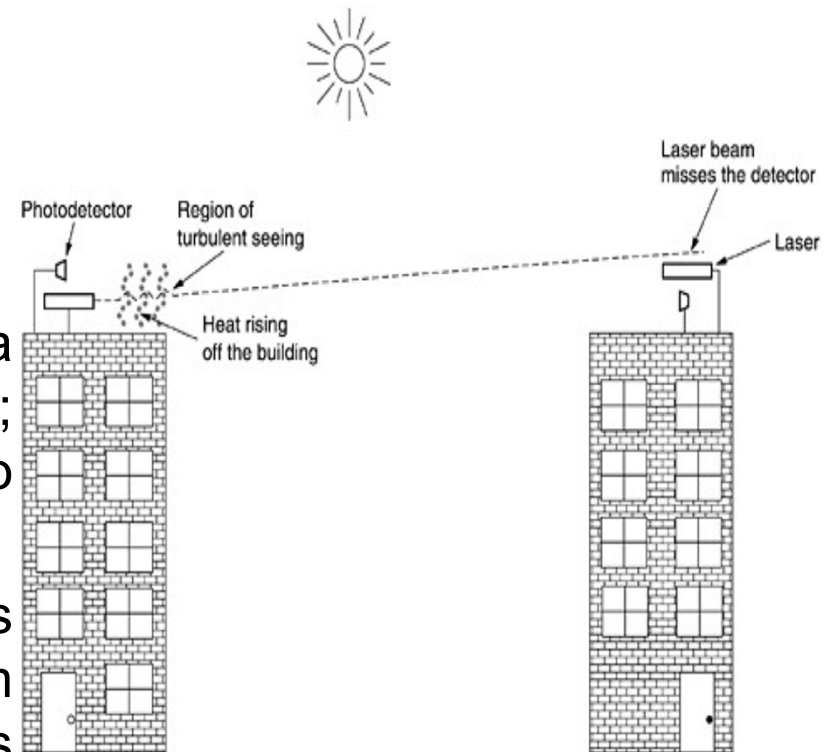
2.3 Transmissão Sem Fios

- ▶ **Ondas de infravermelho e milimétricas**
- ▶ As ondas de infravermelho e ondas milimétricas sem guias são extensamente utilizadas na comunicação de curto alcance. Todos os dispositivos de controle remoto utilizados nos aparelhos de televisão, videocassetes e equipamentos estereofônicos empregam a comunicação por infravermelho.
- ▶ Eles são relativamente direcionais, econômicos e fáceis de montar, mas tem uma desvantagem importante: não atravessam objetos sólidos (para provar essa tese, posicione-se entre o controle remoto e o televisor).



2.3 Transmissão Sem Fios

- ▶ **Transmissão por ondas de luz**
- ▶ A sinalização óptica sem guia vem sendo utilizada há séculos. Uma aplicação mais moderna consiste em conectar as LANs em dois prédios por meio de lasers instalados em seus telhados.
- ▶ Por sua própria natureza, a sinalização óptica coerente que utiliza raios laser e unidirecional; assim, cada prédio precisa do seu próprio raio laser e do seu próprio fotodetector.
- ▶ Uma das desvantagens dos feixes de raios laser é o fato de que eles não podem atravessar chuva ou neblina espessa, mas normalmente funcionam bem em dias ensolarados.



2.4 Satélites de Comunicações

- ▶ **Satélites de comunicações**
- ▶ Os satélites de comunicações possuem algumas propriedades interessantes, que os tornam atraentes para muitas aplicações. Em sua forma mais simples, um satélite de comunicações pode ser considerado um grande repetidor de microondas no céu.
- ▶ Ele contem diversos **transpondes** ; cada um deles ouve uma parte do espectro, amplifica os sinais de entrada e os transmite novamente em outra frequência, para evitar interferência com o sinal de entrada. Os feixes descendentes podem ser largos, cobrindo uma fração substancial da superfície terrestre, ou estreitos, cobrindo uma área com apenas centenas de quilômetros de diâmetro. Esse modo de operação é conhecido como **canal em curva** (*bent pipe*).

2.4 Satélites de Comunicações

- ▶ **Satélites geoestacionários**
- ▶ O período do satélite é importante, mas não é o único fator para se determinar onde posicioná-lo. Outra questão é a presença dos cinturões de Van Allen, camadas de partículas altamente carregadas que são capturadas pelo campo magnético terrestre.
- ▶ Para evitar o caos total no céu, a alocação de *slots* de orbitas é feita pela ITU.
- ▶ Os satélites modernos podem ser bastante grandes, pesando até **5000 kg** e consumindo **vários quilowatts** de energia elétrica produzida pelos painéis solares. Os efeitos da gravidade solar, lunar e planetária tendem a move-los para fora de seus slots de orbita e de suas orientações, um efeito compensado por motores de foguetes a bordo. Essa atividade de ajuste fino é chamada **manutenção da estação**.

2.4 Satélites de Comunicações

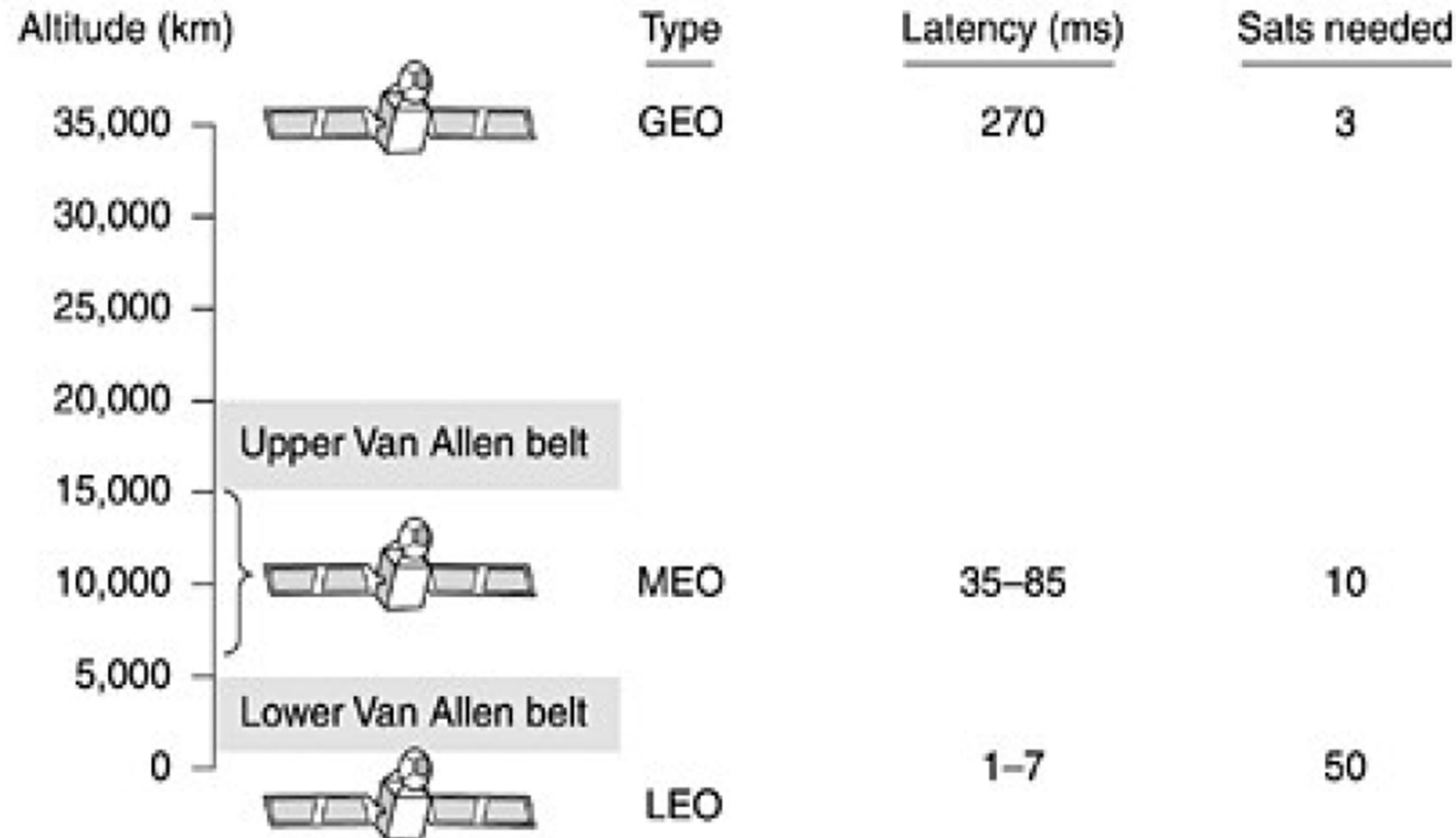


Figura. Satélites de comunicações e algumas de suas propriedades, inclusive altitude acima da Terra, tempo de retardo de ida e volta, e ainda o número de satélites necessários para cobertura global.

2.4 Satélites de Comunicações

- ▶ Os *slots* de orbita não são o único ponto de discórdia. As frequências também são, porque as transmissões do satélite para a Terra (*downlink*) interferem com usuários de microondas. Consequentemente, a ITU alocou certas bandas de frequência para usuários de satélites.

Band a	Downlink	Uplink	Largura de banda	Problemas
L	1,5 GHz	1,6 GHz	15 MHz	Baixa largura de banda; lotada
S	1,9 GHz	2,2 GHz	70 MHz	Baixa largura de banda; lotada
C	4,0 GHz	6,0 GHz	500 MHz	Interferência terrestre
Ku	11 GHz	14 GHz	500 MHz	Chuva
Ka	20 GHz	30 GHz	3500 MHz	Chuva; custo do equipamento

- ▶ Um satélite moderno tem cerca de 40 *transponders*, cada um com uma largura de banda de 36MHz.

2.4 Satélites de Comunicações

- ▶ Os primeiros satélites geoestacionários tinham um único feixe espacial que iluminava cerca de $1/3$ da superfície da Terra, denominado sua área de cobertura (*footprint*).
- ▶ Com o enorme declínio de preço, tamanho e requisitos de potencia dos equipamentos microeletrônicos, tornou-se viável uma estratégia de transmissão muito mais sofisticada.
- ▶ Um novo desenvolvimento no mundo dos satélites de comunicações e a criação de micro estações de baixo custo, as vezes chamadas VSATs (*Very Small Aperture Terminals*).

2.4 Satélites de Comunicações

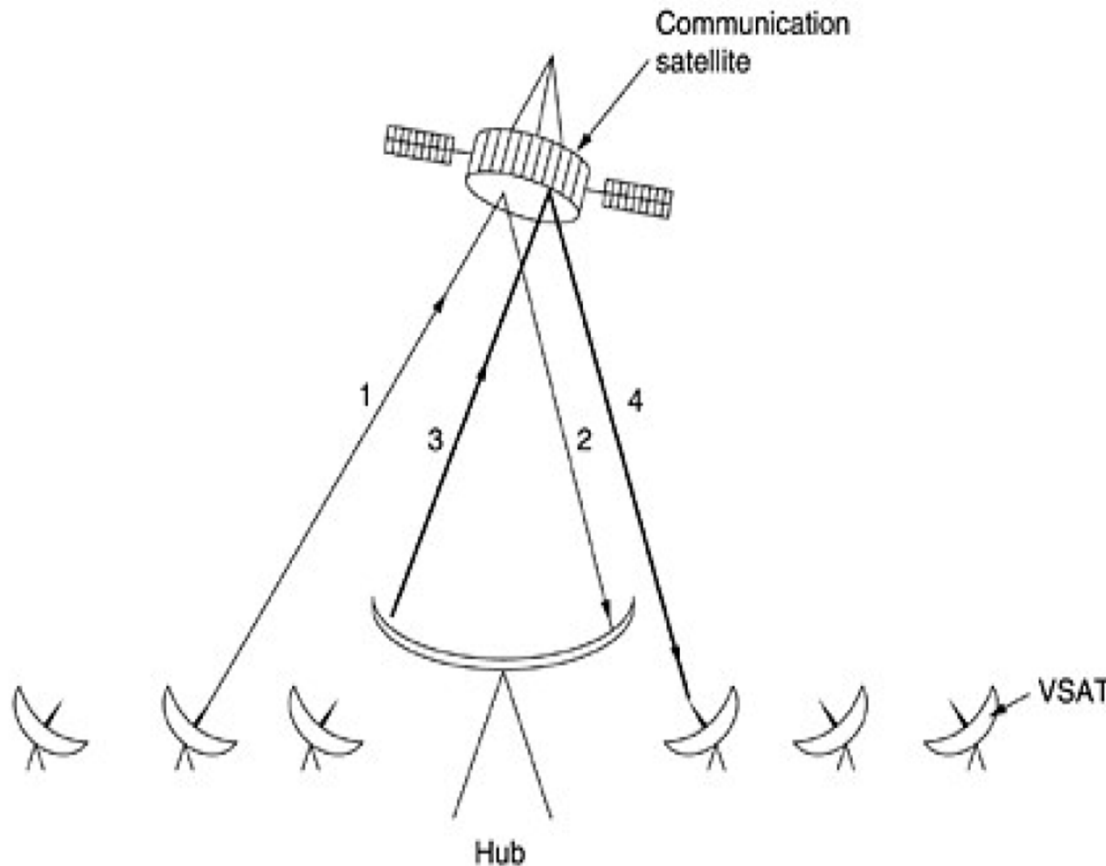


Figura. VSATs utilizando um hub.

Embora os sinais enviados e recebidos por um satélite trafeguem a velocidade da luz (aproximadamente 300.000 km/s), a longa distância de ida e volta introduz um retardo substancial para os satélites GEO que gira entre 250 a 300ms

Para fins de comparação, os enlaces de microondas terrestres tem um retardo de propagação de aproximadamente 3 μ s/km, e os enlaces de cabo coaxial ou fibra óptica geram um retardo de cerca de 5 μ s/km.

2.4 Satélites de Comunicações

- ▶ **Satélites terrestres de órbita média**
- ▶ Em altitudes muito mais baixas, entre os dois cinturões de Van Allen, encontramos os satélites MEO (*Medium-Earth Orbit*). Vistos da Terra, esses satélites se deslocam lentamente em longitude, levando cerca de 6 horas para circular a Terra.
- ▶ Pelo fato de estarem em órbitas mais baixas que os GEOs, eles têm uma área de cobertura menor no solo e exigem transmissores menos potentes para alcançá-los.
- ▶ Atualmente, esses satélites não são usados para telecomunicações, e assim não os examinaremos mais aqui. Os 24 satélites GPS (*Global Positioning System*) que estão em órbita a cerca de 18.000 km de altitude são exemplos de satélites MEO.

2.4 Satélites de Comunicações

- ▶ **Satélites terrestres de baixa orbita**
- ▶ A uma altitude menor, encontramos os satélites LEO (*Low-Earth Orbit*). Devido a seu rápido movimento, são necessárias grandes quantidades desses satélites para formar um sistema completo.
- ▶ Por outro lado, pelos fato de os satélites estarem muito próximos da Terra, as estações terrestres não precisam de muita potencia, e o retardo de ida e volta e de apenas alguns milissegundos.
- ▶ Dois s exemplos de constelações de satélites são: o **Iridium** cujo objetivo básico é fornecer um serviço de telecomunicações (voz) de amplitude mundial por meio de dispositivos portáteis que se comunicam diretamente com os satélites Iridium; e o **Teledesic** cujo objetivo é fornecer a milhões de usuários da Internet um *uplink* de ate 100Mbps e um *downlink* de ate 720Mbps, usando uma pequena antena fixa do tipo VSAT, ignorando por completo o sistema de telefonia.