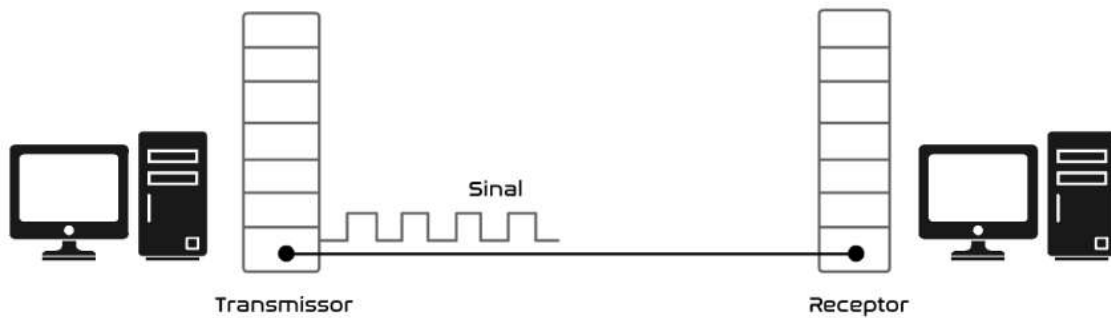




# CAMADA FÍSICA

## A camada física

A camada física é responsável pela geração e transmissão do sinal propriamente dito, que é levado de um transmissor ao receptor correspondente. Eles estão conectados por um enlace físico de transmissão.



Geração e transmissão de sinal de um transmissor para um receptor.

Para ativar, manter e desativar o link físico entre sistemas finais, a camada física define especificações:

**Elétricas**

**Mecânicas**

**Funcionais**

**Mecânicas**

A partir disso, são determinadas características como:

**Níveis de voltagem**

**Temporização de alterações de voltagem**

**Taxas de dados físicos**

**Distâncias máximas de transmissão**

**Conectores físicos**

**Outros atributos similares**

Essa camada está completamente associada ao hardware dos equipamentos e enlaces.

Na camada física, a unidade de dados é o bit de informação. O bit é codificado em um sinal elétrico ou óptico, de forma a ser transmitido pelo transmissor do enlace até o receptor através do meio físico de transmissão.

O sinal sofre diversos efeitos ao ser enviado pelo meio de transmissão (como interferências, ruídos, atenuação) e chega ao receptor após ter experimentado todas essas alterações.

Ao chegar ao destino, o receptor precisa decodificar o sinal para receber o bit de informação. Dependendo da situação, o receptor pode ou não decodificar corretamente o bit enviado.

A imagem abaixo ilustra um diagrama em blocos simplificado do procedimento descrito anteriormente, em que o ruído e outros fatores podem dificultar a recepção do sinal e causar erros na interpretação dos bits.



Diagrama em blocos simplificado da transmissão do sinal em um canal de comunicação.

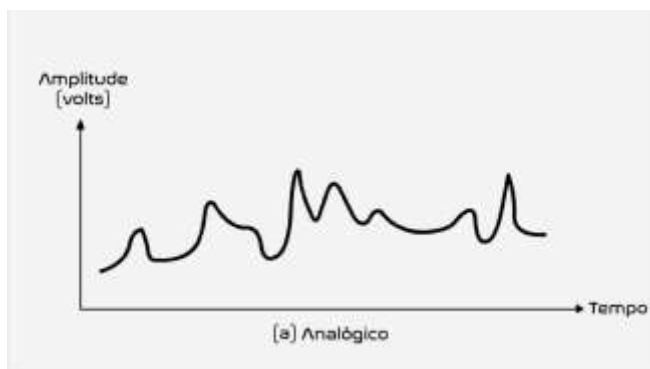
## Transmitindo informações

### *Transmissão de sinais*

Em redes de comunicação, a informação deve ser codificada em um sinal transmitido pelo canal do transmissor até o receptor.

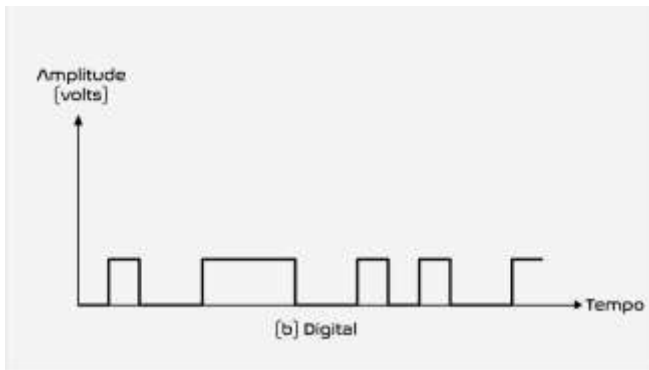
Os sinais podem ser analógicos ou digitais.

Você sabe qual é a diferença?



### **Sinais analógicos**

Apresentam a intensidade (amplitude), variando suavemente com o tempo.



## Sinais digitais

Mantêm um nível constante de intensidade e, depois, mudam abruptamente para outro nível constante de intensidade.

## Sinal periódico e suas propriedades

Sinal periódico é qualquer sinal (analógico ou digital) que se repete em um período de tempo  $T$ , conforme imagem abaixo:

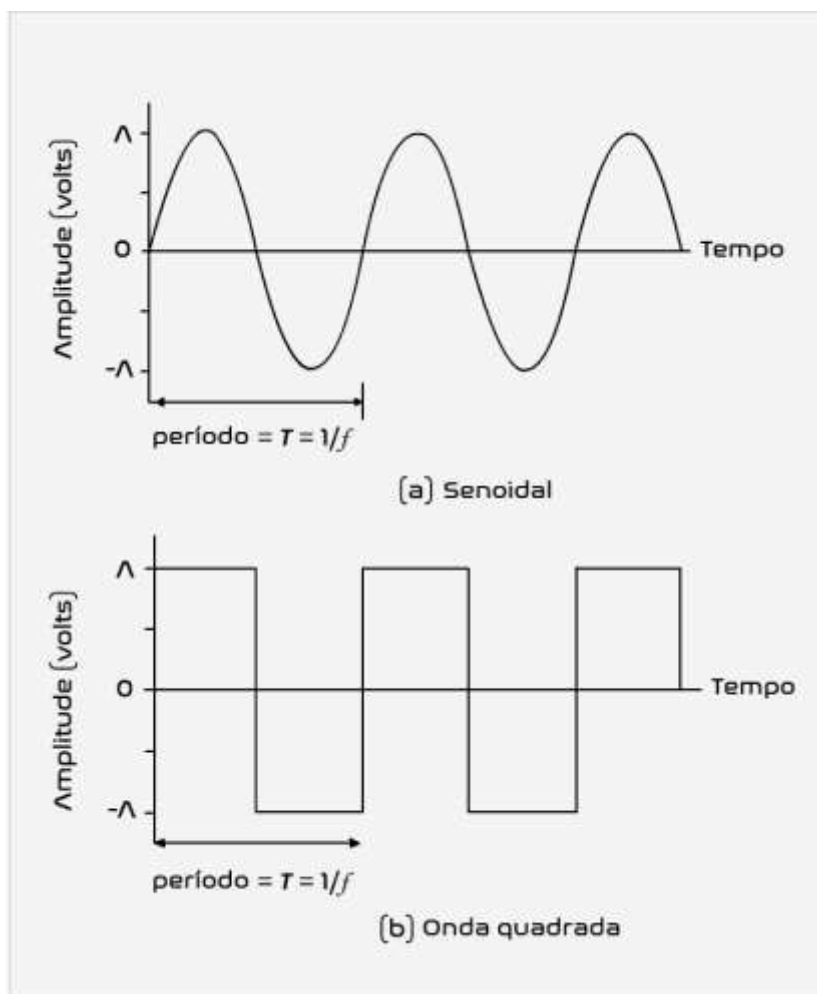


Gráfico: Sinal periódico.  
Stallings, 2005.

A frequência do sinal é dada pelo valor inverso do período de repetição:

$$f = 1 / T$$

O Período (T) é expresso em segundos (s), e a frequência (f), em hertz (Hz).

Quanto mais rápida for a variação do sinal (menor período), maior será a frequência.

É importante guardar essa relação quando formos estudar outros conceitos mais avançados, como banda passante e taxa de transmissão de dados.

Além da frequência, o sinal apresenta ainda como propriedades:

### **Amplitude A**

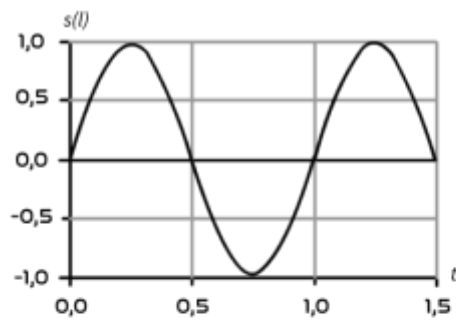
Ponto máximo de intensidade.

### **Fase $\Phi$**

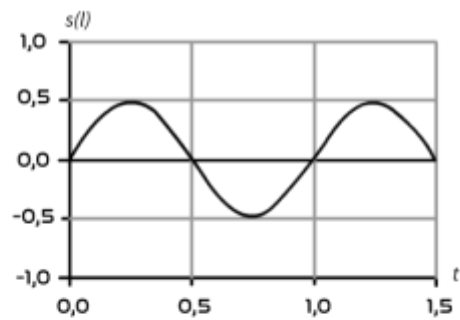
Posição relativa do sinal dentro de um período de repetição.

É possível codificar a informação variando as grandezas do sinal (f, A,  $\Phi$ ); assim, o sinal pode transportar o dado de um ponto ao outro do enlace.

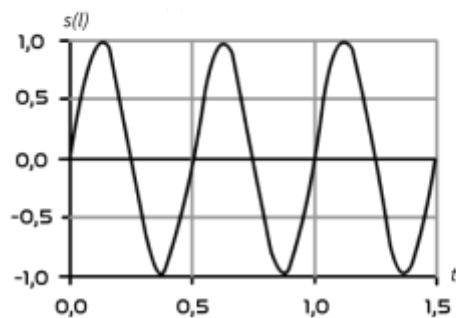
Os gráficos abaixo mostram os sinais variando em amplitude, frequência e fase.



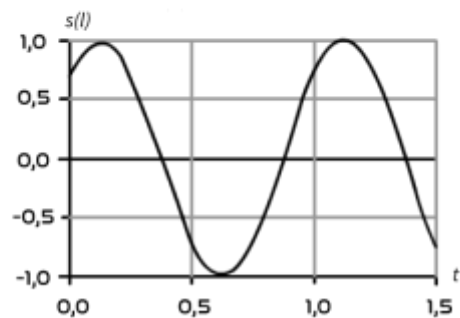
(a)  $A=1, f=1, \Phi=0$



(b)  $A=0,5, f=1, \Phi=0$



(c)  $A=1, f=2, \Phi=0$



(d)  $A=1, f=1, \Phi=\pi/4$

Gráfico: Variação do sinal em amplitude, frequência e fase.  
Stallings, 2005.

Nas imagens dos sinais expostos anteriormente, apresentamos os sinais em função de suas variações ao longo do tempo, mas os sinais podem também ser representados no **domínio da frequência**.

## Exemplo

A senoide, que vimos na imagem do sinal periódico, apresenta uma única **componente** no domínio da frequência, que é o próprio valor de  $f$ .

Pela análise de Fourier, é possível demonstrar que qualquer sinal pode ser decomposto em componentes (senoides) de frequência e intensidades diferentes.

No gráfico a seguir, o sinal resultante (à direita) pode ser obtido pela soma do primeiro sinal de frequência  $f$  e amplitude  $A$  com o segundo sinal de frequência  $3f$  e amplitude  $0,4A$ .

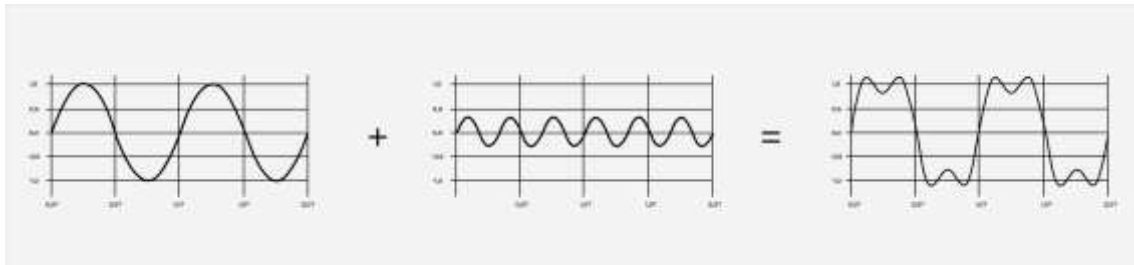


Gráfico: Decomposição de sinais em componentes de frequência.

Stallings, 2005.

*Banda passante*

Agora, podemos entender o conceito de **banda passante** do canal de comunicações.

Trata-se do conjunto contíguo de frequências de sinal que, ao passarem pelo canal de comunicação, são praticamente inalteradas.

As componentes de frequência do sinal que estão além da banda passante sofrem forte atenuação e são eliminadas.

Podemos imaginar o canal de comunicação como um filtro que deixa passar as componentes dentro da faixa de frequências especificadas pela banda passante e bloqueia as demais componentes fora da banda passante.

**Vamos ver um exemplo?**

Digamos que o sinal resultante (à direita) da imagem acima será transmitido por um canal de largura de banda  $2f$  Hz, que deixa passar sem atenuação componentes de frequência entre valores  $0,5f$  e  $2,5f$ .

Ao transmitir esse sinal pelo canal, a componente de frequência  $3f$  será completamente eliminada, e o sinal que aparecerá do outro lado será simplesmente a senoide de frequência  $f$ , conforme gráfico abaixo.



Gráfico: Exemplo teórico de um canal ideal filtrando a componente  $3f$  do sinal TX.

Ronaldo Moreira Salles.

Um sinal digital apresenta variações abruptas na sua intensidade, o que pode ser representado no domínio da frequência por componentes de frequência muito elevados.

Assim, ao passar por um canal de comunicação, o sinal sofre distorções causadas pela banda passante do canal.

Quanto maior for a banda passante, menor será o efeito de filtragem do canal. Com isso, o receptor terá mais facilidade para interpretar a informação contida no sinal.

O gráfico abaixo ilustra a codificação de um caractere de informação (10111011) em uma possível representação por um sinal digital. Os desenhos que se seguem ilustram os efeitos de diferentes larguras de banda sobre a composição do sinal.

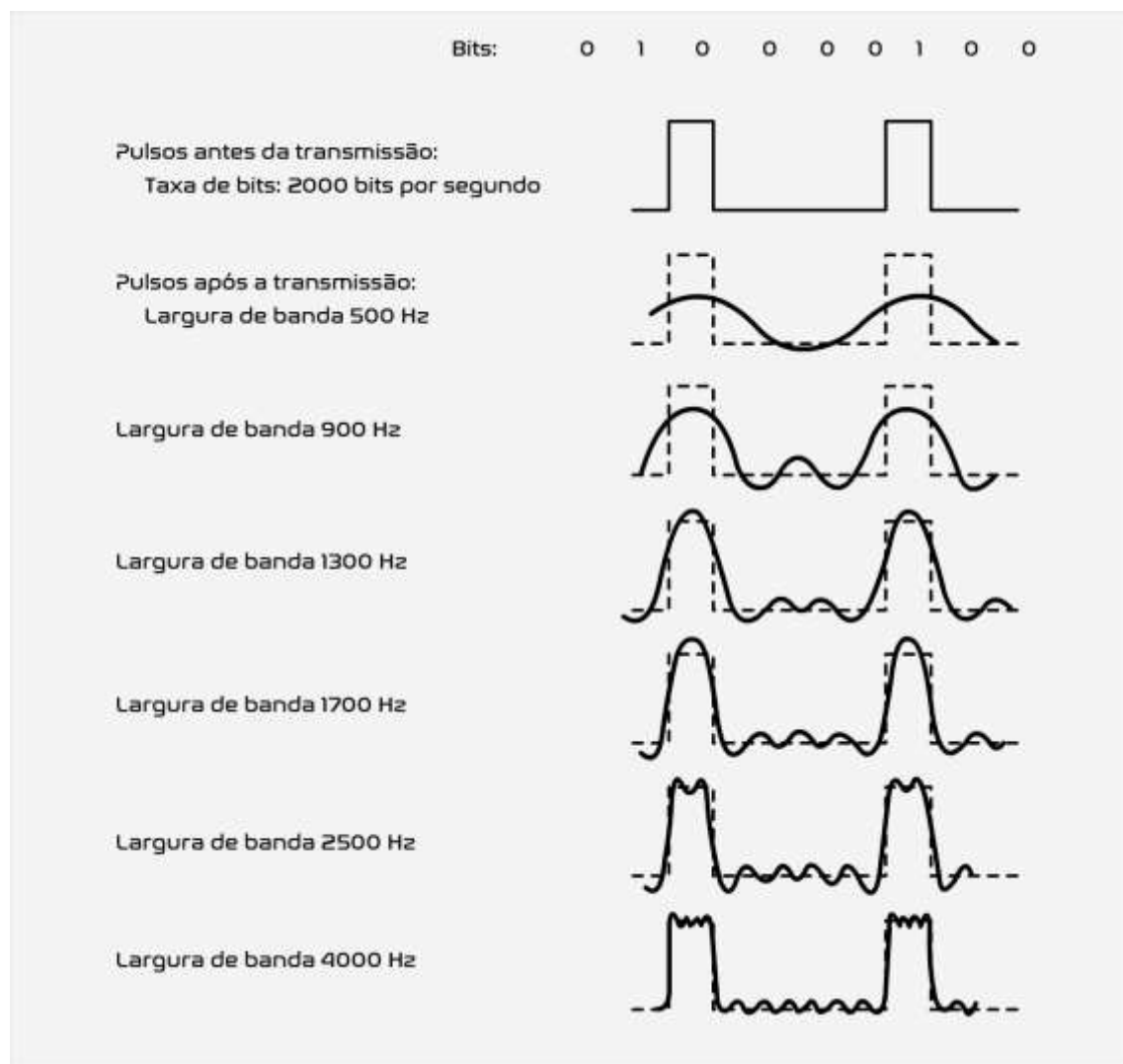


Gráfico: Efeitos da largura de banda sobre o sinal digital.  
Stallings, 2005.

### Taxa de transmissão

Outro conceito importante é a **taxa de transmissão** (*bit rate*) de um canal ou meio físico, que é dada pela quantidade de bits que esse meio consegue transmitir por segundo.

Essa taxa pode ser expressa em:

**Bits por segundo (bps)**

**Kilobits por segundo (Kbps)**

**Megabits por segundo (Mbps)**

**Gigabits por segundo (Gbps)**

Pelos conceitos estudados, sabemos que:



O sinal recebido pelo receptor é diferente do sinal que foi transmitido, pois sofreu todos os efeitos introduzidos pelo canal de comunicação.

Esses efeitos degradam o sinal e podem gerar erros de bits, ou seja, erros de interpretação na decodificação do sinal pelo receptor, em razão das alterações sofridas.

Além das distorções causadas pela banda passante limitada dos meios físicos, o sinal pode sofrer também uma série de outras degradações, como:

### Atenuação

A **atenuação** é a perda de potência do sinal devido à passagem pelo meio de transmissão (canal), fazendo com que a potência do sinal recebido pelo receptor seja menor do que a potência do sinal no momento em que foi transmitido. Caso a potência seja muito baixa na recepção (abaixo de determinado limiar), o sinal estará muito fraco e mais sujeito aos ruídos, podendo gerar erros no receptor.

O sinal transmitido em espaço livre (meio físico) sem obstáculos, onde o transmissor e o receptor são separados por uma distância  $d$ , sofre uma atenuação proporcional ao inverso do quadrado da distância  $1/d^2$ .

Em outras palavras, a razão entre a potência do sinal recebido ( $P_r$ ) e a potência do sinal transmitido ( $P_t$ ) é proporcional ao inverso do quadrado da distância:



$P_r/P_t \sim 1/d^2$  (RAPPAPORT, 2001). Para outros meios físicos e contextos de transmissão, as relações seguem outra formulação.

## Ruído

Pode ser entendido de forma ampla como sinais indesejados que são inseridos pelo meio físico de transmissão ou causados por fontes externas, comprometendo a integridade do sinal.

Os ruídos são classificados em diversos tipos e podem ser provenientes de fontes distintas.

O tipo de ruído mais comum é o **ruído térmico (ou ruído branco)**, que afeta todos os sistemas, pois ocorre em função da agitação dos elétrons no meio físico em virtude da temperatura.

O ruído térmico não pode ser eliminado completamente, limitando a capacidade máxima de um sistema de comunicação. A imagem ilustra o efeito do ruído do canal sobre o sinal digital e os erros de interpretação de bits por parte do receptor.

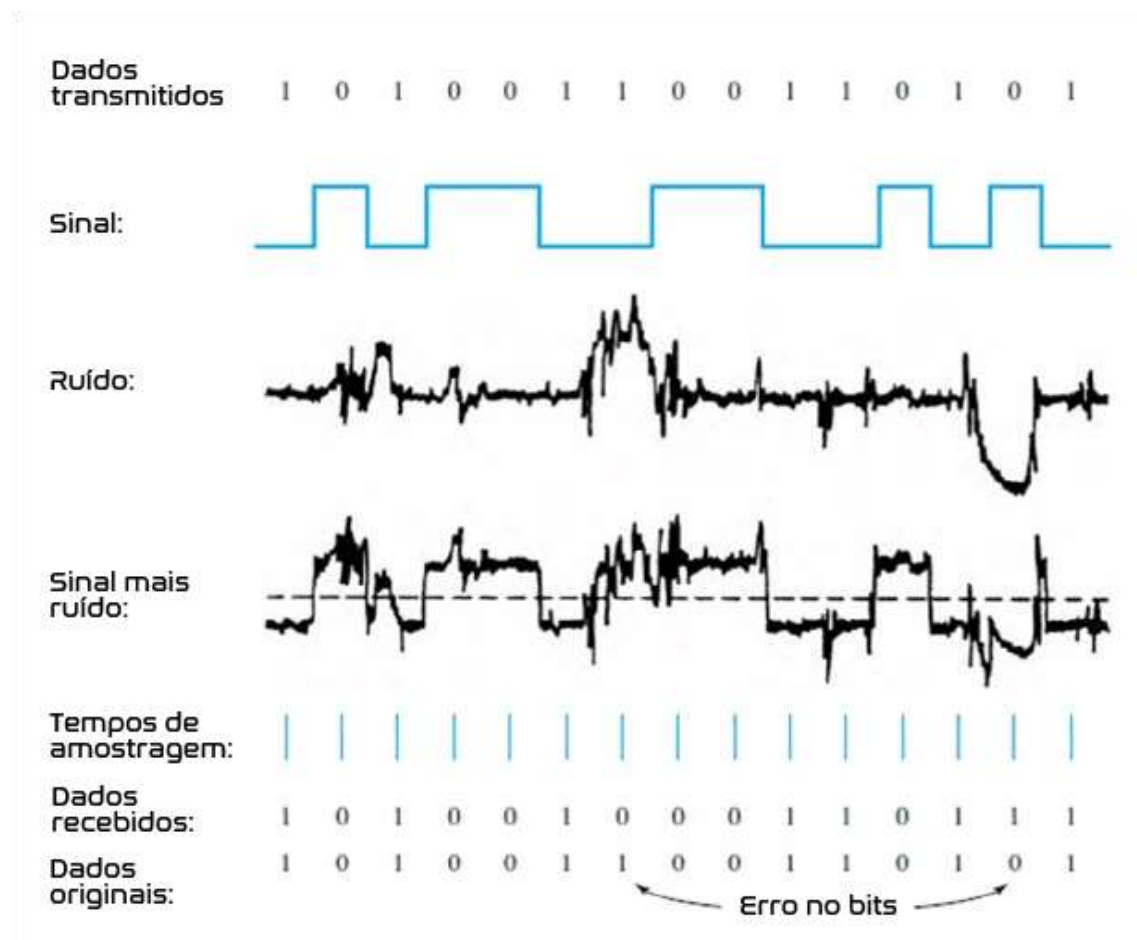


Gráfico: Efeito do ruído sobre o sinal e a decodificação dos bits.

# Meios de transmissão

## *Meios físicos de transmissão*

Os **meios físicos de transmissão** que compõem o canal de comunicação são classificados em:

### **Guiados**

Sinal é confinado.

### **Não guiados**

Transmissão em espaço aberto.

Vamos conhecer melhor cada um?

## ***Meios de transmissão guiados***

São geralmente empregados como meios físicos guiados, o cabo de par trançado, o cabo coaxial ou o cabo de fibra óptica:

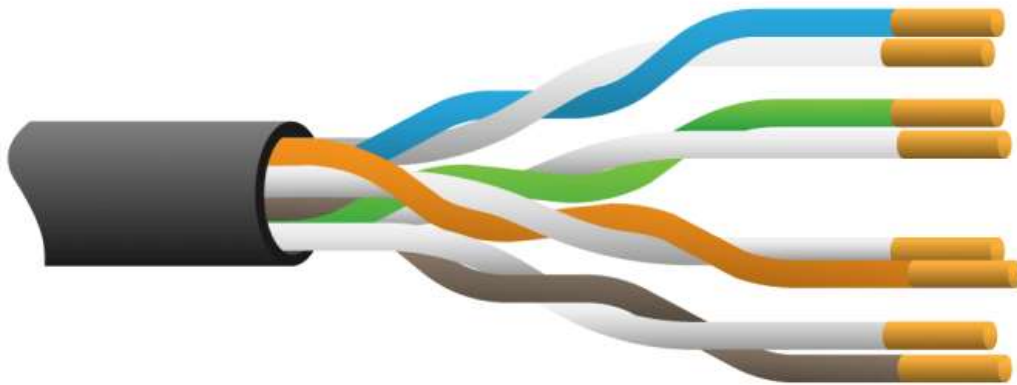
### **Par trançado**

A imagem abaixo apresenta um diagrama esquemático do par trançado. Esse meio físico é composto por dois fios de cobre em espiral. O trançado facilita o manejo e reduz interferências. Cada par trançado pode representar um canal de comunicação isolado.



Diagrama do par trançado.

Assim como na imagem abaixo, mais de um par é normalmente agrupado em um cabo com capa protetora, sendo geralmente comercializado dessa forma.



O par trançado é um dos meios físicos mais comuns para telefonia e redes locais prediais. As categorias mais encontradas são: categoria 5, com banda passante de 100Mhz, e a categoria 7, com banda passante de 1Ghz.

### **Coaxial**

O diagrama esquemático do cabo coaxial está representado na imagem abaixo. O cabo é composto de quatro elementos, de dentro para fora, o condutor interno que é um núcleo de cobre, isolador dielétrico interno, malha de cobre e revestimento plástico. Devido à sua própria confecção, ele é mais imune às interferências do que o par trançado, porém é menos flexível e usualmente mais caro. Alcança bandas passantes superiores a 500 MHz nos cabos de melhor qualidade, sendo muito empregado até os dias de hoje em redes de televisão a cabo.

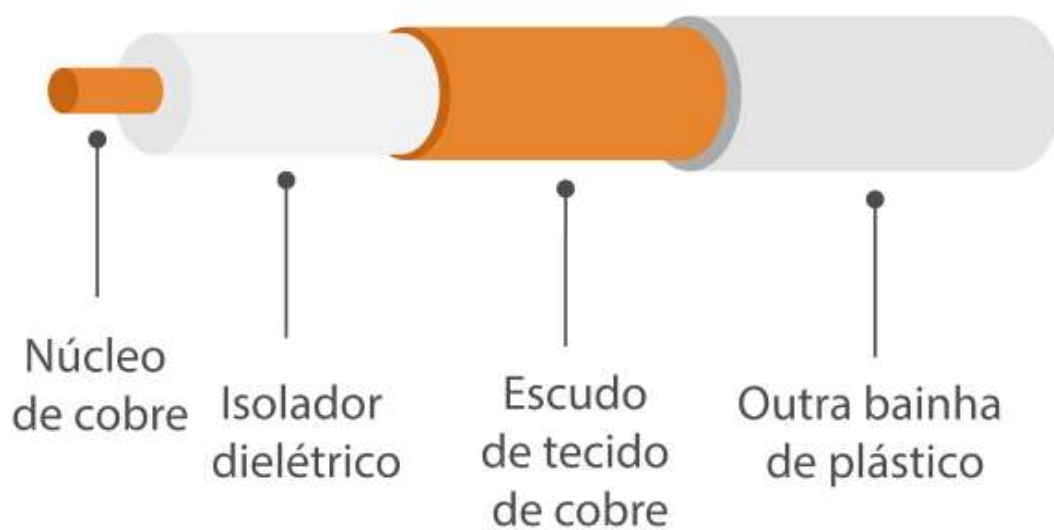


Diagrama do cabo coaxial.

### **Fibra óptica**

A fibra ótica é o outro tipo de meio físico guiado bastante utilizado.

De forma diferente do par trançado e do cabo coaxial, na fibra ótica, os sinais são constituídos de pulsos de luz; sendo assim, a fibra ótica não sofre interferências eletromagnéticas.

A fibra ótica é constituída de um filamento flexível e transparente fabricado a partir de vidro ou plástico. Ela é composta de um material com maior índice de refração (núcleo) envolto por um material com menor índice de refração (casca). Na imagem abaixo, o núcleo e o revestimento são caracterizados por diferentes índices de refração da luz  $n_1 > n_2$ .

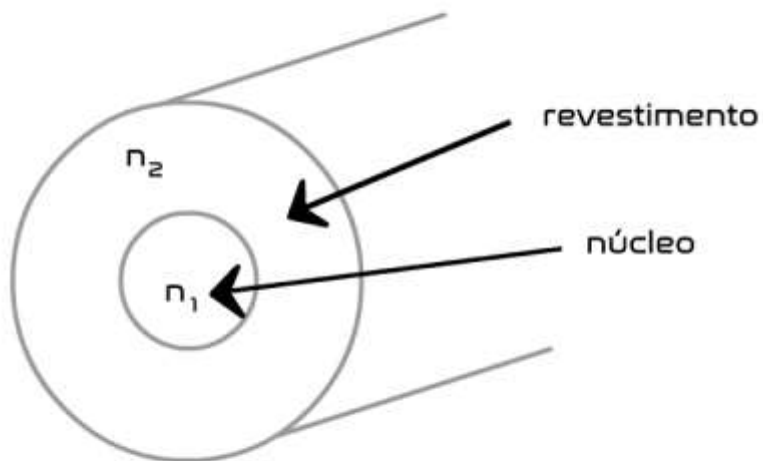
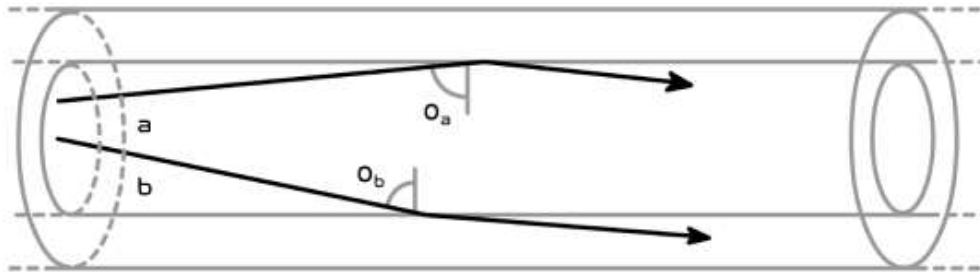


Imagem: Diagrama da fibra óptica.

Pela Lei de Snell, também conhecida como lei da refração da luz, existe uma relação direta entre os índices e ângulos de incidência da luz, de forma que ela

possa ser refletida e seguir se propagando pelo interior da fibra, vide feixe de luz "a" da imagem abaixo. Esse é o princípio de propagação dos sinais luminosos em uma fibra óptica.



Reflexão total do raio de luz "a" e refração do raio de luz "b".

**O par trançado e o cabo coaxial transportam o sinal eletromagnético. Na fibra óptica, o sinal é propagado na forma de luz.**

#### **Par trançado**

**Vantagens:** Mais flexível e barato.

**Desvantagens:** Enfrenta em maior escala o problema de interferências eletromagnéticas.

#### **Cabo Coaxial**

**Vantagens:** O sinal fica mais protegido de interferências quando comparado ao par trançado. Não precisa de nenhum componente eletro-óptico (caso da fibra óptica).

**Desvantagens:** Menos flexível e mais pesado que o par trançado. Menos capacidade de transmissão de informação que a fibra óptica.

#### **Fibra óptica**

**Vantagens:** Possibilita altas taxas de transmissão de dados (elevada banda passante), apresenta baixa atenuação com a distância, é imune a interferências eletromagnéticas e possui baixo peso.

**Desvantagens:** Pouca flexibilidade, custos mais elevados e conectorização mais difícil.

A fibra óptica é o meio físico principal que garante a interconexão global das redes de dados.

A imagem abaixo ilustra as conexões por cabos submarinos que empregam as fibras ópticas como meio de transmissão.

Embora as fibras óticas sejam amplamente utilizadas em enlaces de longas distâncias, atualmente observa-se o emprego crescente desse material nas residências dos assinantes de serviços de internet.



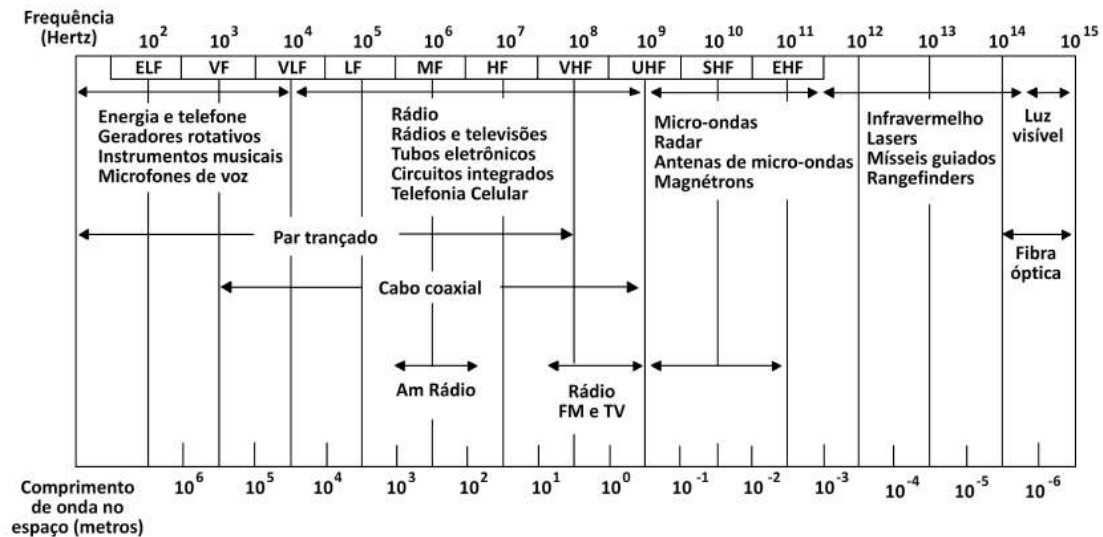
Conexões de cabos submarinos empregando fibra óptica como meio de transmissão.

*Meios de transmissão não guiados (espaço aberto)*

A transmissão de sinais em meios não guiados se refere à **transmissão em espaço aberto**.

Nesse ambiente, uma série de sinais e ondas eletromagnéticas estão presentes e compartilham o espaço em diferentes frequências.

É possível classificar as transmissões em meio não guiado (sem fio) de acordo com as frequências das ondas utilizadas. A imagem abaixo ilustra o espectro eletromagnético e a correspondente classificação.



Espectro eletromagnético.

De acordo com a imagem acima, é possível separar as transmissões em espaço aberto em três grandes grupos que apresentam características distintas: ondas de rádio (radiofrequência – RF), micro-ondas e infravermelho. Cada grupo pode ainda ser dividido em subgrupos.

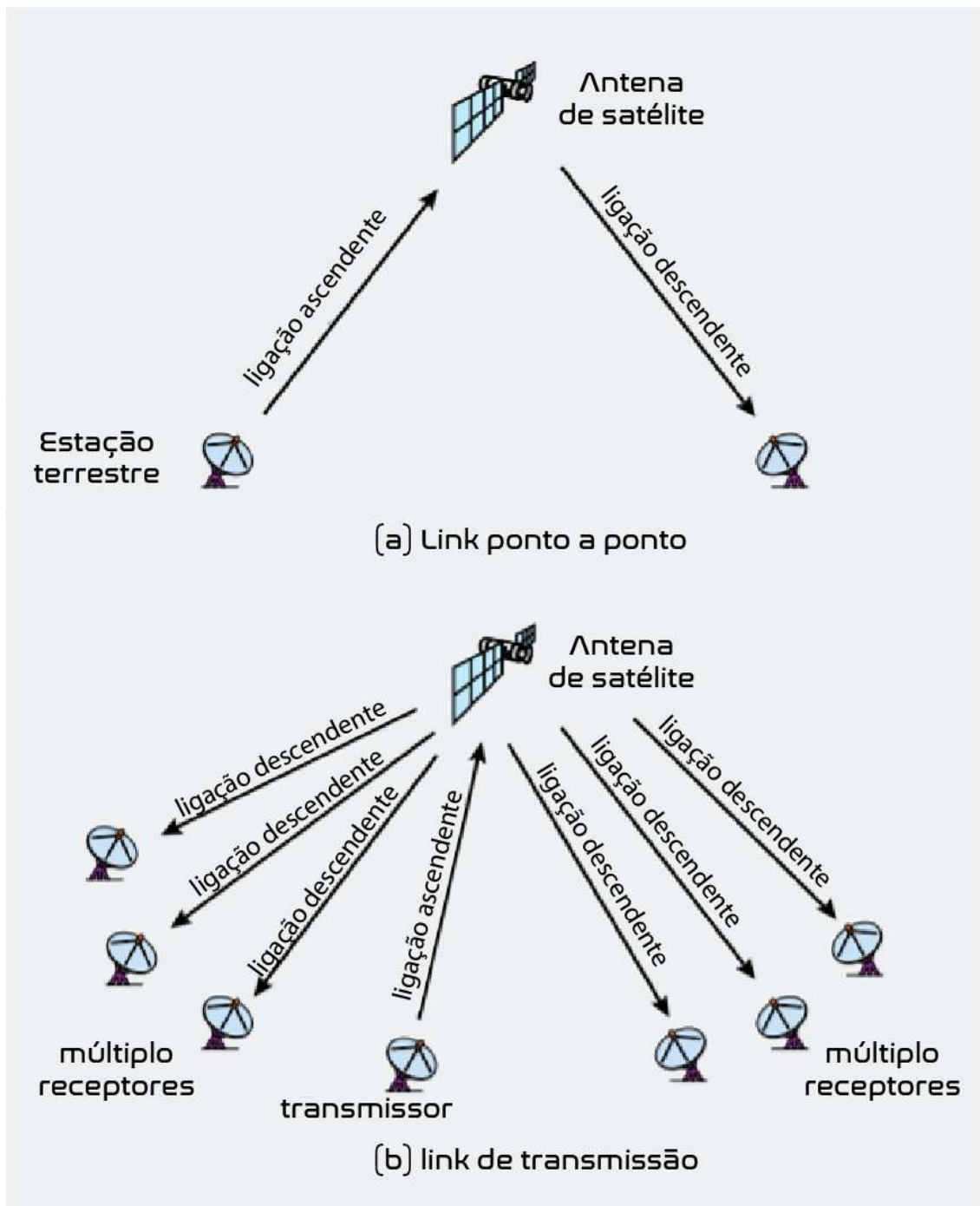
Os sinais de radiofrequência se espalham desde as centenas de KHz até, no máximo, poucas unidades de Ghz. Estão incluídas nessa faixa as ondas de rádio AM e FM, a TV e a telefonia celular. As redes Wi-Fi operam na faixa conhecida como ISM, nas frequências de 900Mhz, 2.4Ghz e 5Ghz.

Nessas faixas de frequência, o sinal transmitido é irradiado em diversas direções, o que permite um bom suporte à mobilidade para as estações receptoras.

Na faixa das micro-ondas, os comprimentos de onda dos sinais são pequenos, e existe a necessidade de haver um alinhamento entre as antenas dos transmissores e receptores dos sinais (linha de visada). As frequências mais altas garantem elevadas bandas passantes para os canais de micro-ondas, porém esses canais são mais suscetíveis às interferências causadas pelas condições climáticas.

A próxima imagem ilustra a comunicação via satélite que opera na faixa de micro-ondas tanto em enlaces ponto a ponto quanto em enlaces do tipo *broadcast*.





Enlaces de micro-ondas via satélite.

O terceiro grupo emprega transmissões em frequências ainda mais elevadas na faixa do infravermelho e dos lasers. Nessa faixa, também é necessário o alinhamento entre transmissor e receptor. Geralmente, são empregados em enlaces de curto alcance, pois apresentam dificuldade para transpor obstáculos.