

# Camada Física

Meios de Transmissão



# Meios (Mídias) de Transmissão

- São os elementos responsáveis pela conexão entre agentes transmissores e receptores em um sistema de comunicação
- Podem ser divididos em duas grandes categorias:
  - Mídias guiadas
  - Mídias não-guiadas

# Meios Físicos

## Guiados

- Par Trançado
- Coaxial
- Fibra Óptica



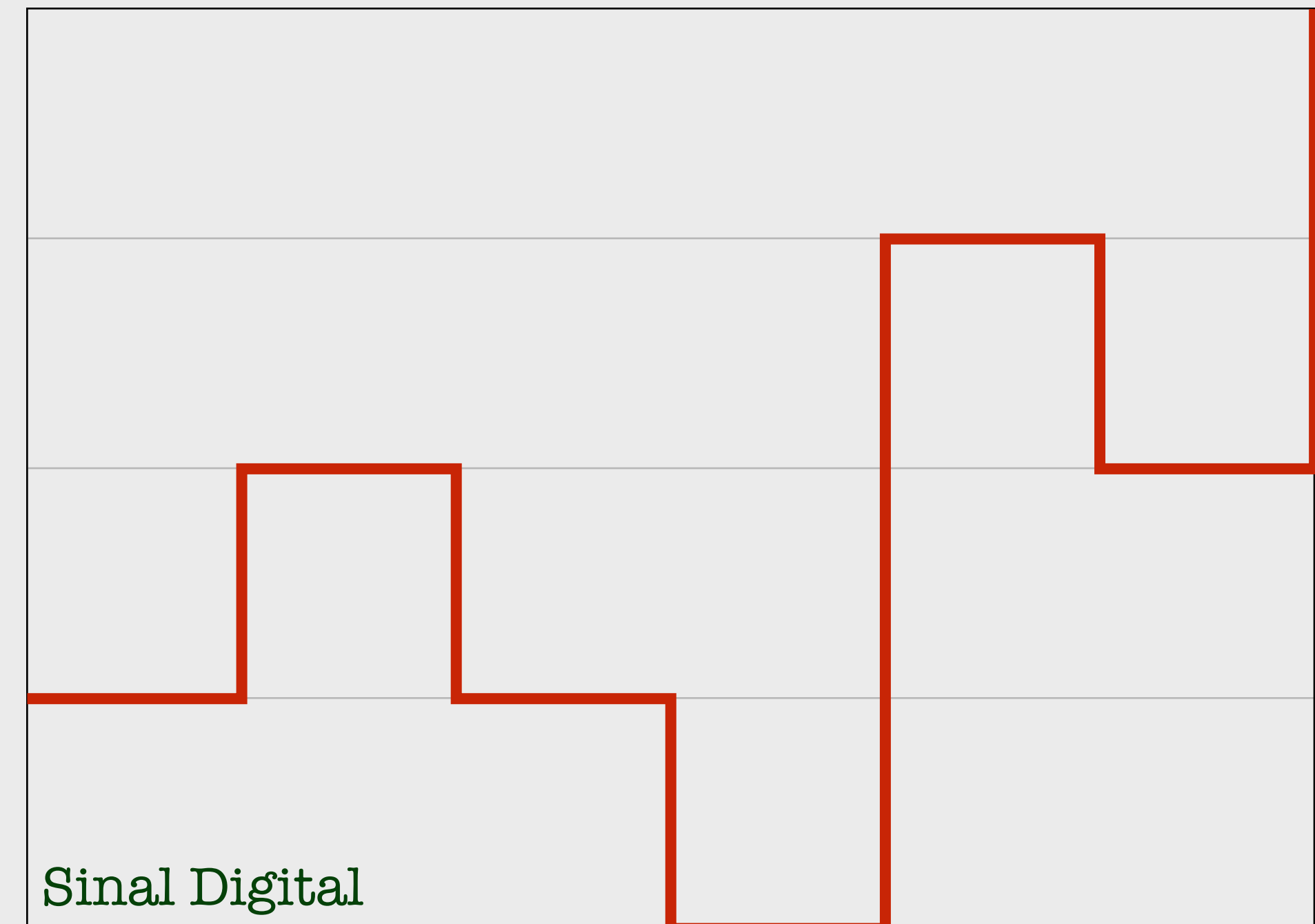
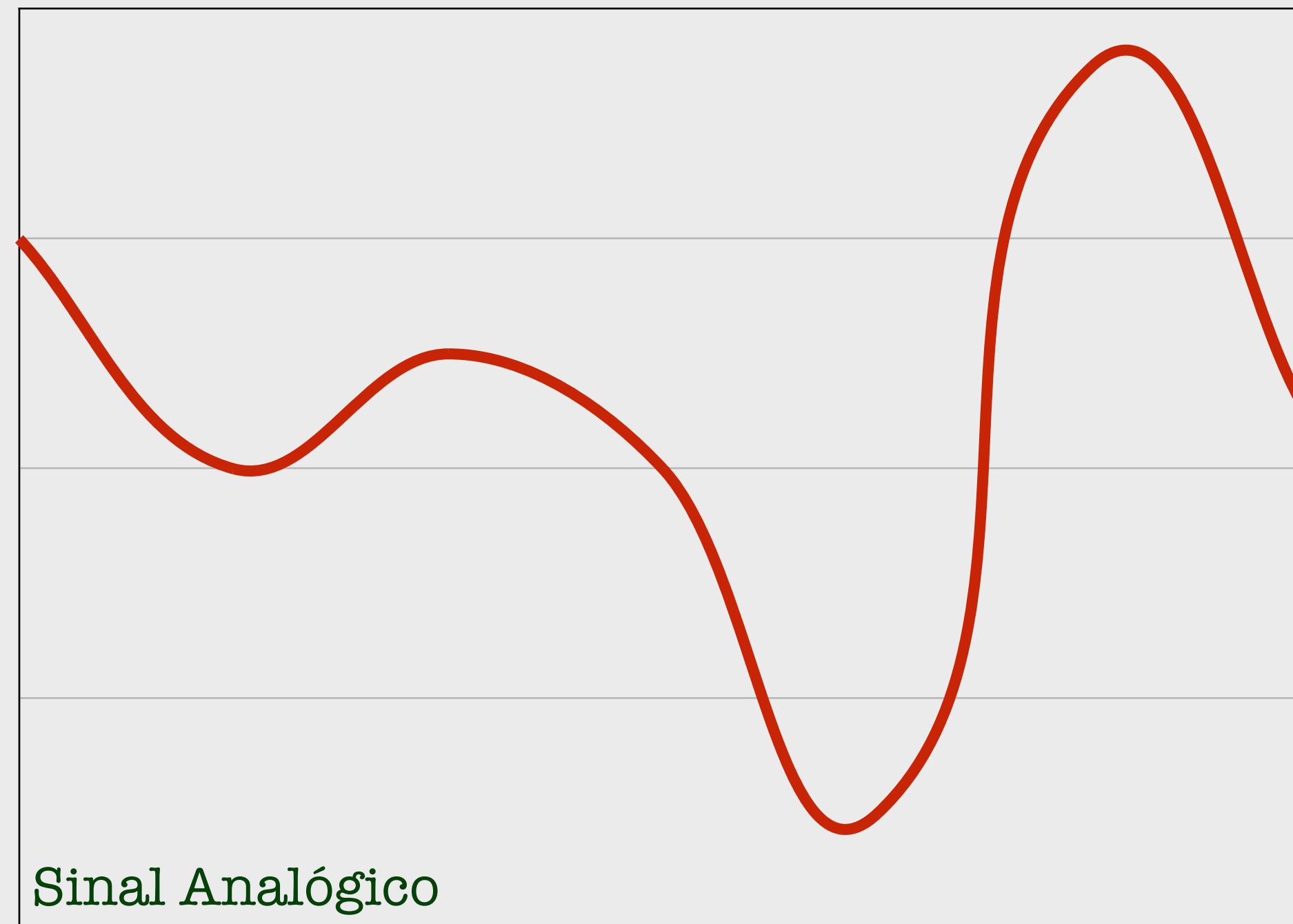
## Não-guiados

- Microondas
- Satélite
- Redes sem Fio



# Mídias de Transmissão

- Em ambos casos, as informações são enviadas através de sinais eletromagnéticos analógicos ou digitais



# Critérios de Análise

- Propriedades físicas
- Tecnologias de transmissão
- Largura de banda
- Topologia
- Segurança
- Imunidade a ruídos
- Considerações de instalação
- Custo final

# Algumas Considerações

- Os meios diferem em relação as suas capacidades de transmissão e cobertura geográfica, em função de fatores como resistência, imunidade a ruído, custo, disponibilidade de componentes e confiabilidade

# Algumas Considerações

- Para mídias guiadas, a capacidade de transmissão, em termos de taxa de dados e capacidade do canal, depende, fundamentalmente, da distância envolvida
- Nas mídias não guiadas, a capacidade é muito dependente das antenas e da frequência dos sinais envolvidos na transmissão

# Tipos de Mídia

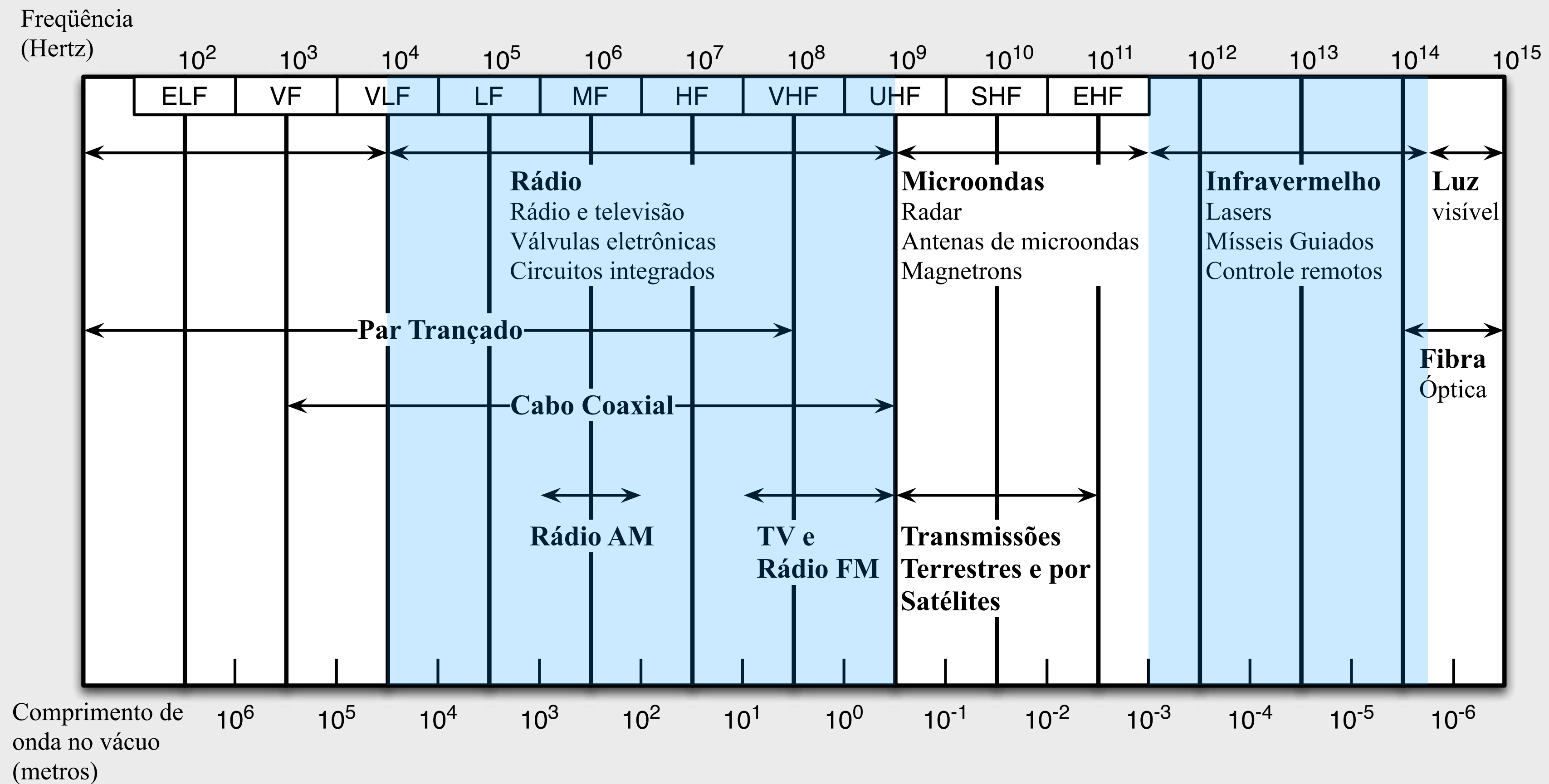
- Qualquer meio físico capaz de transportar sinais eletromagnéticos é passível de ser usado como meio de transmissão
- Os meios mais utilizados atualmente são o par trançado e a fibra ótica, cabo coaxial está em desuso



# Tipos de Mídia

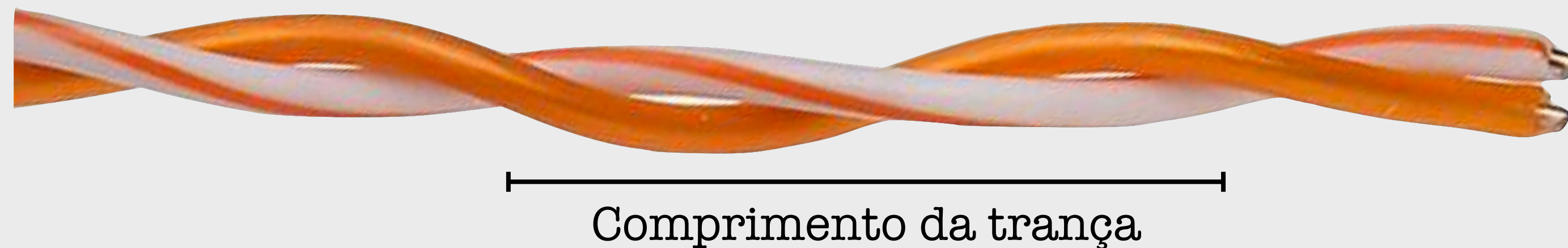
- Sob circunstâncias especiais, a radiodifusão, o infravermelho, os enlaces de satélite e de microondas também são escolhas possíveis
- Muitas vezes, não existe escolha, pois ao se utilizar linhas fornecidas pelas operadoras locais o sinal pode ter que passar por diferentes meios

# Espectro Eletromagnético



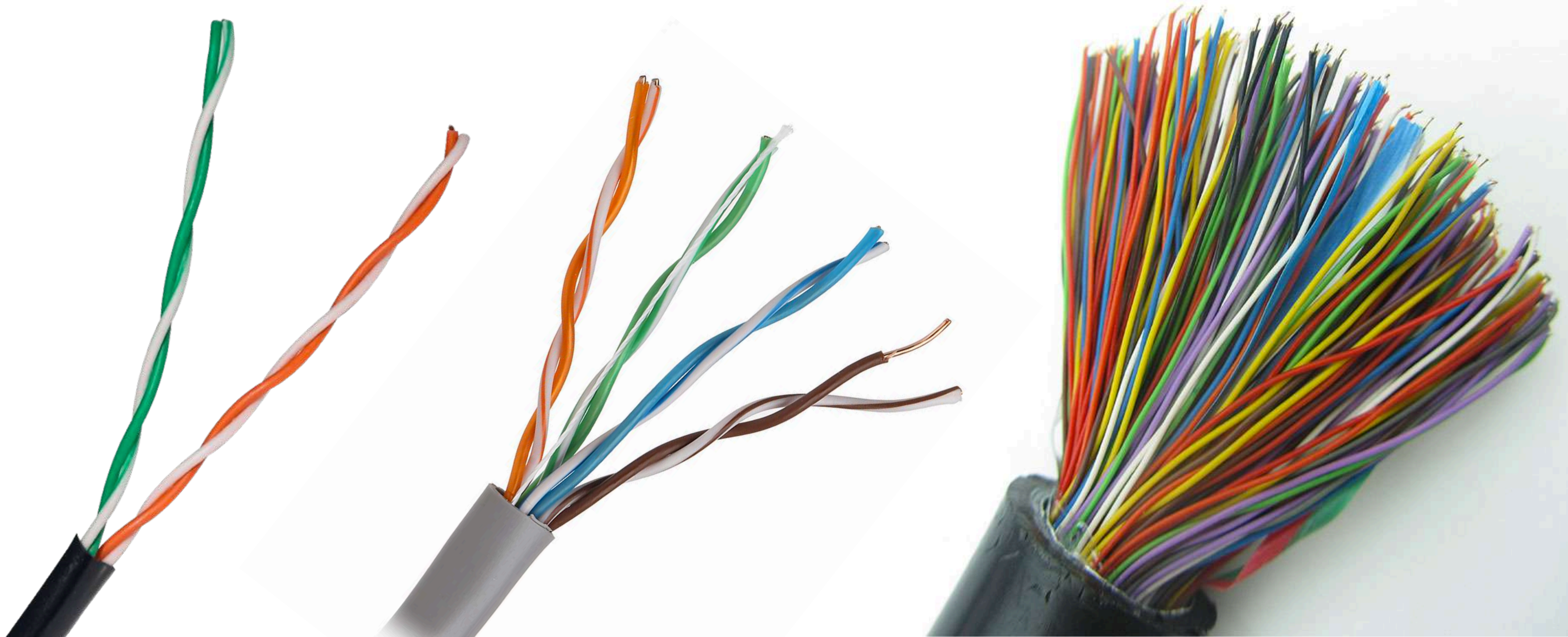
# Par Trançado

- Mídia de transmissão mais usada atualmente
- Par de fios, isolados separadamente, enrolados (**twisted**) juntos, empacotados em cabos
- Usualmente instalados nos edifícios durante a construção





# Par Trançado

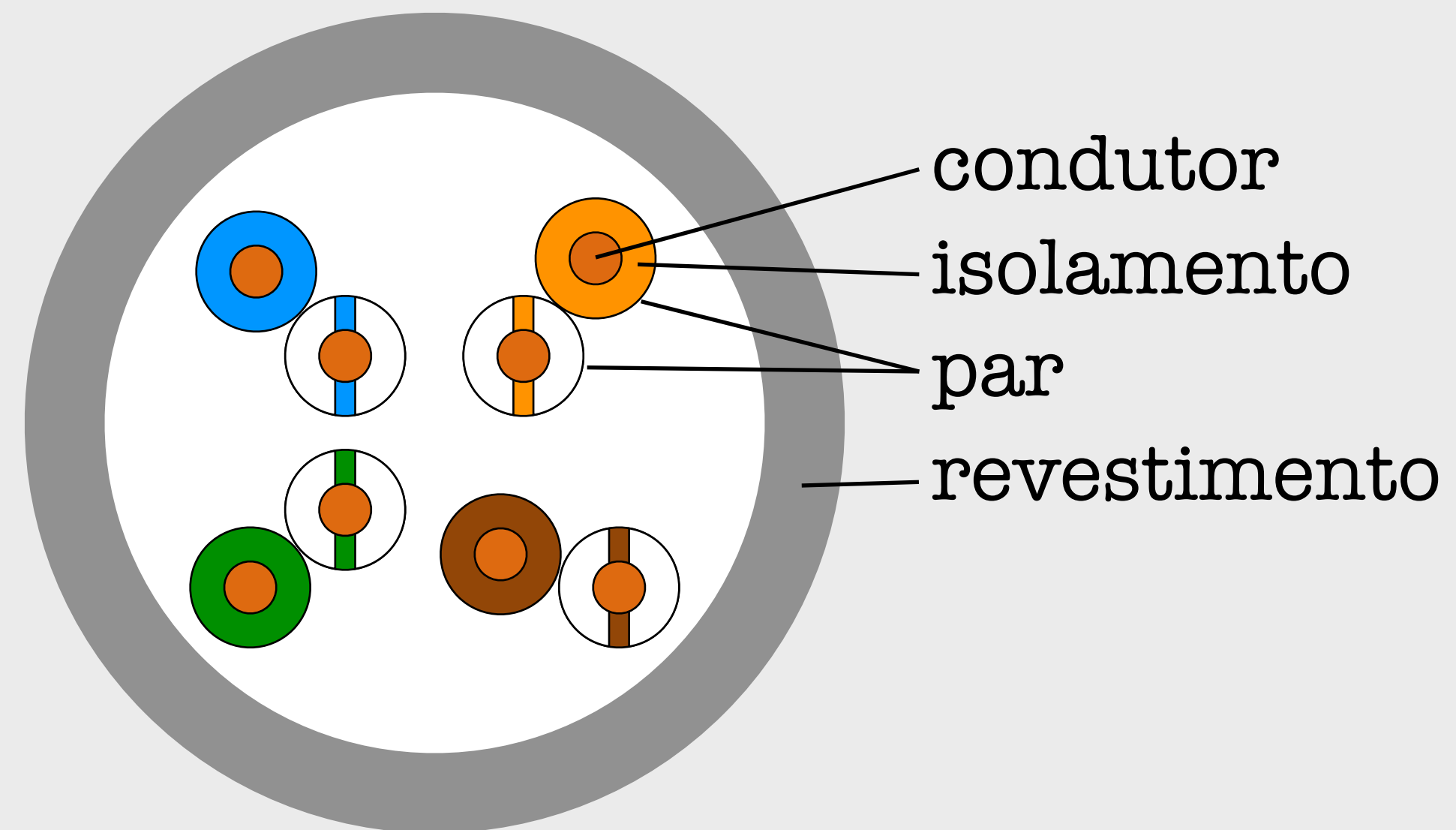




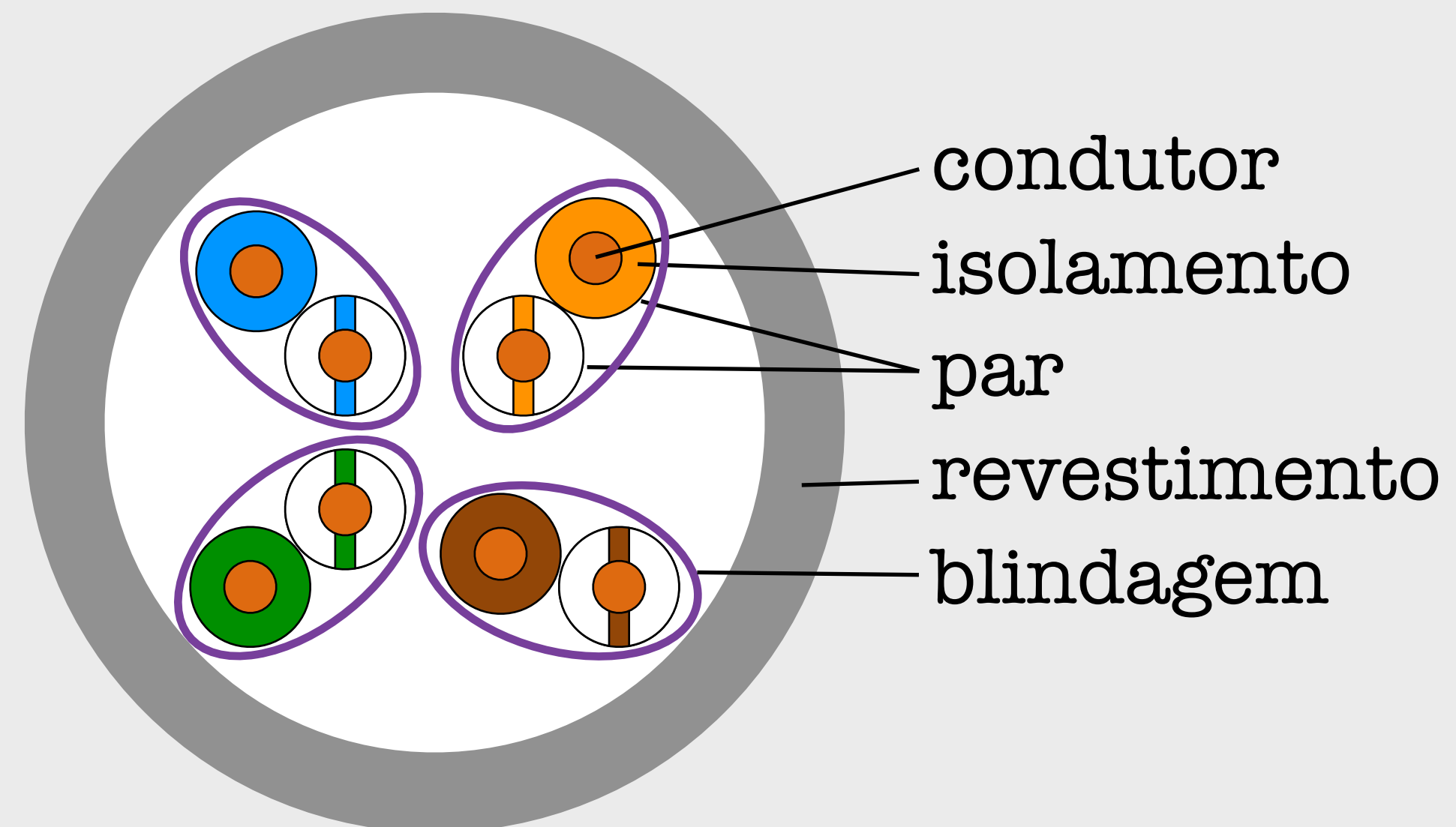
# Tipos de Cabos

- UTP (**Unshielded Twisted Pair**): não blindado, maioria das redes locais
- STP (**Shielded Twisted Pair**): blindado, redes específicas, principalmente em ambiente industrial
- S-UTP (**Shielded Cable - Unshielded Twisted Pair**)
- S-STP (**Shielded Cable - Shielded Twisted Pair**)

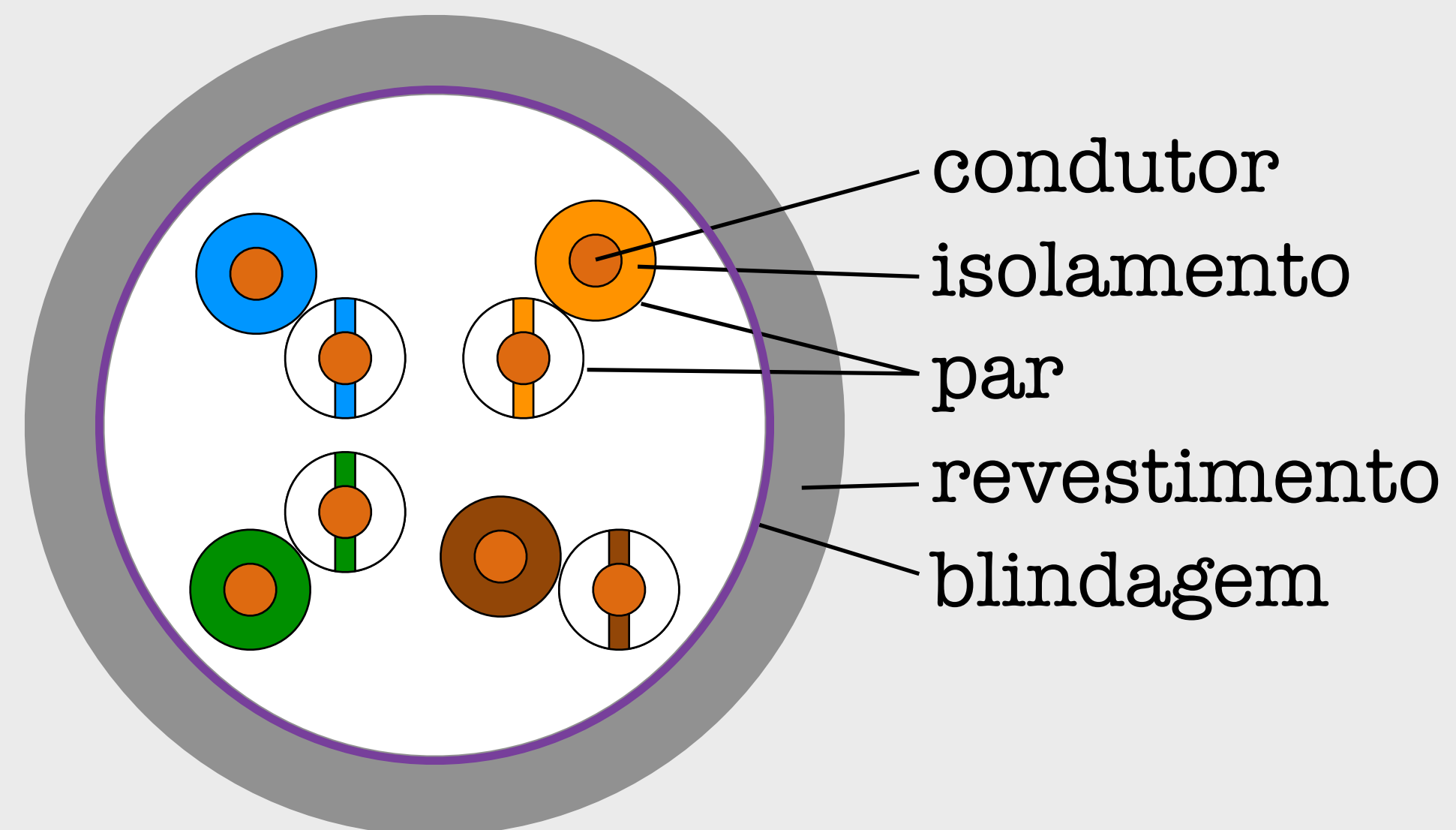
# UTP



# STP

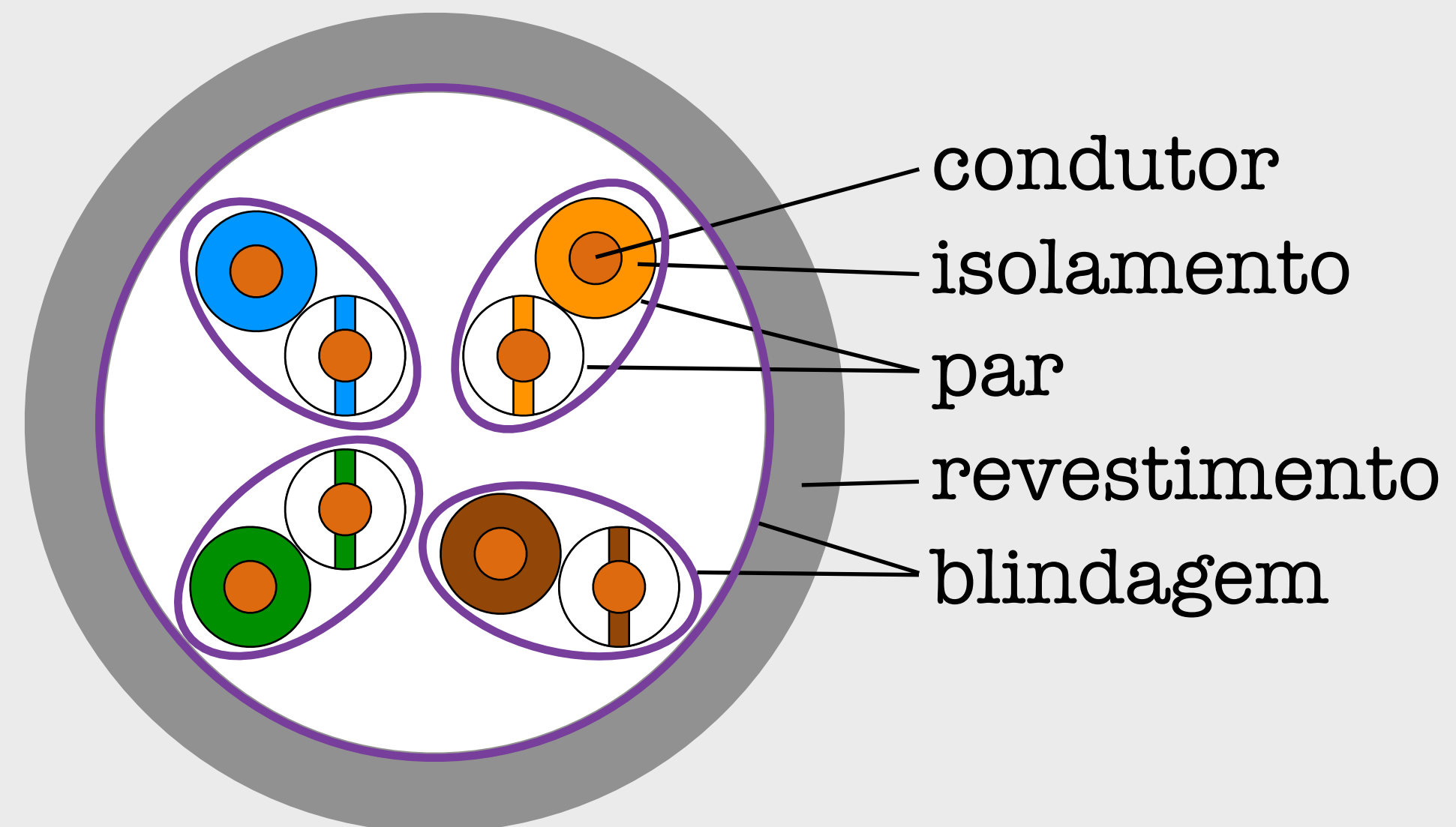


# S-UTP





# S-STP



# Características de Transmissão

- Regeneração do sinal
  - transmissão analógica: a cada 5 ou 6Km
  - transmissão digital: a cada 2 ou 3Km

# Características de Transmissão

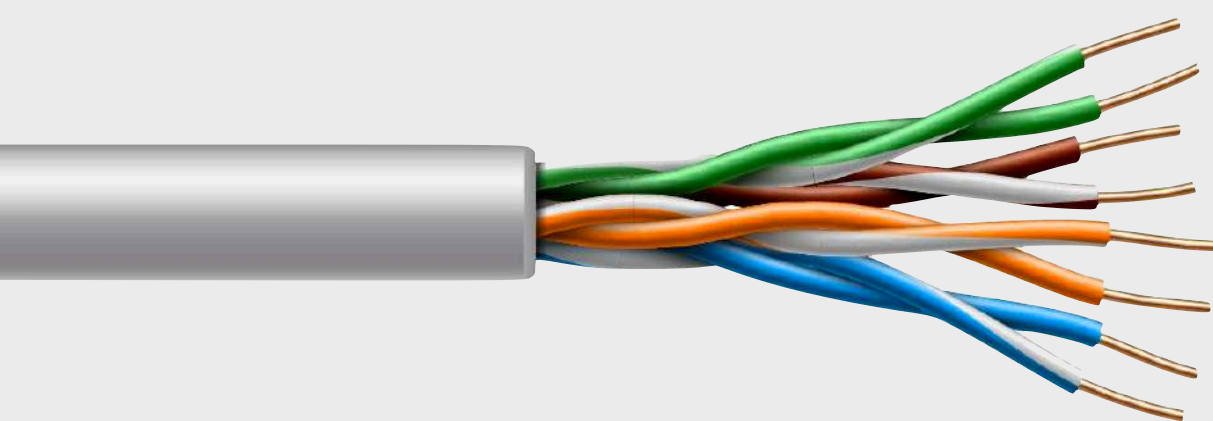
- Problemas de transmissão
  - Atenuação (aumenta com a frequência)
  - Interferência eletromagnética (ruídos)
  - Trançamento reduz interferências

# Características de Transmissão

- Taxas de transmissão típicas
  - Longa distância: poucos Mbps
  - Curtas distâncias (redes locais): 10 Mbps a 1 Gbps, dependendo da distância, técnica de transmissão e qualidade do cabo
  - Largura de banda da ordem de 108 Hz

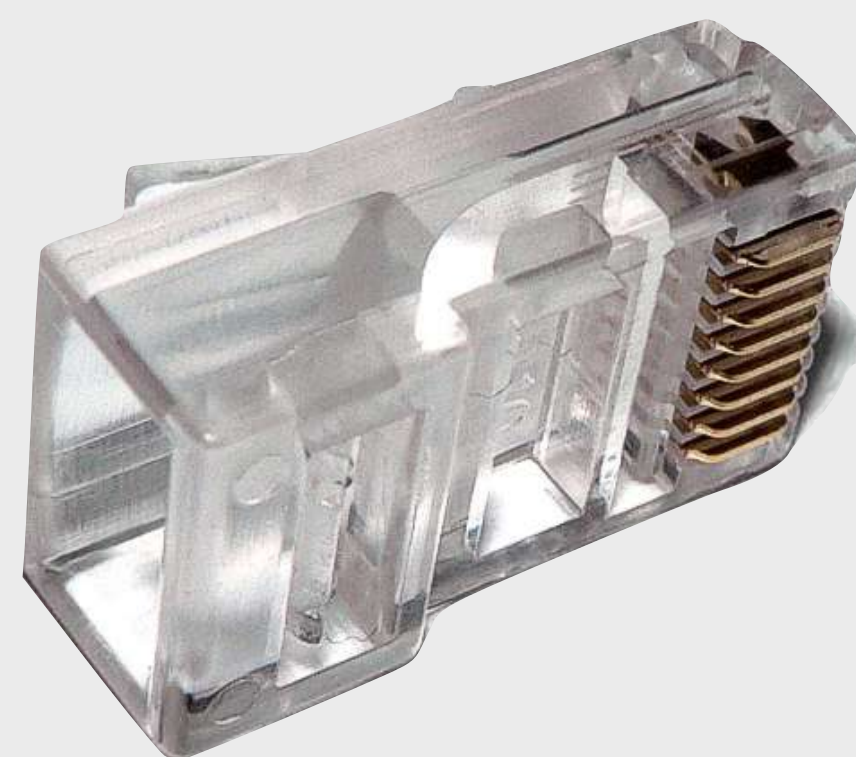


# Características Físicas

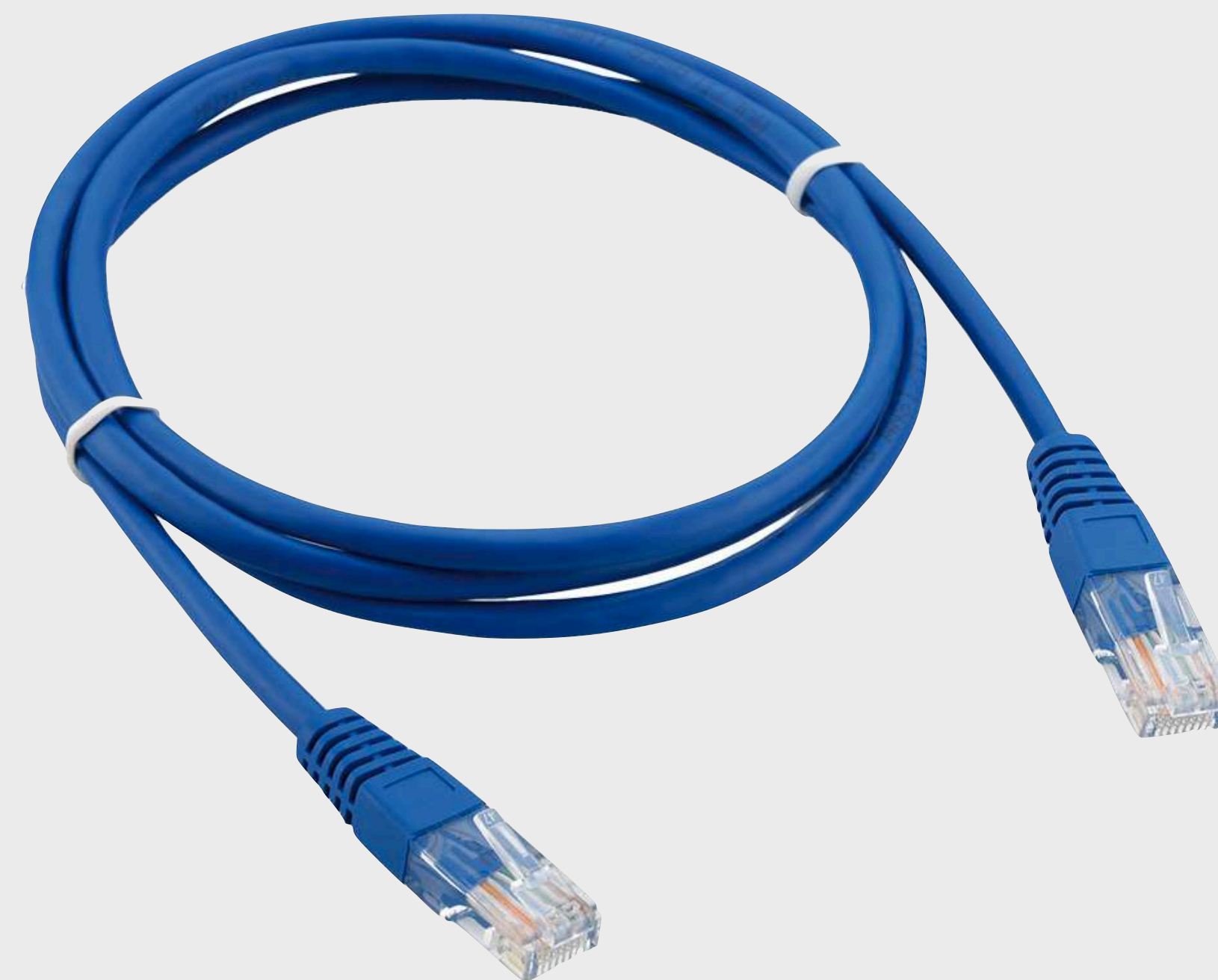


Cabo  
UTP

Conector  
RJ-45



Cabo montado



# Método de Transmissão

- Originalmente projetado para o tráfego telefônico analógico
- Suporta tanto transmissão analógica como digital
- Transmissão digital geralmente usa PCM em aplicações de integração de voz e dados

# Cobertura de Transmissão

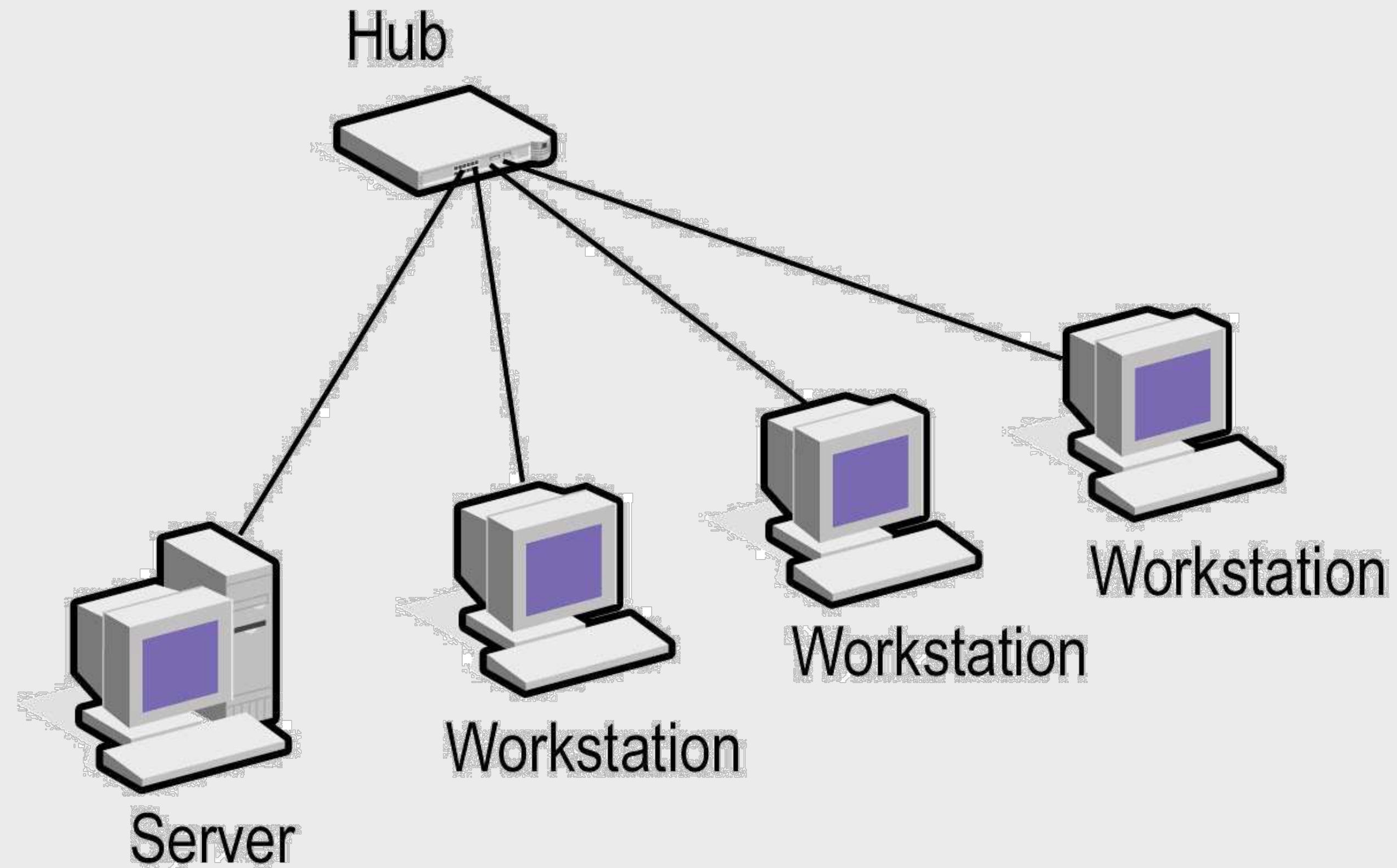
- Instalações de par trançado são freqüentemente limitadas a 100 metros por segmento de cabo
- Para compensar a atenuação, repetidores são usados para estender a distância e atingir os requisitos de cobertura da aplicação
- Quanto maior a taxa de bits, menor a distância que pode ser alcançada

# Topologia

- São usados em configurações ponto-a-ponto
- Podem ser usados em configurações que simulam comunicação multiponto, técnica é conhecida como **daisy-chaining**



# Rede com Par Trançado



# Imunidade ao Ruído

- Meio que provê a menor imunidade a ruídos: emite e absorve ruídos
- Sensível a EMI (Interferência EletroMagnética) como a RFI (Interferência de Rádio Frequência)
- Efeitos são minimizados com uma blindagem adequada
- Maior imunidade é atingida quando o tamanho da trança é menor que o comprimento de onda efetivo do sinal

# Segurança

- É a menos segura das mídias de transmissão mais comuns
- É fácil conectá-lo a um **hub**, onde os sinais estão sendo difundidos (**broadcasting**)
- O uso de criptografia pode adicionar um nível a mais de segurança numa rede de par trançado

# Ambiente de Uso

- As redes mais comuns que utilizam o par trançado são:
  - PABX (**Private Automatic Branch Exchange**)
  - Utilizados em telefonia
  - LANs baseadas em **hubs** e **switches** (padrão 10BaseT, 100BaseT)

# Custo

- O par trançado é o meio de transmissão de menor custo por comprimento
- A ligação de nós ao cabo é também extremamente simples, e portanto de baixo custo

# Categorias de UTP

- A norma EIA 568-A reconhece apenas as categorias de 3 a 6:
- UTP Categoria 3: tipicamente utilizados para voz
- UTP Categoria 6: trançamento mais denso, isolamento de teflon, menor interferência e melhor qualidade do sinal, tipicamente utilizados em redes locais



# Categorias de UTP

Categoria	Taxa	Frequência
1	Telefone e Modems	0,4 MHz
2	Terminais	4 MHz
3	10 Mbps	16 MHz
4	16 Mbps	20 MHz
5	100 Mbps	100 MHz
6	1 Gbps	500 MHz
7	10 Gbps	600 MHz

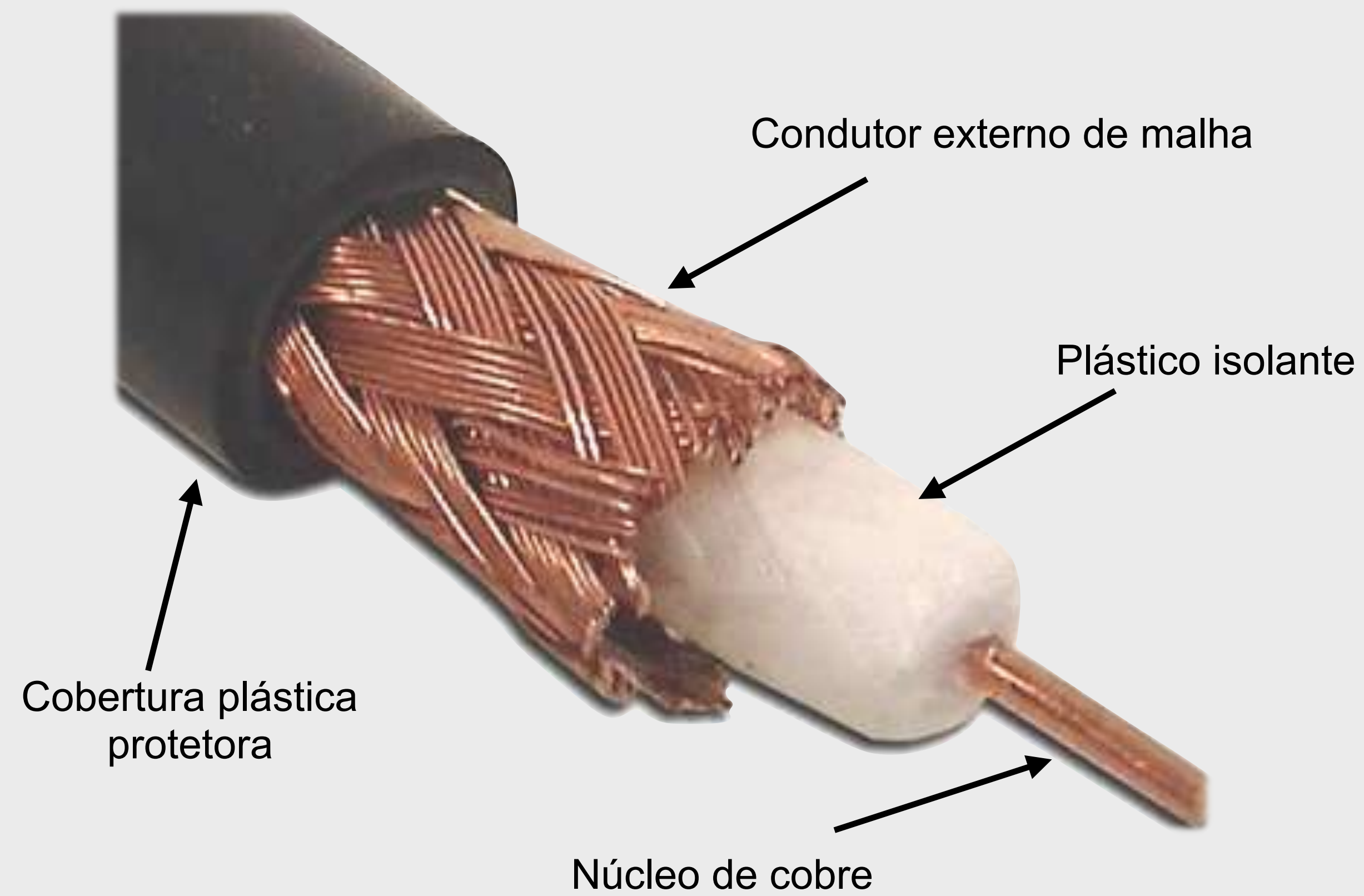
# Categorias de UTP

- A principal diferença das categorias 3 e 4 para a 5 é que na categoria 5 os cabos possuem mais voltas por unidade de comprimento
- O cabeamento categoria 5 é o mais popular, um dos motivos para isso é que a categoria 5 é, teoricamente, certificada para redes que trabalham a 100 Mbps (obs: nem todos os cabos categoria 5 são certificados)

# Par Trançado – Resumo

- Meio de transmissão de baixo custo
- É a mídia de escolha corrente
- Apresenta pequena cobertura de transmissão
- Provê pequena imunidade a ruídos
- Apresenta baixa segurança

# Cabo Coaxial



# Cabo Coaxial

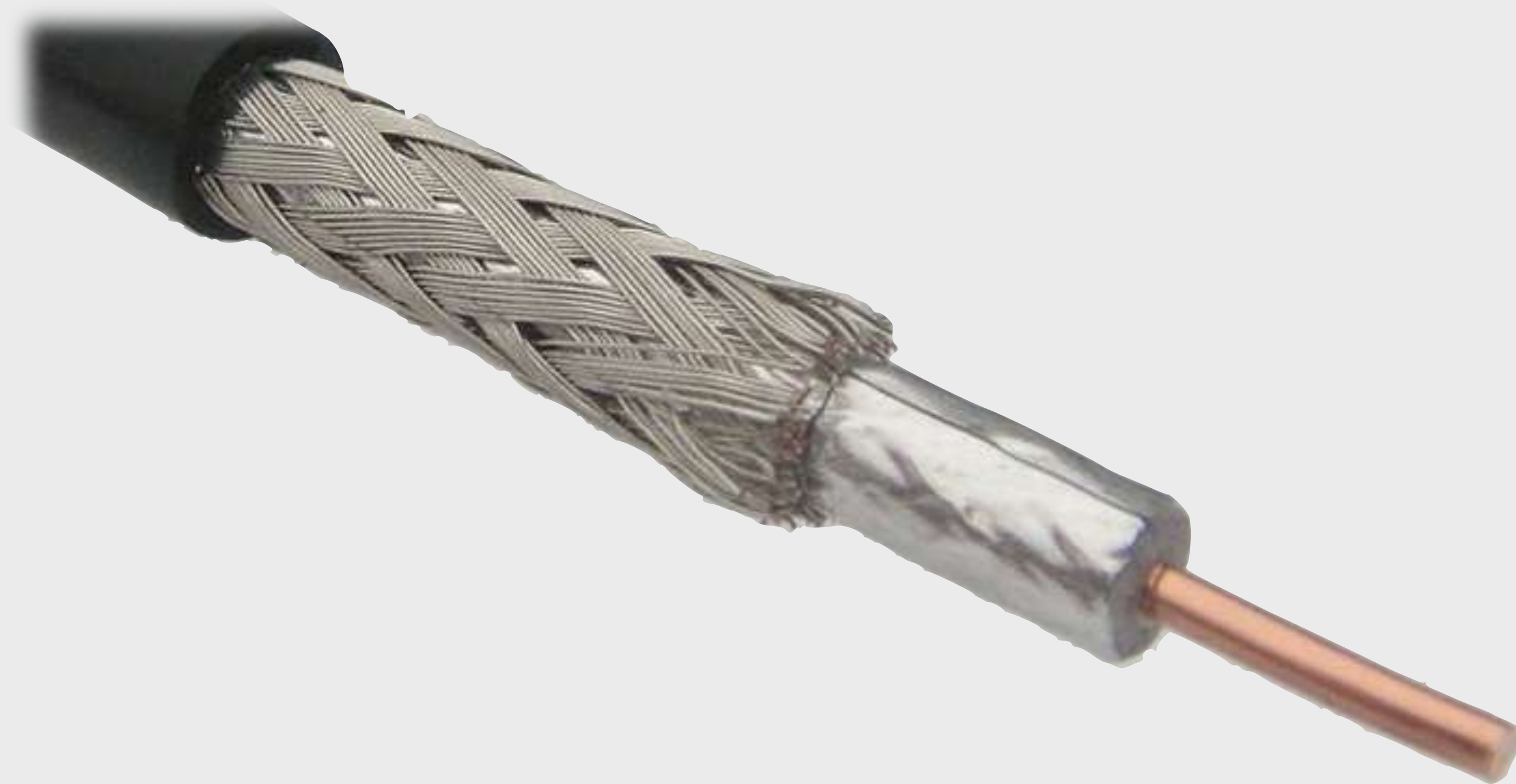
- Meio de transmissão dominante nas LANs do passado
- Composto de dois condutores: O interno é sólido e o externo serve como blindagem, sendo usualmente aterrado, com um isolante plástico entre eles
- Uma jaqueta plástica protetora circunda o cabo

# Cabo Coaxial

- Existem basicamente dois tipos:
  - Coaxial grosso (**thick**) tamanho máximo é de 500 metros
  - Coaxial fino (**thin**) tamanho máximo de um segmento é de 200 metros
- As desvantagens do coaxial grosso estão na interface da placa de rede, pois o conector bem é mais caro e no fato de ser muito mais difícil de ser manuseado



# Cabo Fino (Thin)



# Cabo Grosso (Thick)



# Cabo Coaxial

- O conector é encaixado em outro conector do tipo T que, por sua vez, é ligado à estação
- Todo cabo coaxial deve ter em cada uma das suas pontas um terminador de rede, para evitar reflexão do sinal
- Um conector I é usado para emendar dois segmentos de cabo coaxial

# Categorias

- Existem duas categorias de cabos coaxiais, existindo pequenas diferenças físicas entre eles:
  - aqueles usados para transmissão **baseband**
  - aqueles usados para transmissão **broadband**

# Problemas do Cabo Coaxial

- Mal contato nos conectores é muito freqüente de acontecer
- Se um usuário “abrir o barramento”, ou seja, retirar o conector do T, paraliza toda a rede no mesmo instante

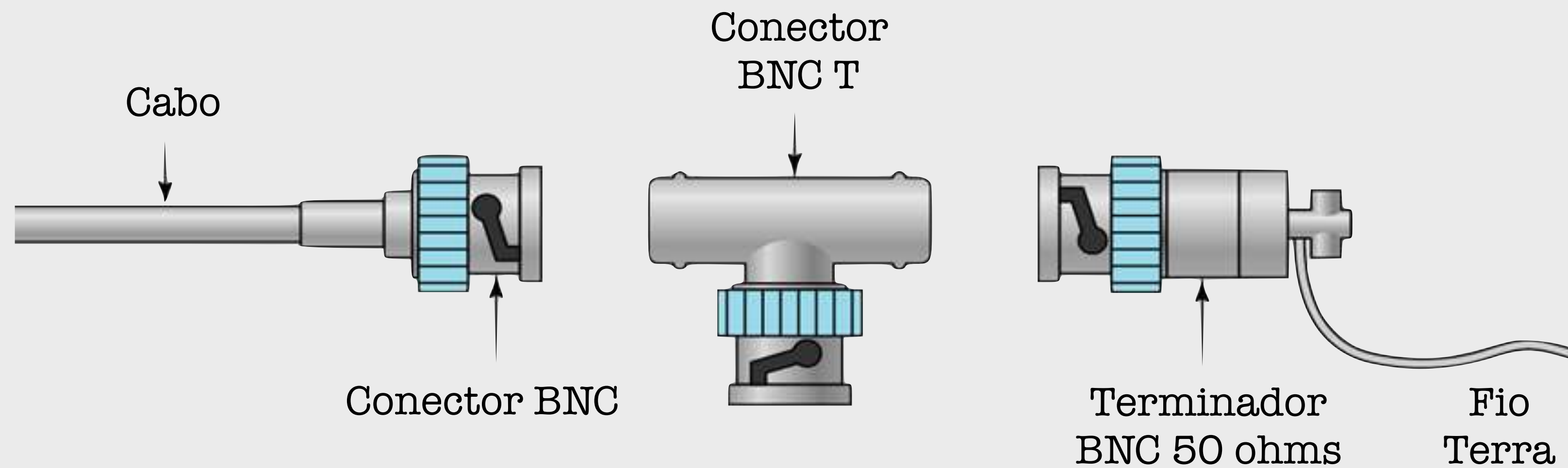


# Conectores BNC (Thin)

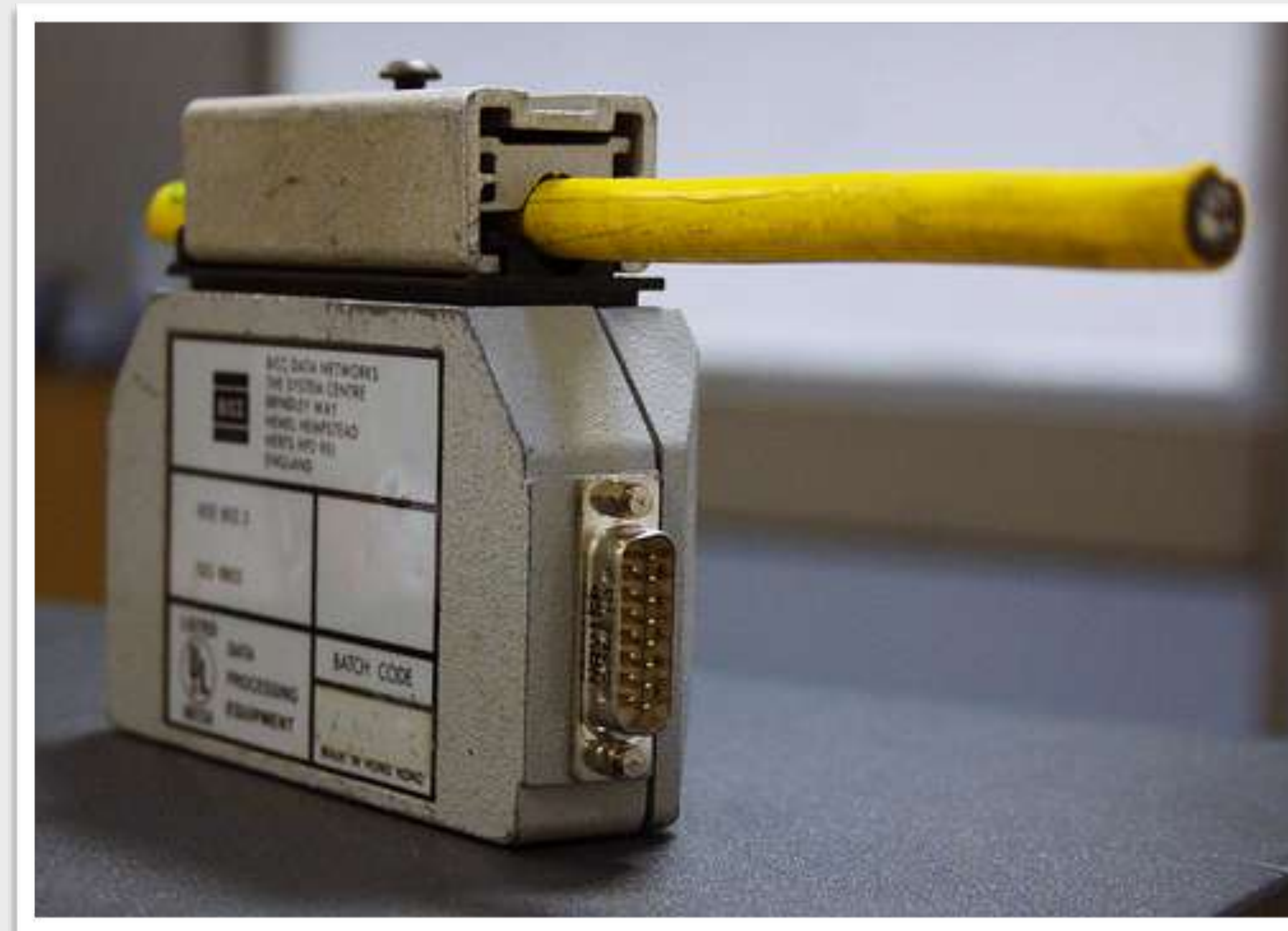




# Conexão BNC



# Conexão Thick



# Conexão Thick

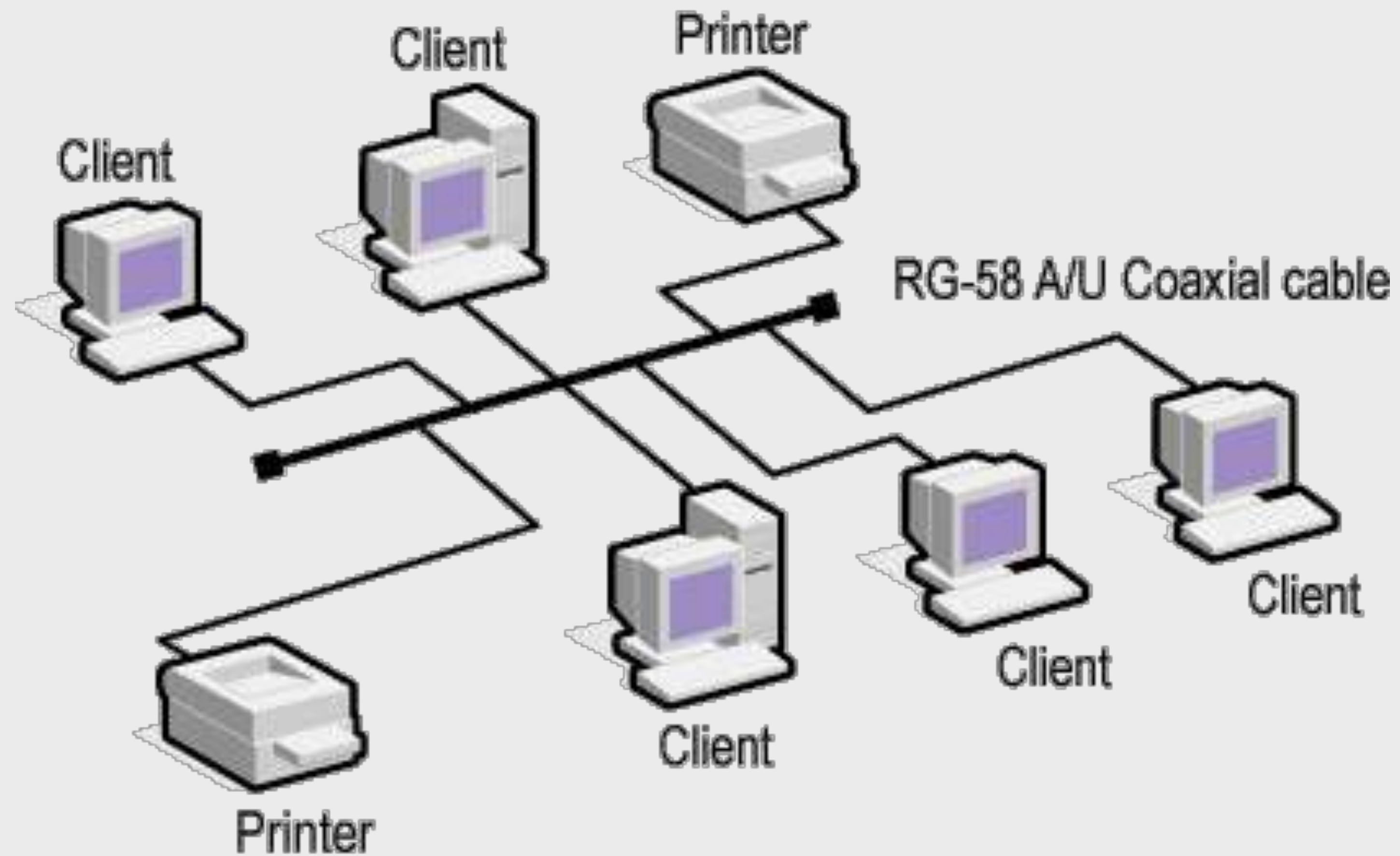




# Conexão Thick



# Rede com Cabo Coaxial





# Cobertura de Transmissão

- O padrão de LAN IEEE 802.3/Ethernet) especifica uma distância máxima de 1,8 km para cabos coaxiais **broadband**
- Sistemas **baseband** podem cobrir distâncias de tipicamente 1 a 3 km, o padrão IEEE 802.3 limita em 2,8 km a distância entre quaisquer dois dispositivos comunicantes

# Cobertura de Transmissão

- A razão primária para esses limites não é a construção física do cabo mas sim considerações de tempo do protocolo de acesso ao meio

# Largura de Banda

- Difere significativamente entre sistemas **baseband** e **broadband**
- Muitas implementações **baseband** operam na faixa de 10 Mbps, outras operam a taxas mais altas, como **Token Ring** a 16 Mbps
- Novas instalações Ethernet operam a taxas ainda maiores, 100 Mbps e 1 Gbps

# Largura de Banda

- Sistemas **broadband**, por sua vez, oferecem maiores capacidades porque existem múltiplos canais em cada cabo
- Cada canal pode operar nas faixas que vão desde 10 Mbps a 1 Gbps

# Topologia

- O cabo coaxial é usado tanto em modo ponto-a-ponto como **broadcast**
- Dependendo da aplicação, um sistema **broadband** pode suportar milhares de conexões
- Sistemas **baseband** podem suportar até 100 dispositivos em um único segmento de cabo em algumas implementações



# Imunidade a Ruídos

- O cabo coaxial provê excelente imunidade a ruídos comparado aos cabos UTP

# Segurança

- **Tapping** (grampo) ou interceptação de sinal de um ponto remoto é difícil em sistemas baseados em cabo coaxial
- Porém existem conectores chamados vampiros com essa finalidade

# Instalação

- É mais difícil de instalar do que o par trançado
- Isso contribuiu para o crescimento da popularidade dos cabos UTP

# Instalação

- É mais difícil de instalar do que o par trançado
- Isso contribuiu para o crescimento da popularidade dos cabos UTP



# Outras Considerações

- Um cabo coaxial de condutor sólido não deve ser dobrado, curvado ou torcido repetidamente
- Ele é projetado para instalações de cabos horizontais e de **backbone**
- A atenuação, por sua vez, é mais baixa que nos cabos de condutores retorcidos



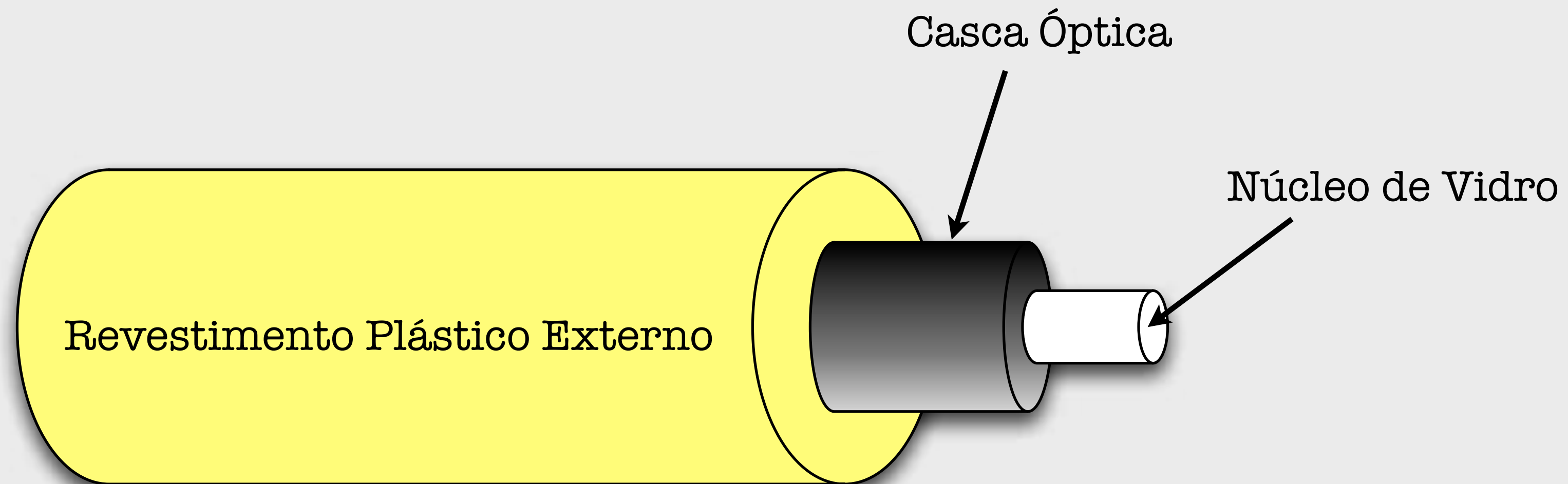
# Outras Considerações

- O cabo de fios retorcidos é muito mais flexível que o cabo de núcleo sólido
- Este cabo deve ser usado em instalações mais curtas como:
  - Entre placas de rede e tomadas de paredes
  - Entre concentradores e **patch panels**, **hubs** e outros equipamentos montados em **rack**

# Cabo Coaxial – Resumo

- Mídia em desuso
- Alta capacidade de largura de banda
- Provê conectividade sem a necessidade de **hubs**
- Melhor imunidade a ruídos
- Mídia mais segura que o UTP
- Mais difícil de instalar do que o par trançado
- Adequado para aplicações **multidrop**

# Fibra Óptica



# Fibra Óptica

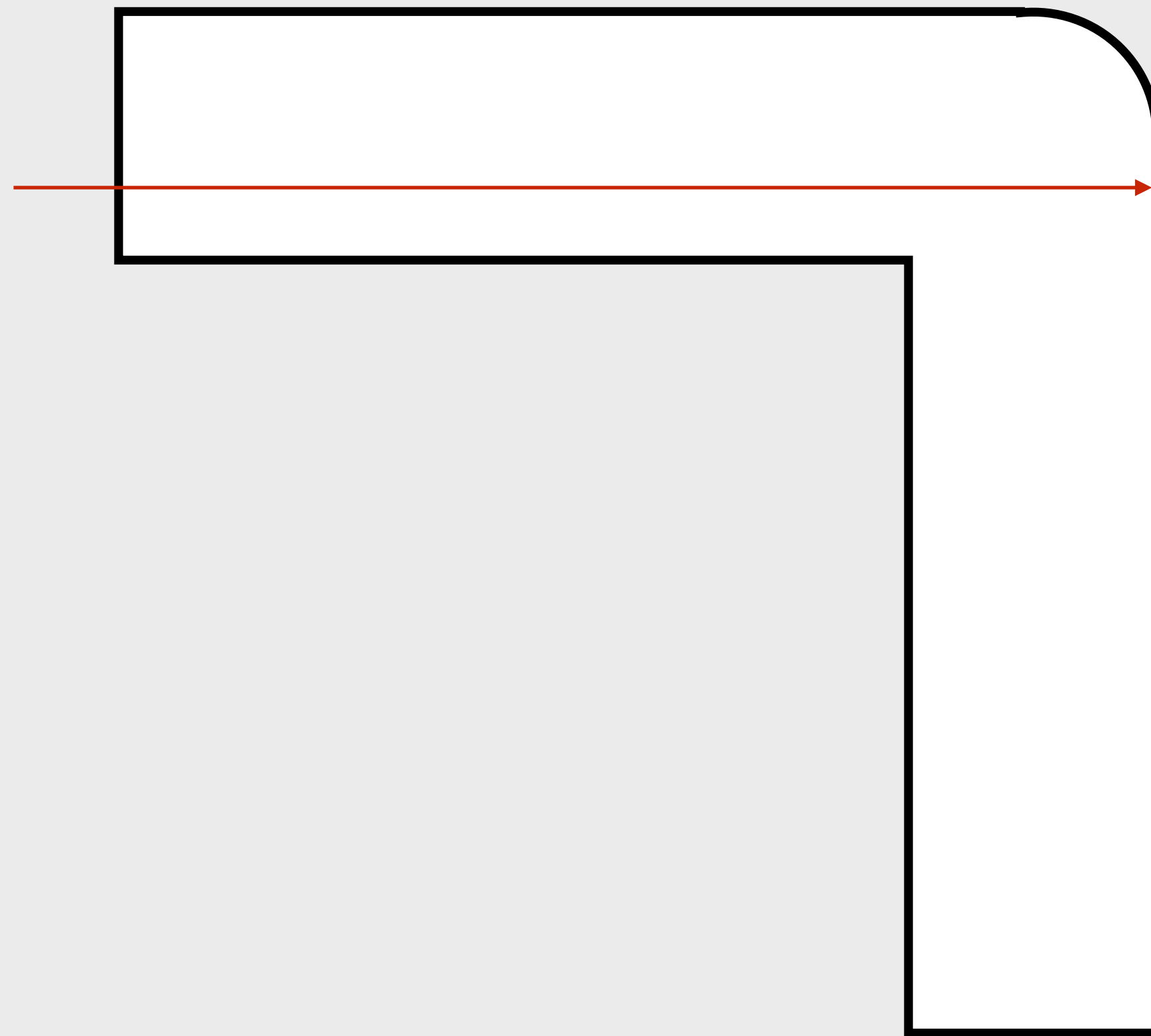
- A transmissão é realizada pelo envio de um sinal de “luz” codificado, através de uma fibra óptica
- A fibra óptica consiste em um filamento de sílica ou plástico, por onde é feita a transmissão da “luz”
- Ao redor do filamento óptico deve existir uma casca para garantir o confinamento da “luz”



# Fibra Óptica







# Fibra Óptica

- Os sinais de luz geralmente ficam dentro do espectro de frequências do infravermelho
- Atualmente já estão sendo usados outros comprimentos de onda
- Existem três tipos de fibras óticas: as multimodo degrau, as multimodo com índice gradual e as monomodo

# Equação da Onda

$$\frac{\partial^2 B}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 B}{\partial y^2}$$

$$\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 E}{\partial y^2}$$

\*Propagando na direção  $y$

# Tipos de Fibra Óptica

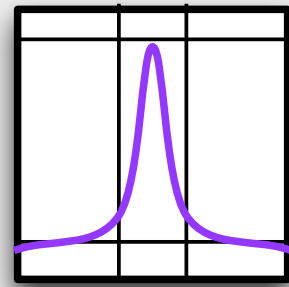
# Tipos de Fibra Óptica



Multimodo Índice Degrau



# Tipos de Fibra Óptica

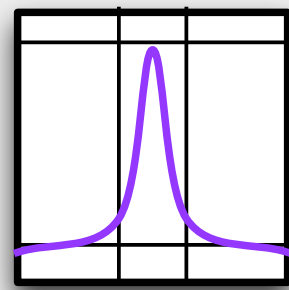


Pulso de  
Entrada

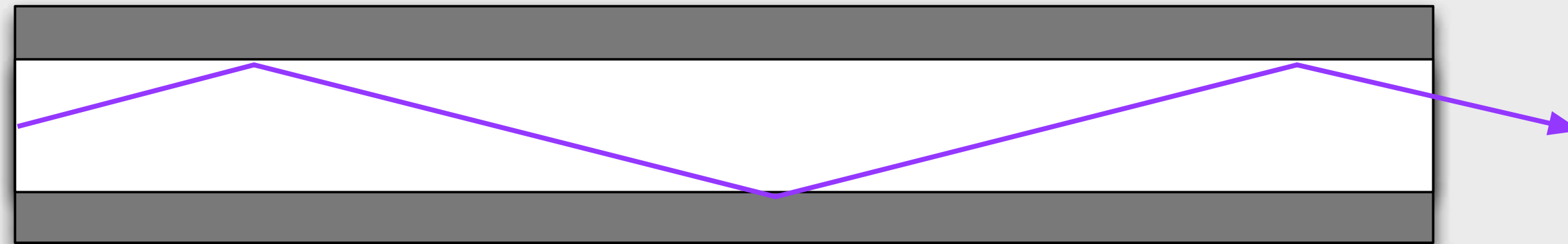


Multimodo Índice Degrau

# Tipos de Fibra Óptica

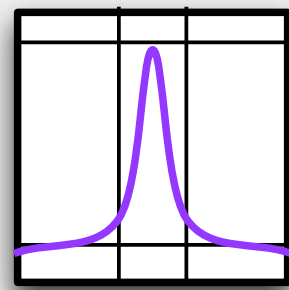


Pulso de  
Entrada

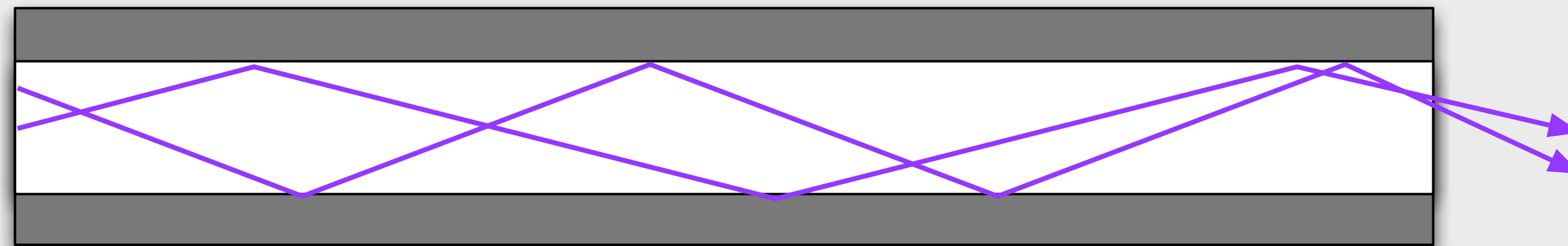


Multimodo Índice Degrau

# Tipos de Fibra Óptica

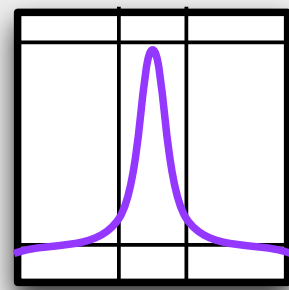


Pulso de  
Entrada

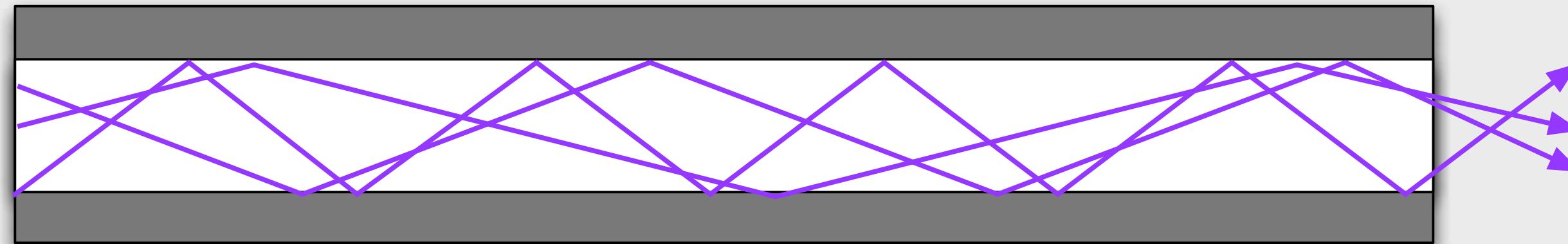


Multimodo Índice Degrau

# Tipos de Fibra Óptica

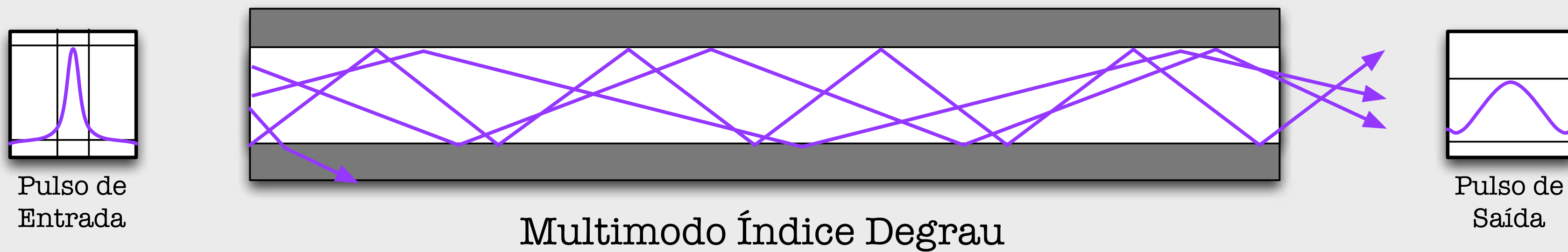


Pulso de  
Entrada



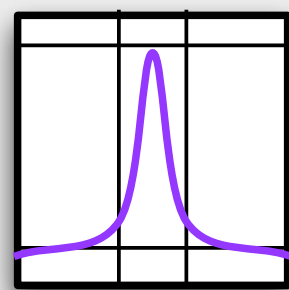
Multimodo Índice Degrau

# Tipos de Fibra Óptica

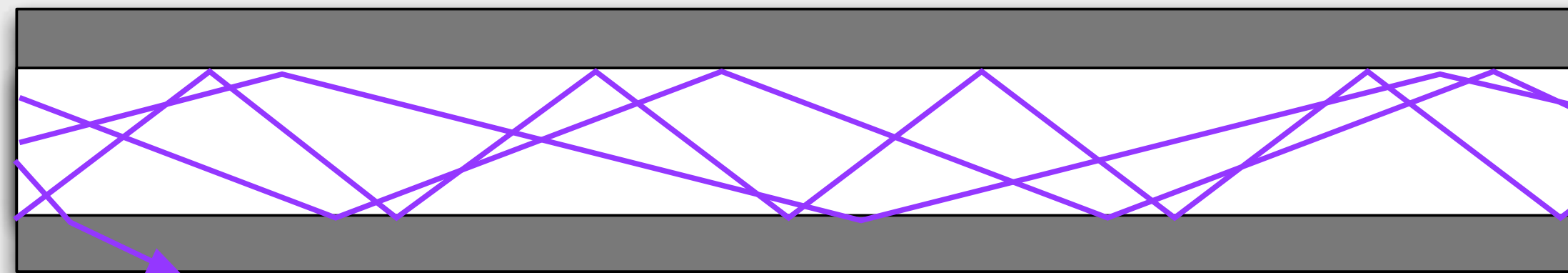




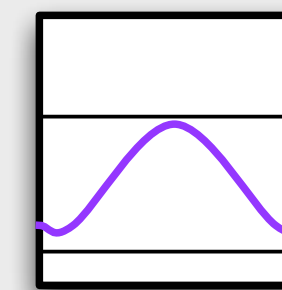
# Tipos de Fibra Óptica



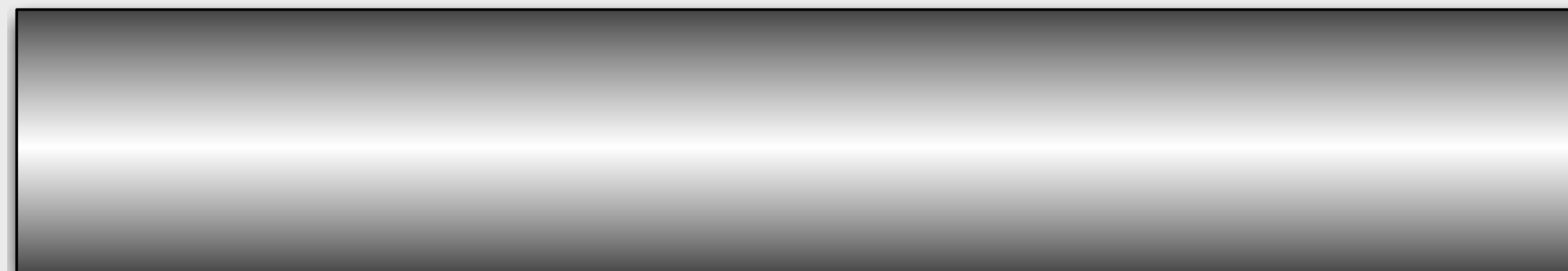
Pulso de  
Entrada



Multimodo Índice Degrau

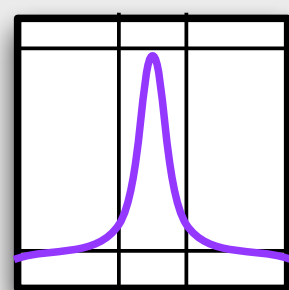


Pulso de  
Saída

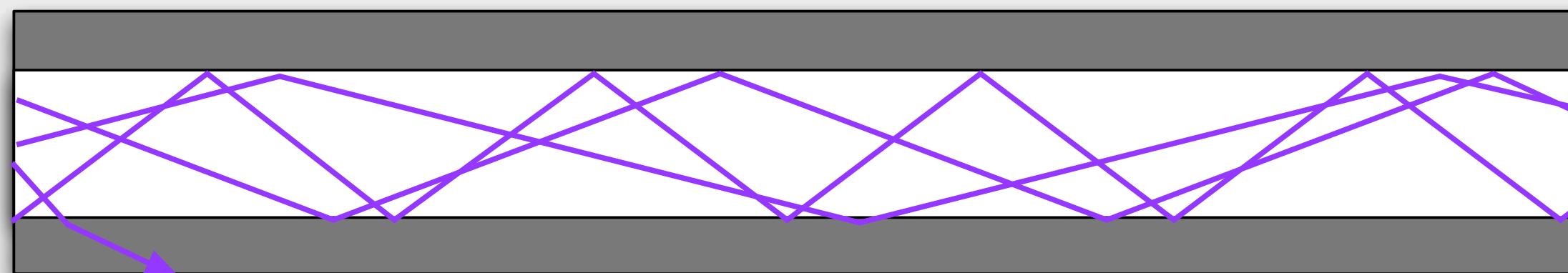


Multimodo Índice Gradual

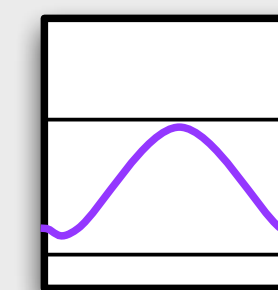
# Tipos de Fibra Óptica



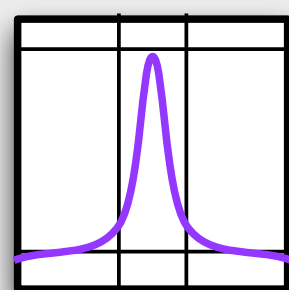
Pulso de  
Entrada



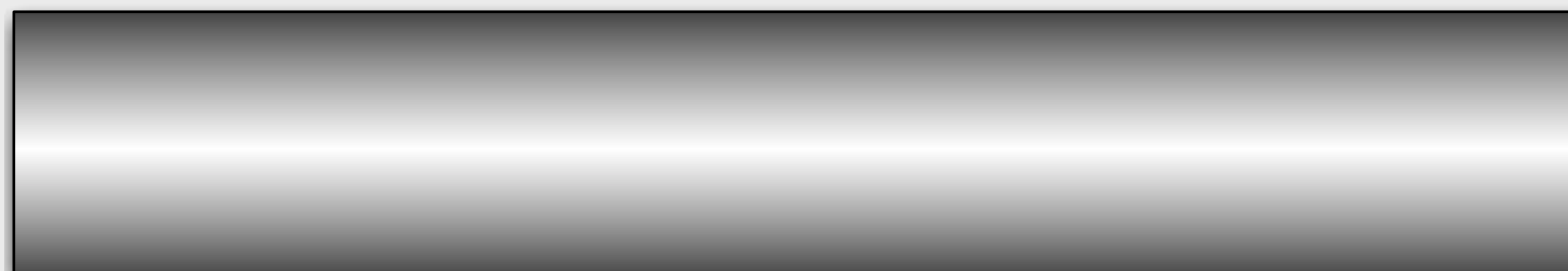
Multimodo Índice Degrau



Pulso de  
Saída

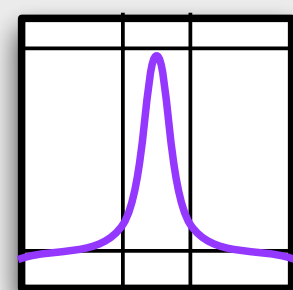


Pulso de  
Entrada

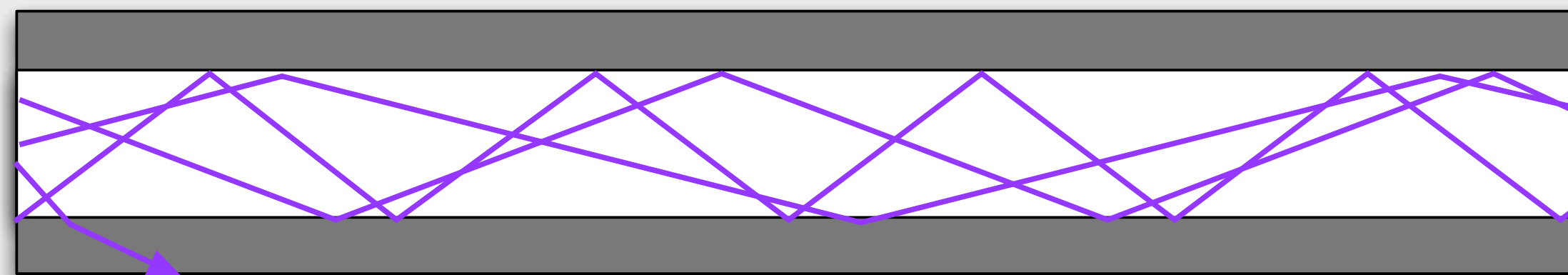


Multimodo Índice Gradual

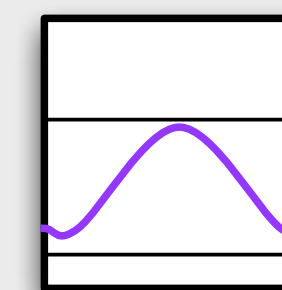
# Tipos de Fibra Óptica



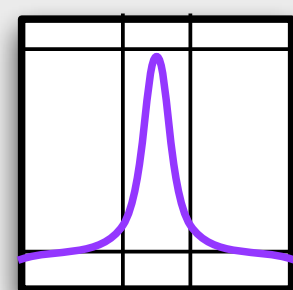
Pulso de  
Entrada



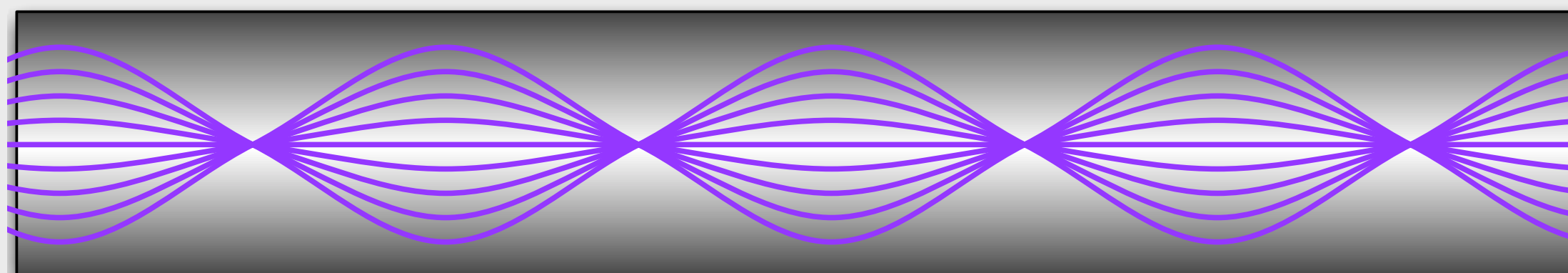
Multimodo Índice Degrau



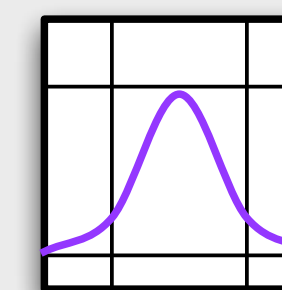
Pulso de  
Saída



Pulso de  
Entrada

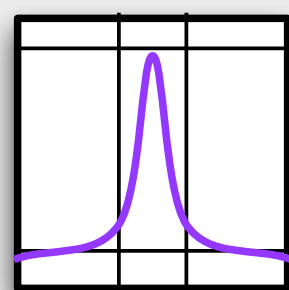


Multimodo Índice Gradual

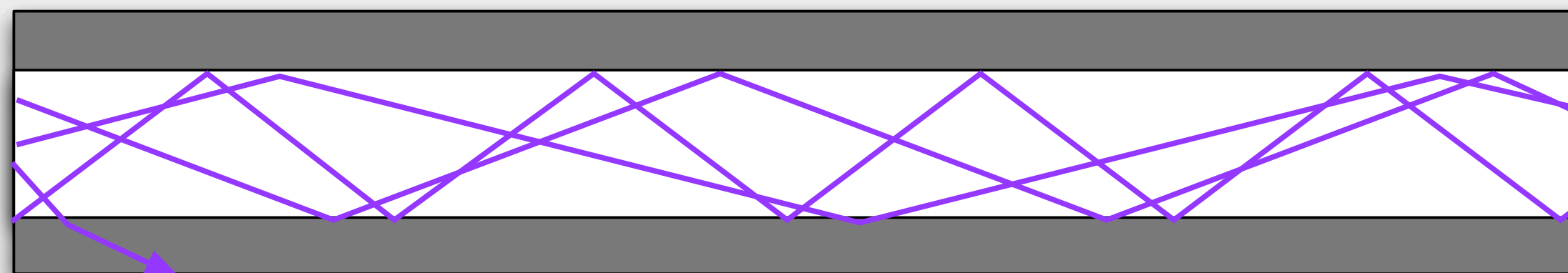


Pulso de  
Saída

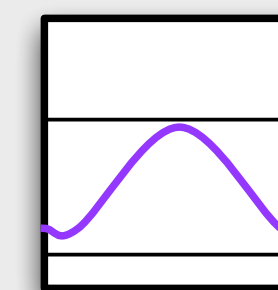
# Tipos de Fibra Óptica



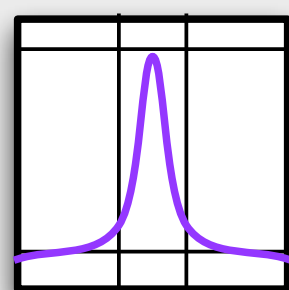
Pulso de  
Entrada



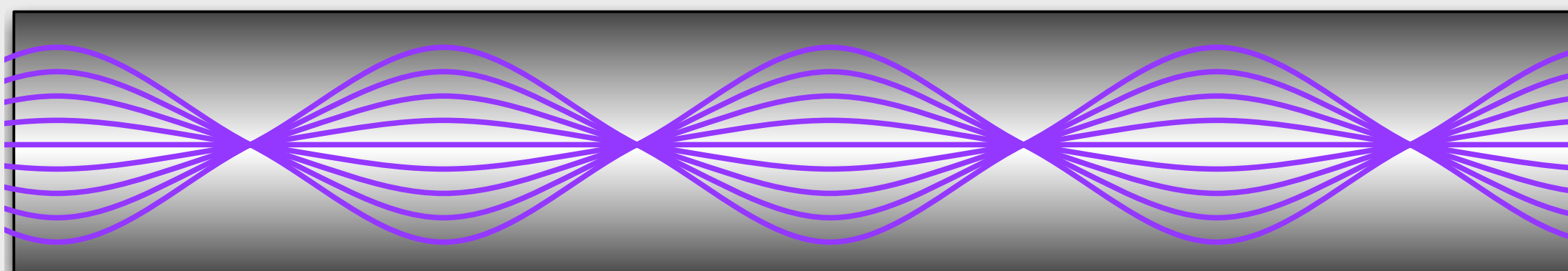
Multimodo Índice Degrau



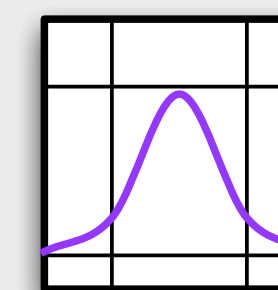
Pulso de  
Saída



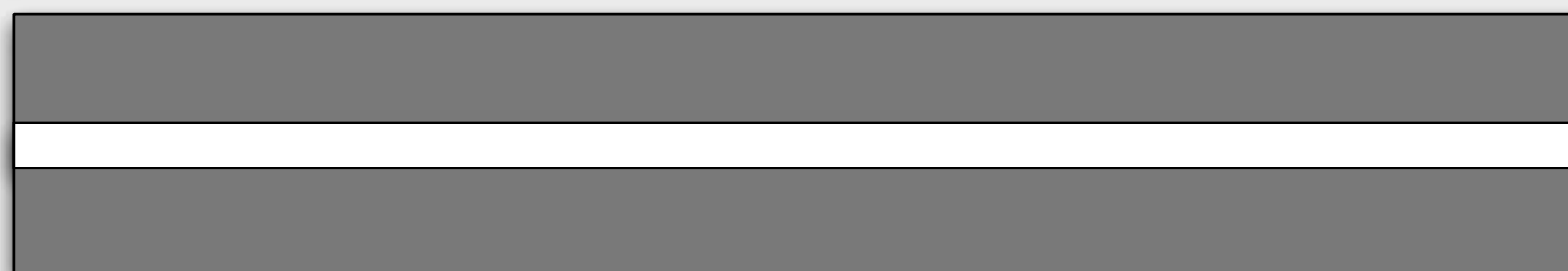
Pulso de  
Entrada



Multimodo Índice Gradual

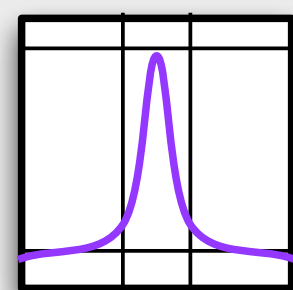


Pulso de  
Saída

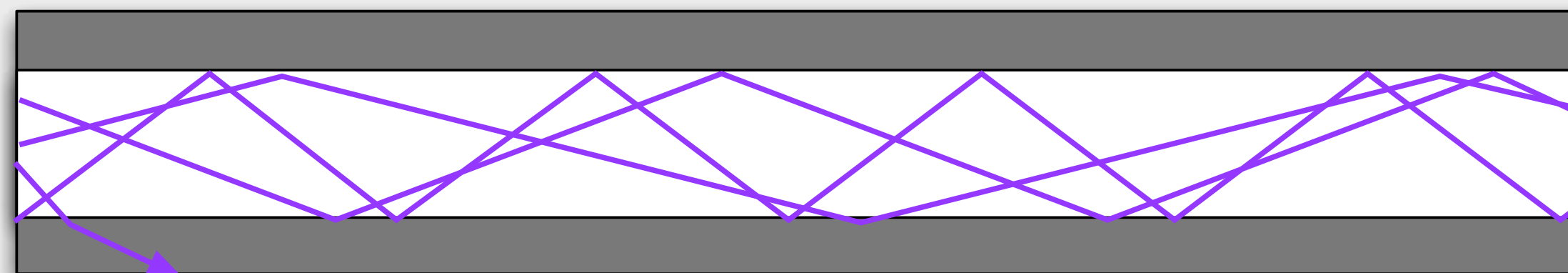


Monomodo

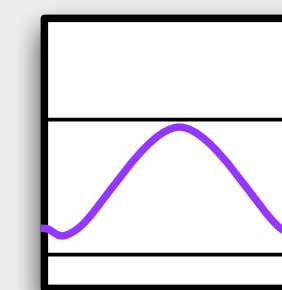
# Tipos de Fibra Óptica



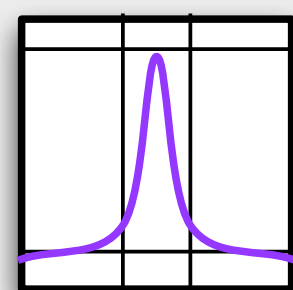
Pulso de  
Entrada



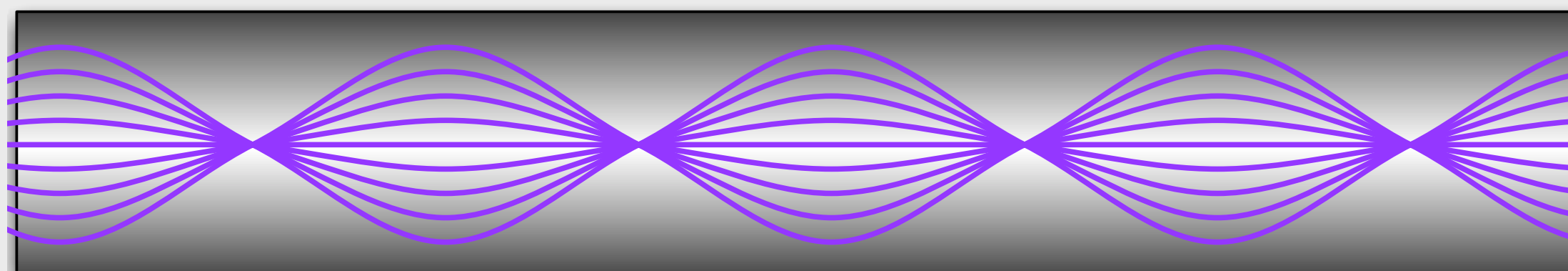
Multimodo Índice Degrau



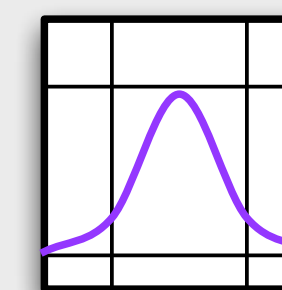
Pulso de  
Saída



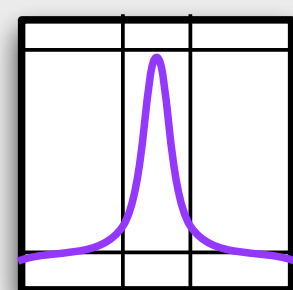
Pulso de  
Entrada



Multimodo Índice Gradual



Pulso de  
Saída



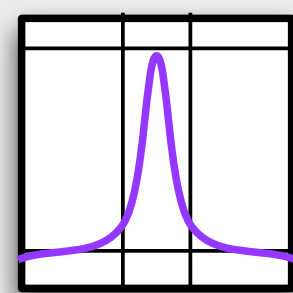
Pulso de  
Entrada



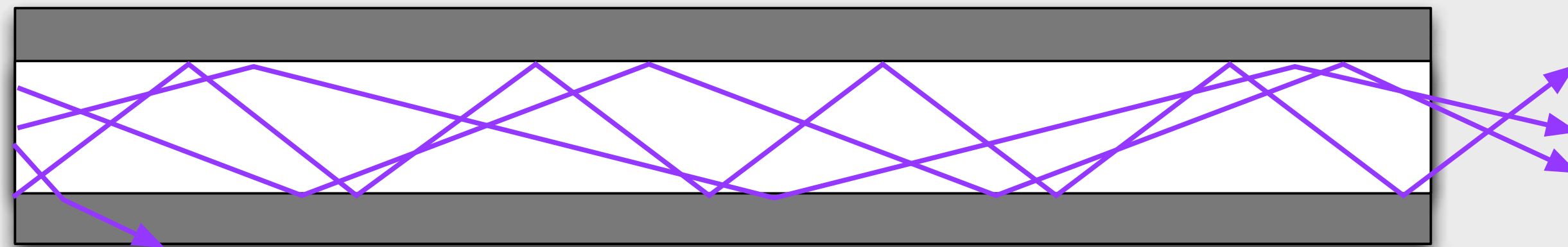
Monomodo



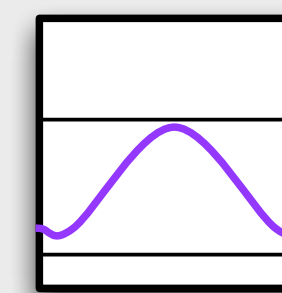
# Tipos de Fibra Óptica



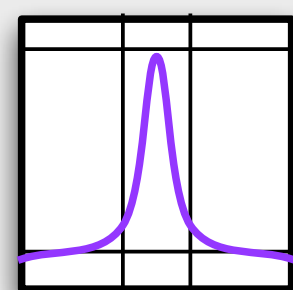
Pulso de  
Entrada



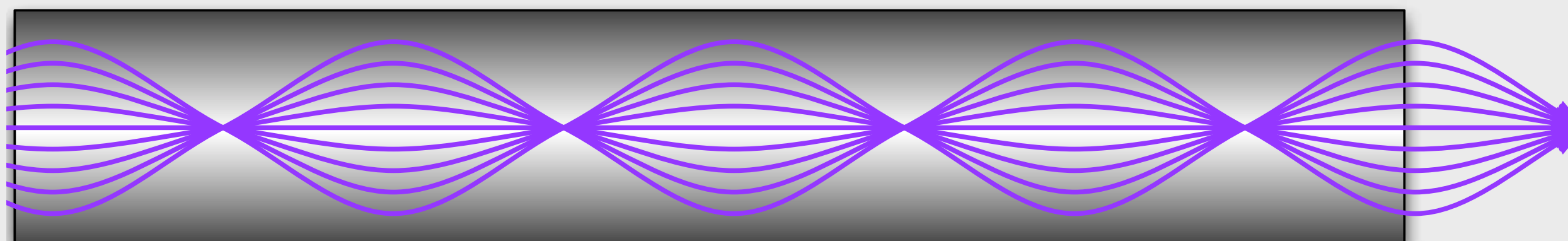
Multimodo Índice Degrau



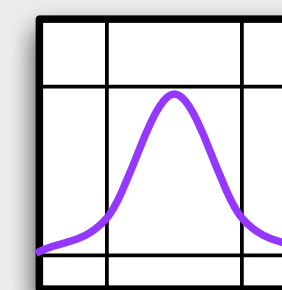
Pulso de  
Saída



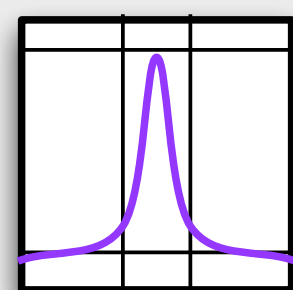
Pulso de  
Entrada



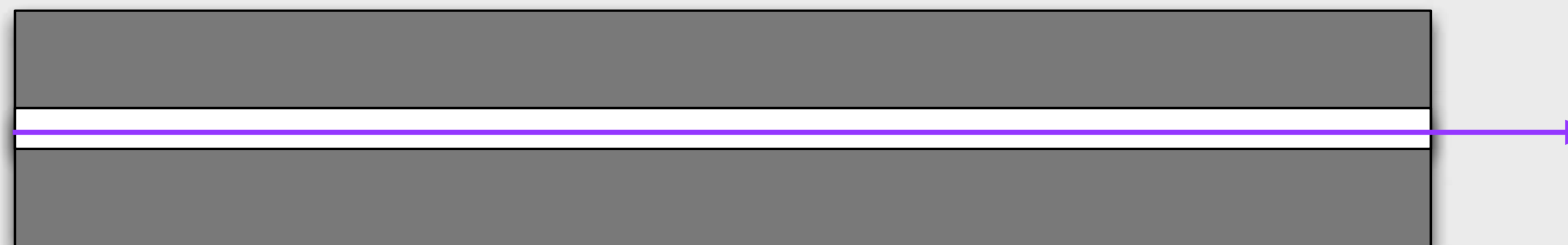
Multimodo Índice Gradual



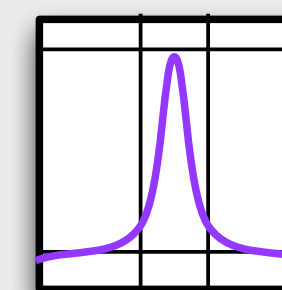
Pulso de  
Saída



Pulso de  
Entrada

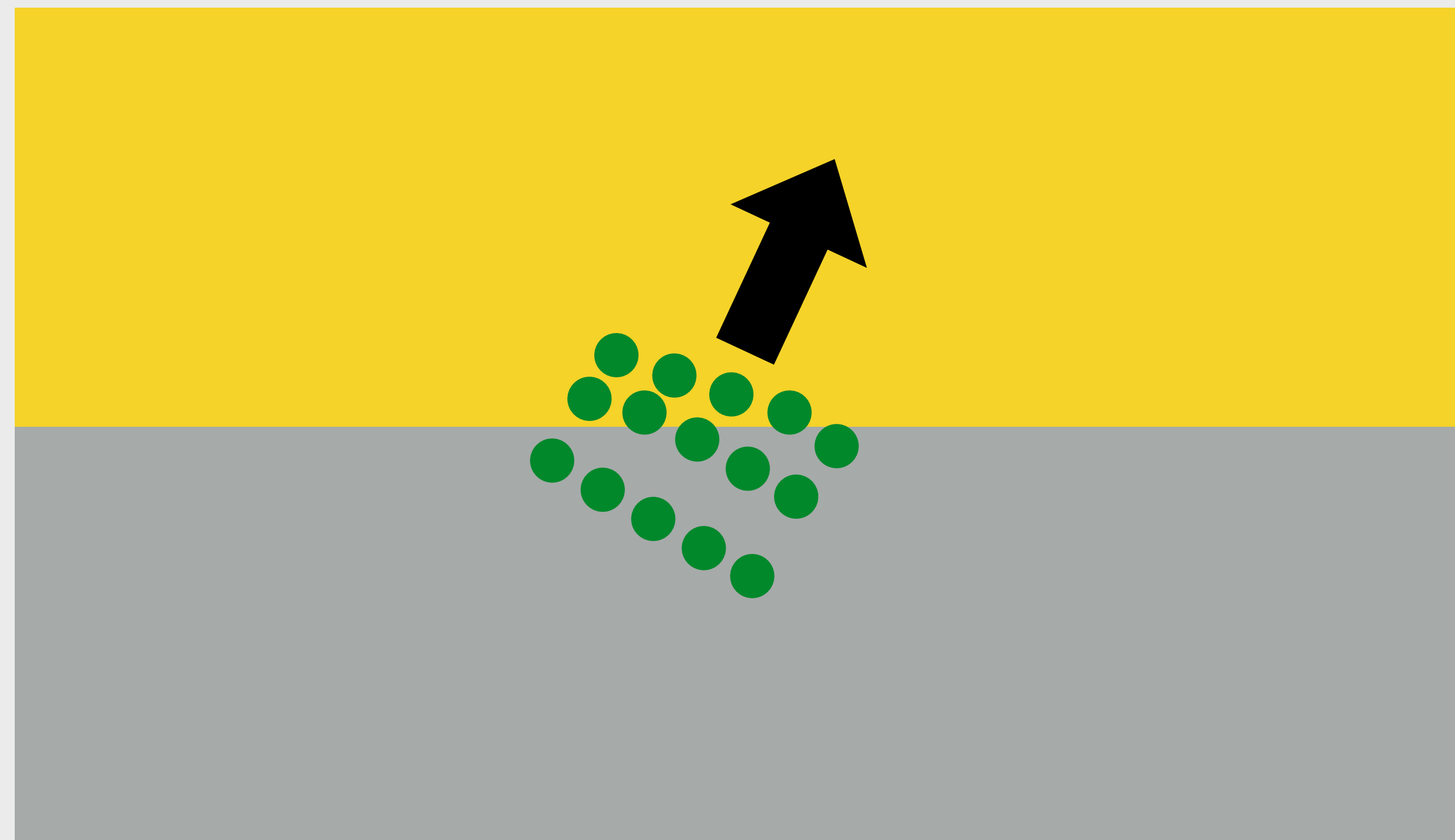


Monomodo



Pulso de  
Saída

# Explicação



# Tipos de Fibra Ótica

- Multimodo:
  - Núcleo um pouco maior
  - Utiliza **Light Emitting Diodes** (LEDs) para transmitir o sinal
- Monomodo:
  - Núcleo de diâmetro extremamente pequeno, da ordem de 8 microns
  - Usa **laser** para transmitir sinais de luz

# Tipos de Fibra Ótica

- Uma medida padrão da fibra diz respeito ao diâmetro do núcleo e da casca da fibra
- Ex: 100/140 quer dizer núcleo 100 e casca 140
- Multimodo: 50/125 ou 62,5/125 microns
- Monomodo: 8/125 ou 10/125 microns

# Tipos de Cabos Ópticos

- Loose
- Tight
- Groove
- Ribbon
- Armored



# Cabos Loose

- Fibras soltas em um tubo plástico
- Geralmente no interior do tubo encontra-se uma geléia a base de petróleo
- A geléia protege as fibras na ação do tempo e choque mecânico
- Normalmente utilizado em ambientes externos

# Cabos Tight

- Cada fibra recebe um revestimento termoplástico
- Um conjunto de fibras recebe um segundo revestimento termo plástico
- Normalmente utilizado em ambientes internos

# Cabos Groove

- Fibras são depositadas em sulcos (ranhuras)
- Agregação de fibras
- Elemento tensor para resistência

# Cabos Ribbon

- Extrema agregação ( $\cong$  4.000 fibras)
- Pode ser utilizado em conjunto com o Groove
- Adesivo mantém o empilhamento estável

# Cabos Armored

- Extrema proteção mecânica (capa de aço)
- Proteção contra roedores
- Utilizados em lançamento subterrâneos



# Conectores

FC



ST



# Conectores

SC



LC

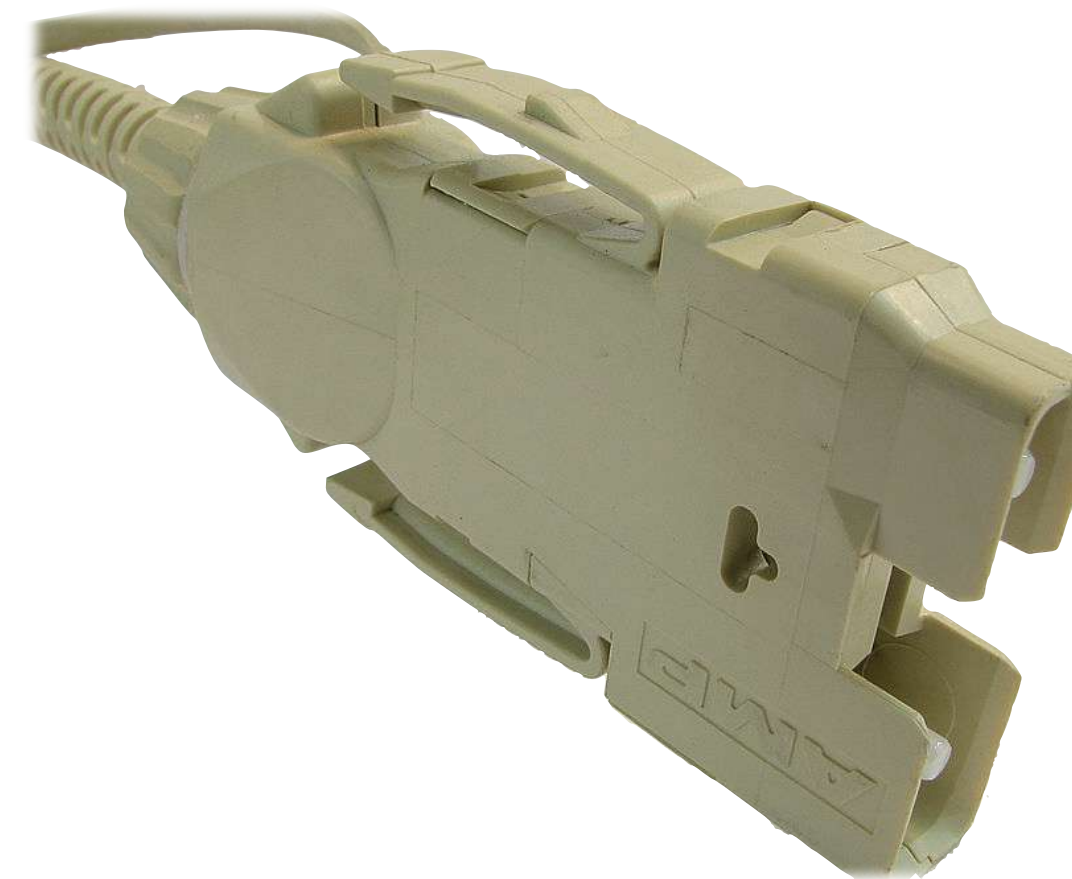


# Conectores

MTRJ



FDDI

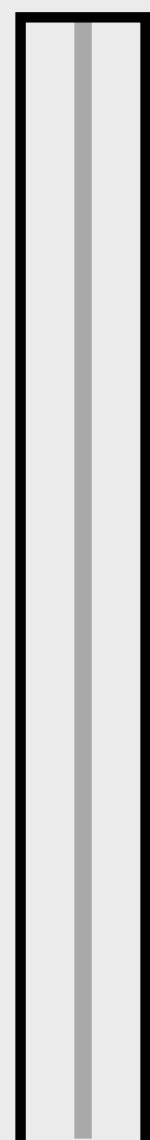




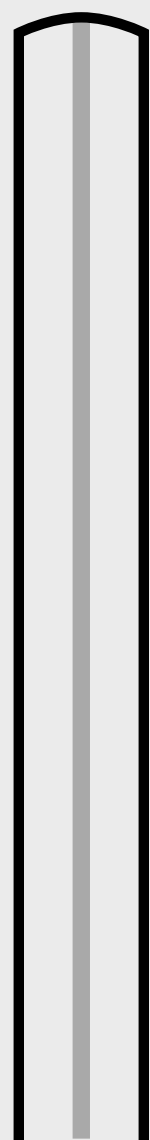
# Tipos de Polimento

- PLANO
  - Face plana do ferrolho
- PC (**Physical Contact**)
  - Face convexa do ferrolho
- SPC (**Super Physical Contact**)
  - Face convexa com menor raio de curvatura que o PC
- UPC (**Ultra Physical Contact**)
  - Face convexa com menor raio de curvatura que o SPC
- APC (**Angled Physical Contact**)
  - Face angular do ferrolho (de 8°)

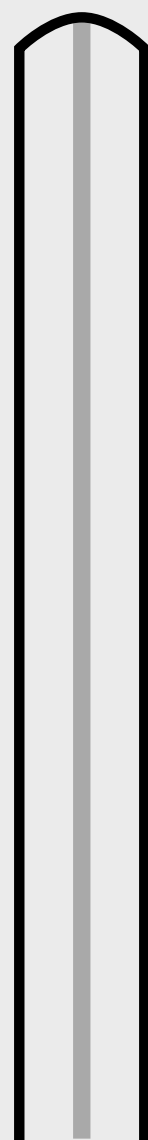
# Tipos de Polimento



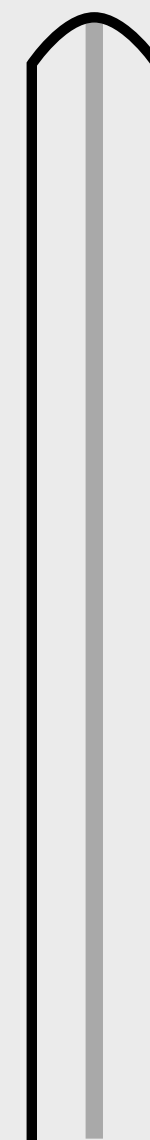
Plano



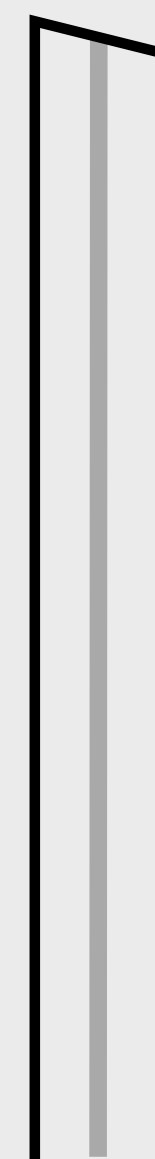
PC



SPC



UPC



APC



# Cobertura de Transmissão

- Devido ao efeito da dispersão que incrementa com o comprimento do cabo, os sistemas de fibras caracterizam pelo produto largura de banda por distância (MHz·km)
- Uma fibra multimodo pode levar o sinal de 500 MHz por 1 km ou um sinal de 1000 MHz por 0,5 km
- A distância mínima deve ser observada para evitar sobrecargas

# Cobertura de Transmissão

- O fator determinante no cálculo da cobertura máxima é a atenuação, por isso deve-se considerar:
  - Perda de sinal do cabo para o tipo de fibra utilizada
  - A potência do transmissor óptico e a sensibilidade do receptor óptico
  - Perda de sinal nos conectores e emendas no cabo

# Largura de Banda

- Altas taxas de transmissão (algo em torno de 10 Gbps ou mais)
- Taxas ampliadas através do uso de diversos comprimentos de onda (WDM) podendo chegar a Peta bps
- Baixa taxa de erro, que está na faixa de  $10^{-12}$

# Taxas Recordes

Ano	Organização	Taxa Efetiva	Canais WDM	Taxa por Canal	Distância
2009	Alcatel-Lucent	15 Tbps	155	100 Gbps	90 km
2010	NTT	69,1 Tbps	432	171 Gpps	240 km
2011	KIT	26 Tbps	1	26 Tbps	50 km
2011	NEC	101 Tbps	370	273 Gbps	165 km
2012	NEC, Corning	1,05 Pbps	fibra de 12 núcleos		52,4 km

# Largura de Banda

Banda	Descrição	Faixa de Comprimento de Onda
O	original	1260 a 1360 nm
E	estendida	1360 a 1460 nm
S	comprimento de onda curto	1460 a 1530 nm
C	convencional ("erbium window")	1530 a 1565 nm
L	comprimento de onda longo	1565 a 1625 nm
U	comprimento de onda ultra longo	1625 a 1675 nm



# Topologia

- São usados em configurações ponto-a-ponto
- Permite instalações em estrela e em anel

# Segurança

- Isolamento elétrico entre as partes conectadas, já que não utilizamos para transferência energia elétrica e sim a luz
- Necessidade de rompimento físico do cabo para quebrar a segurança da informação

# Imunidade ao Ruído

- É o meio de transmissão com maior imunidade de ruído, pois a transmissão óptica exigiria a entrada de luz na direção do feixe transmitido

# Instalação

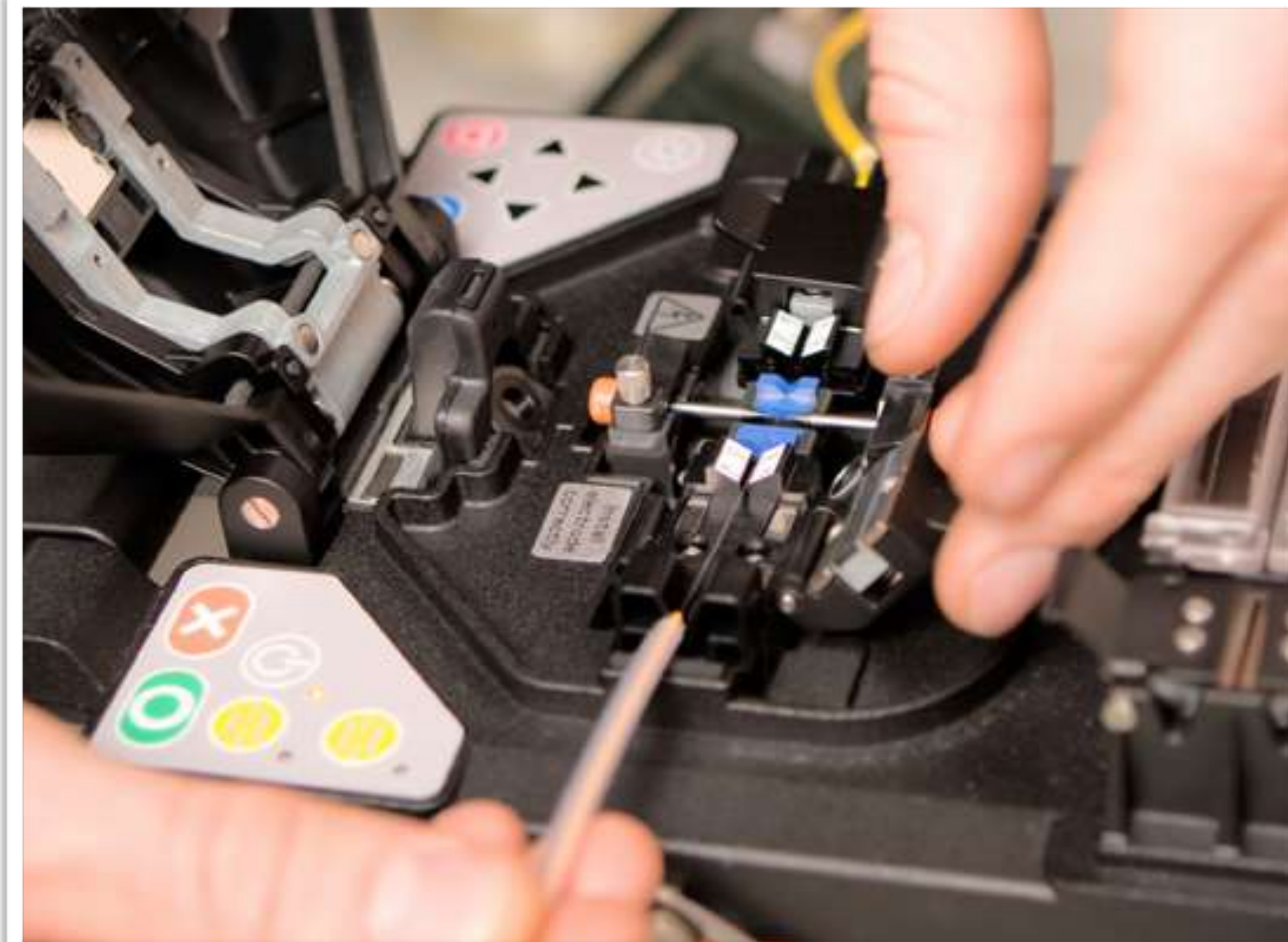
- Requer profissional especializado para instalação e manutenção
- Equipamentos específicos para fusão de fibras

# Instalação



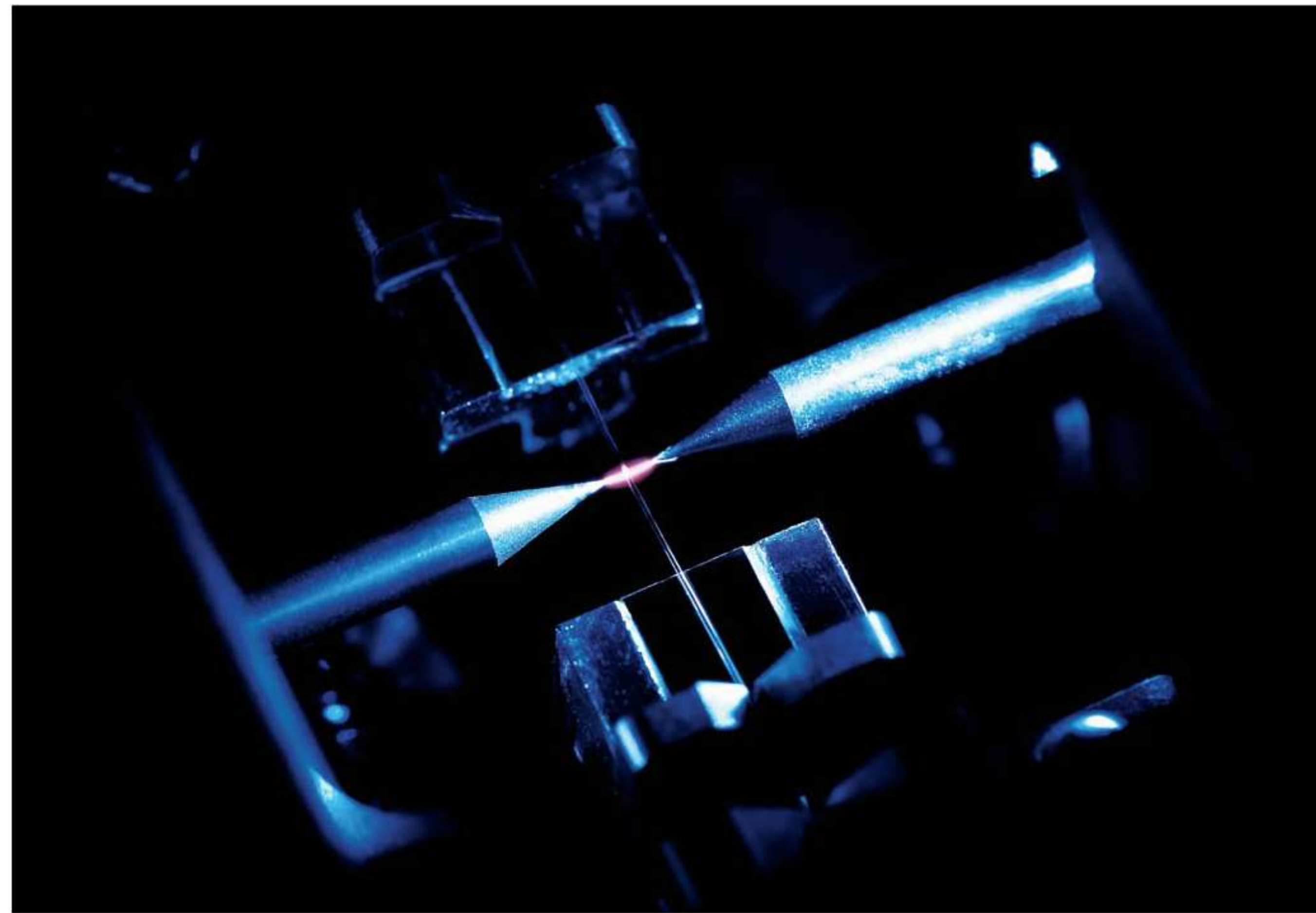


# Instalação





# Instalação



# Instalação



# Custo

- Alto custo de instalação (o custo por metro da fibra ainda é elevado, comparado com os outros meios)
- Equipamentos nas pontas também apresentam um custo alto devido à necessidade de conversão de energia em luz e depois novamente em sinal elétrico)

# Comparação das Mídias Guiadas

	Par Trançado	10Base2 ThinNet	10Base5 ThickNet	Fibra Óptica
Distância	Curta a Moderada	Moderada	Moderada	Moderada a Longa
Imunidade ao Ruído	Baixa (UTP) Moderada (STP)	Moderada	Moderada	Alta
Facilidade de Instalação	Fácil de Instalar e Manter	Fácil de Instalar	Treinamento ou Profissional	Instalador Especializado
Custo	Baixo	Baixo a Moderado	Baixo a Moderado	Alto
Topologia	Barramento/ Estrela/Anel	Barramento	Barramento	Estrela/Anel

# Mídias Não-Guiadas



# Mídias Não-Guiadas

- 3 faixas de interesse:
  - ▶ **Rádio**: 30 MHz a 1 GHz, omnidirecionais
  - ▶ **Microondas**: 1 a 40 GHz, feixes direcionais, terrestres e satélites
  - ▶ **Infravermelho**: 300 GHz a 200 THz, aplicações locais ponto a ponto ou multiponto



# Antenas

- Um ou mais condutores (sistema) usados para irradiar ou coletar energia eletromagnética
- A mesma antena para transmissão e recepção
- Desempenho dado pelo padrão de irradiação, representando graficamente as propriedades de irradiação em função de coordenadas espaciais

# Ganho da Antena

- Medida da direcionalidade da antena em decibéis (dB)
- Potência de saída em uma direção particular, comparada com a de qualquer direção da isotrópica
- Não implica em se obter potência irradiada maior que a entrada
- Aumenta a irradiação em uma direção, diminuindo a potência irradiada em outras

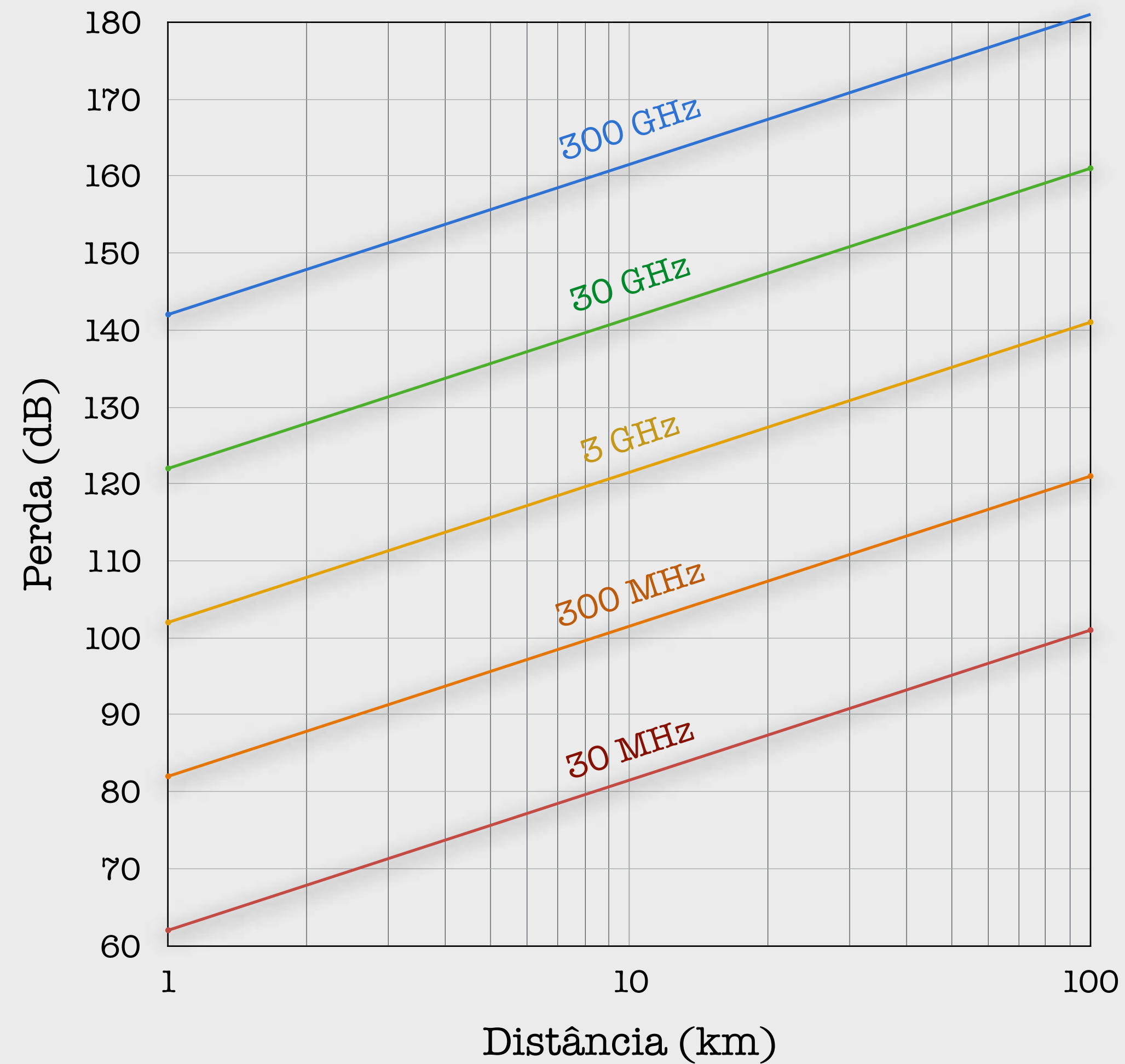
# Perda no Espaço Livre

- Medida em dB
- Relação entre a potência transmitida e a recebida (teórico em dB),

$$L = 10 \log (4\pi d / \lambda)^2 = 20 \log (4\pi d / \lambda)$$

- Normalmente:  $\lambda = c$

# Perda no Espaço Livre



# Antenas Isotrópicas

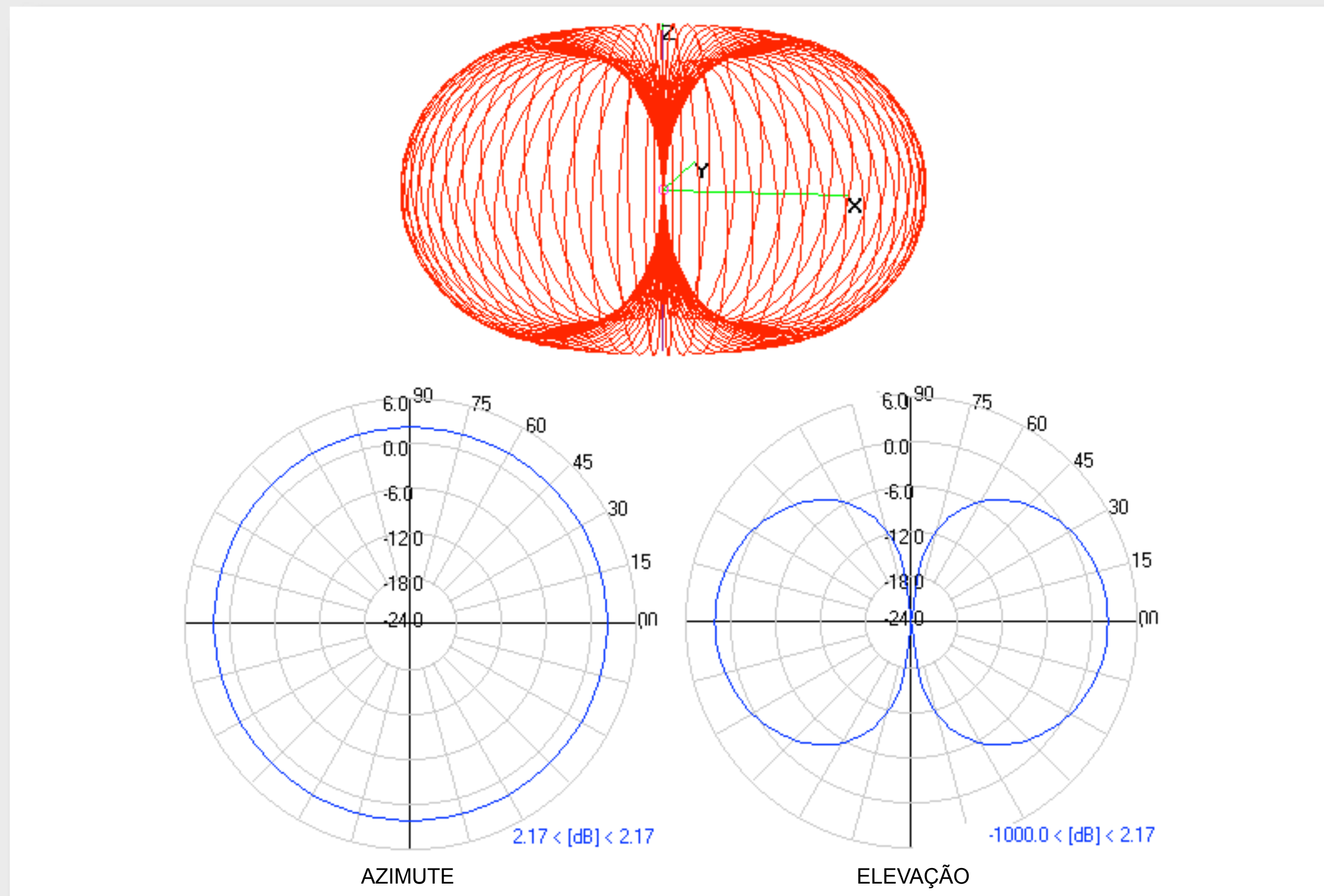
- Não existem na prática (idealizada)
- Um único ponto no espaço
- Potência irradiada igualmente em todas as direções
- Tem o padrão de irradiação esférico com a antena no centro

# Antenas Dipolo

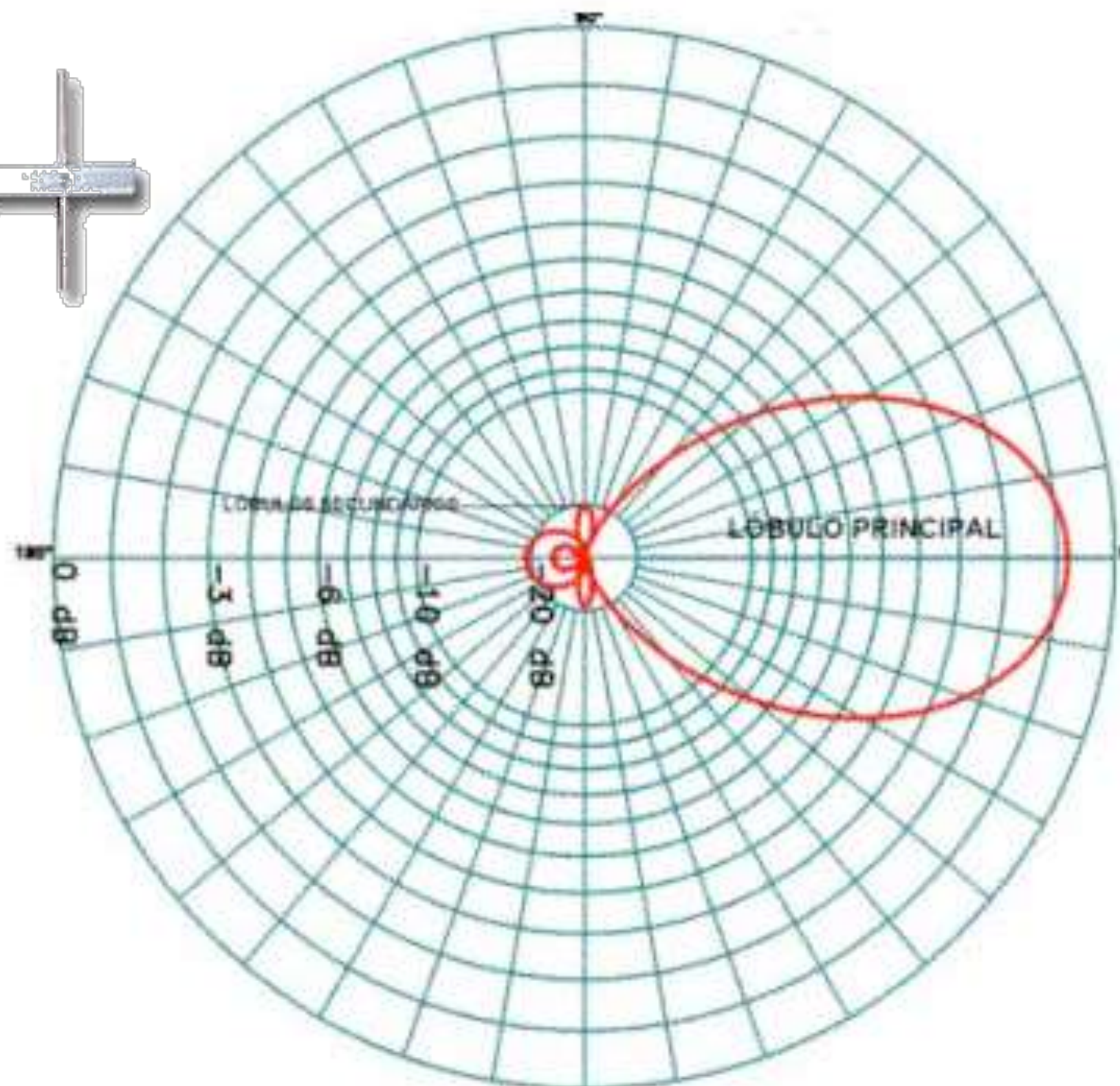
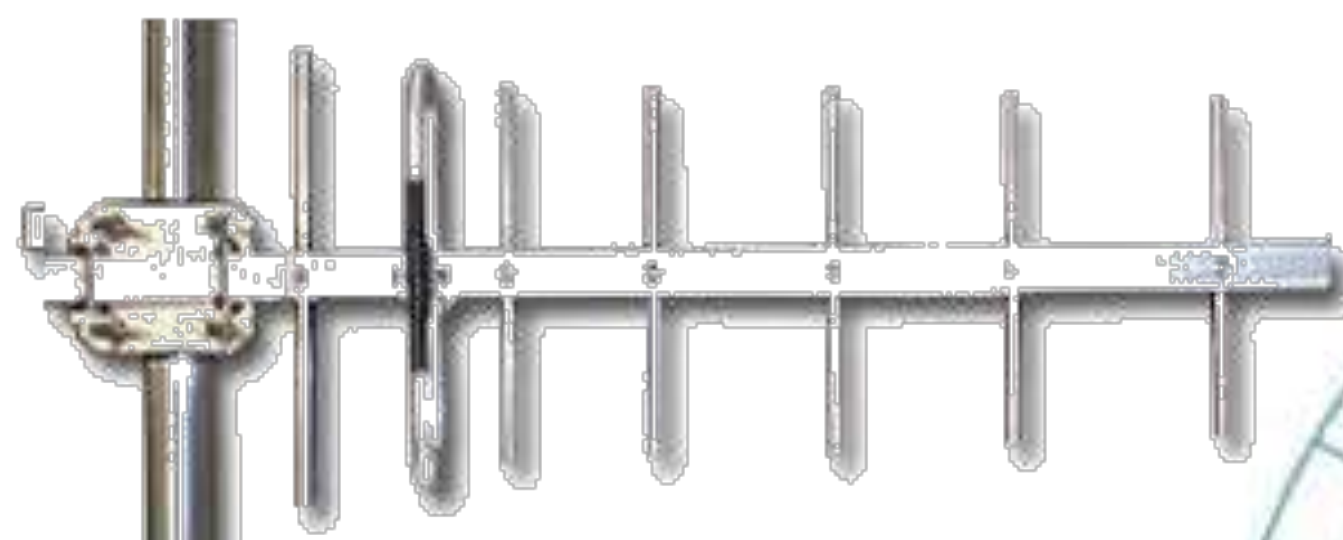




# Padrão de Irradiação



# Antenas Yagi



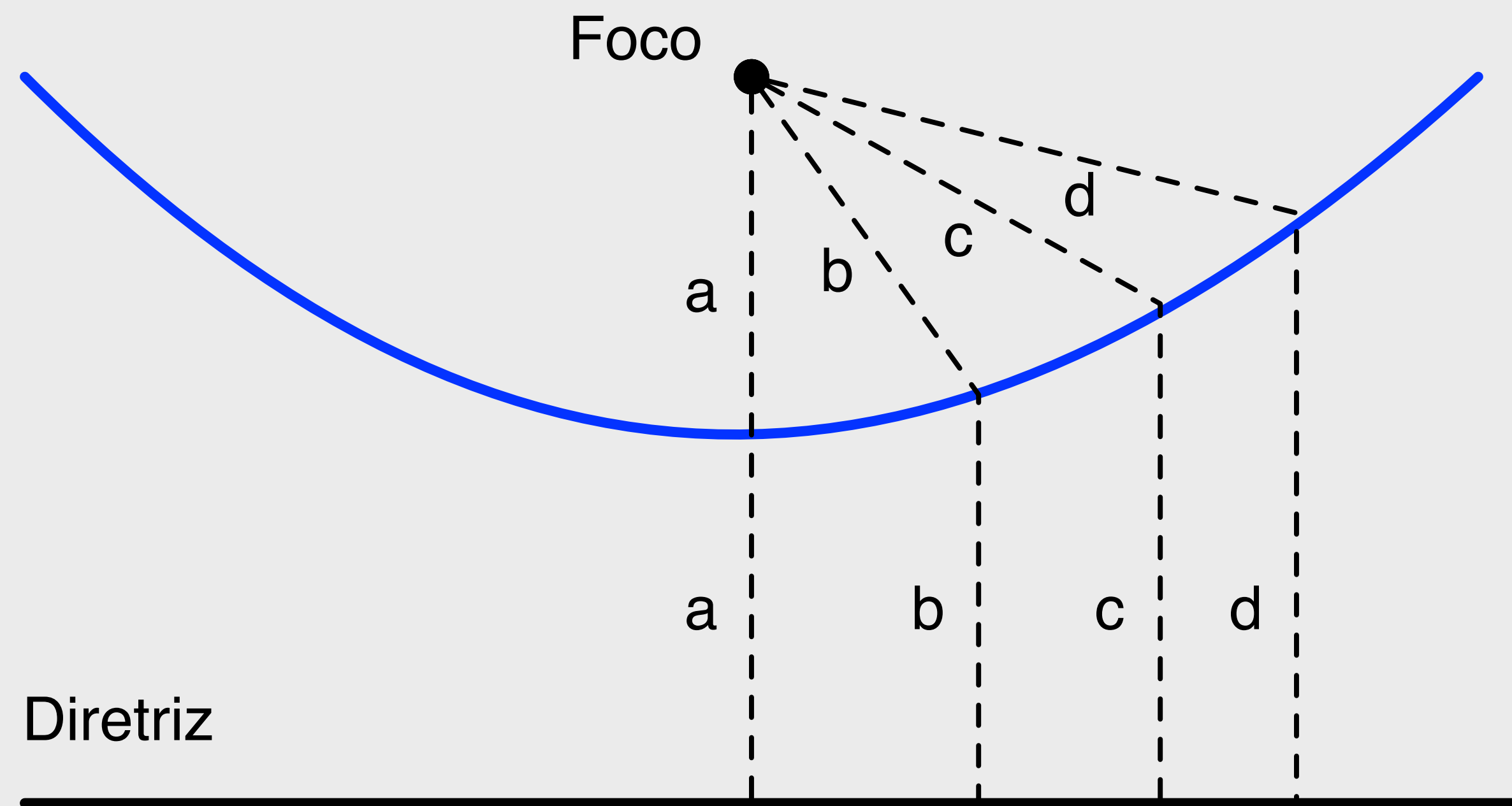
0 dB circle = 11.00 dBi

Diagrama de irradiação de potência na forma polar

# Antenas Parabólicas

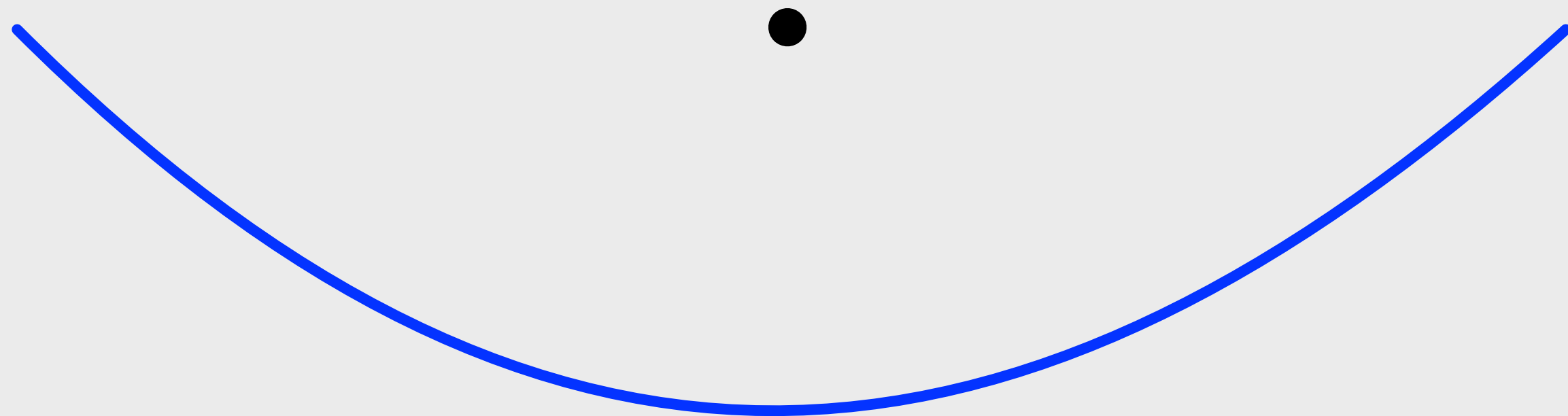
- Usadas em microondas terrestres e via satélite
- Parábola: conjunto de todos pontos eqüidistantes de uma linha (diretriz) e de um ponto fora da linha (foco)
- Girando a parábola em torno do seu eixo para obter um parabolóide
- Cortes paralelos ao eixo são parábolas, perpendiculares circunferências

# Parábola

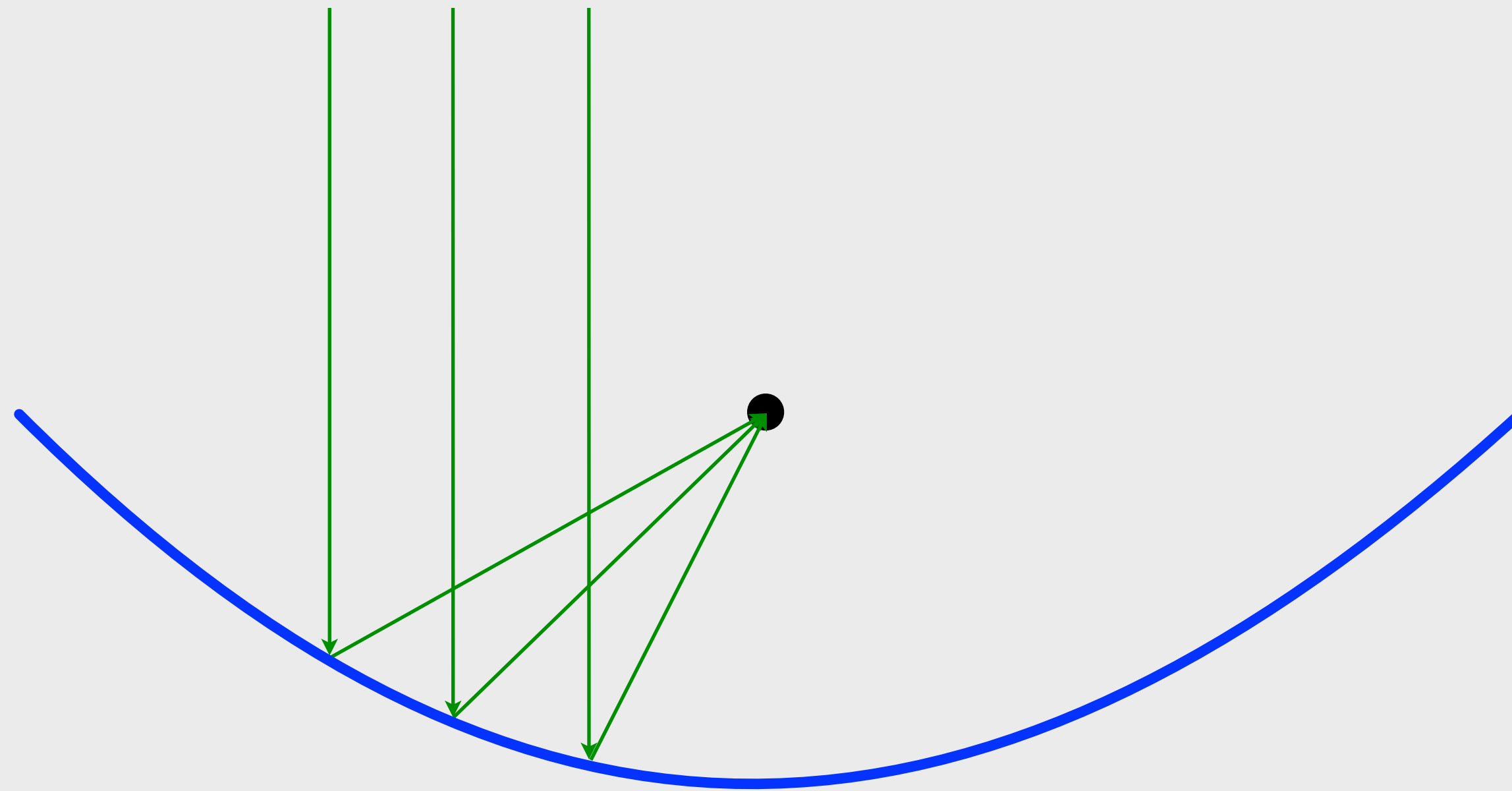




# Parábola

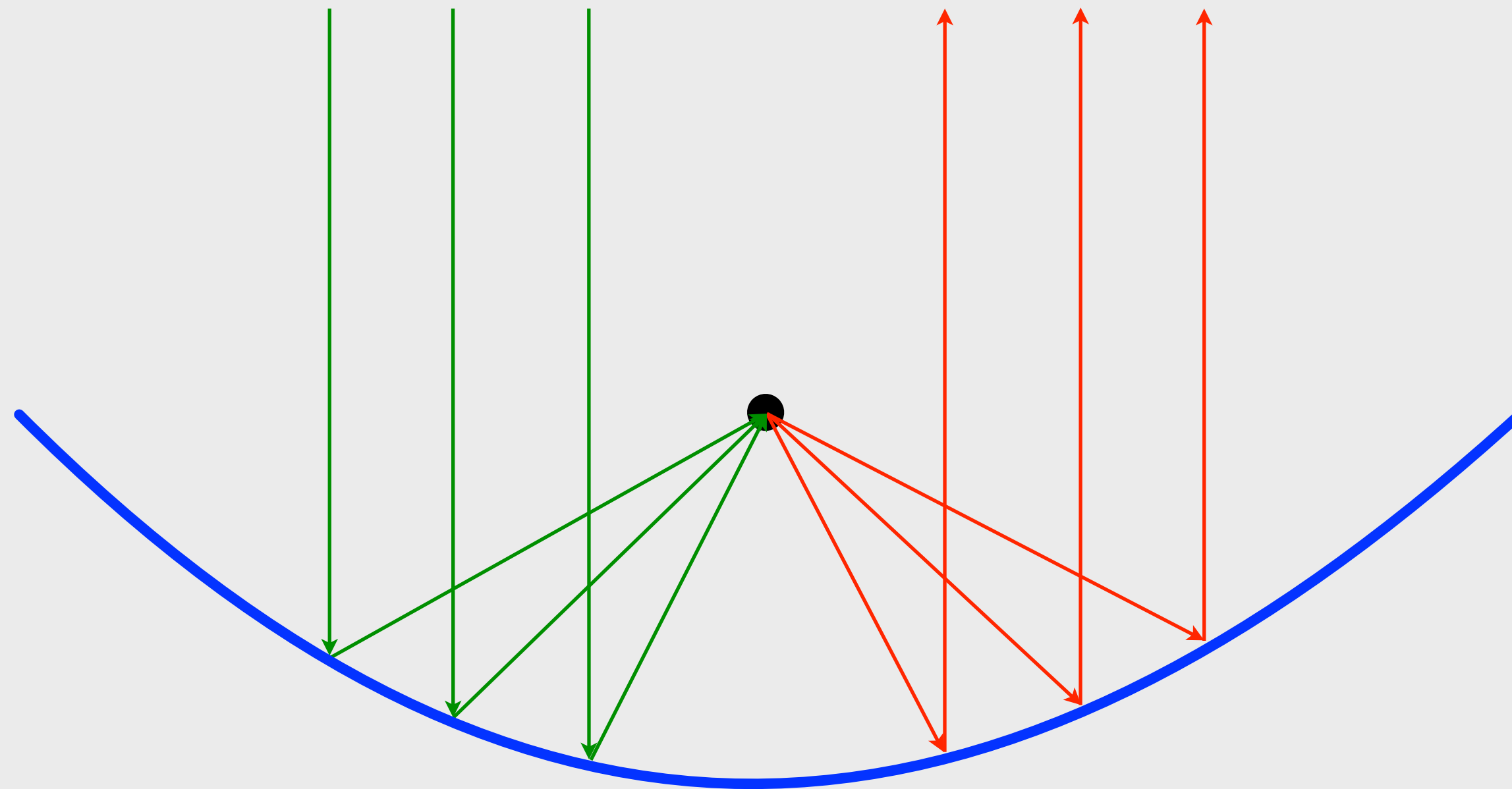


# Parábola





# Parábola



# Antenas Parabólicas

- Teoricamente produz um feixe paralelo, sem dispersão
- Na prática, há alguma dispersão porque a fonte de energia ocupa mais de um ponto
- Quanto maior o diâmetro da antena, mais direcional é o feixe

# Área Efetiva

- Relativo ao tamanho físico e ao formato da antena
- Relaciona-se com o ganho por:

$$G = 4\pi A_e / \lambda^2 = 4\pi f^2 A_e / c^2$$

onde:

- $G$  = ganho da antena
- $A_e$  = área efetiva da antena

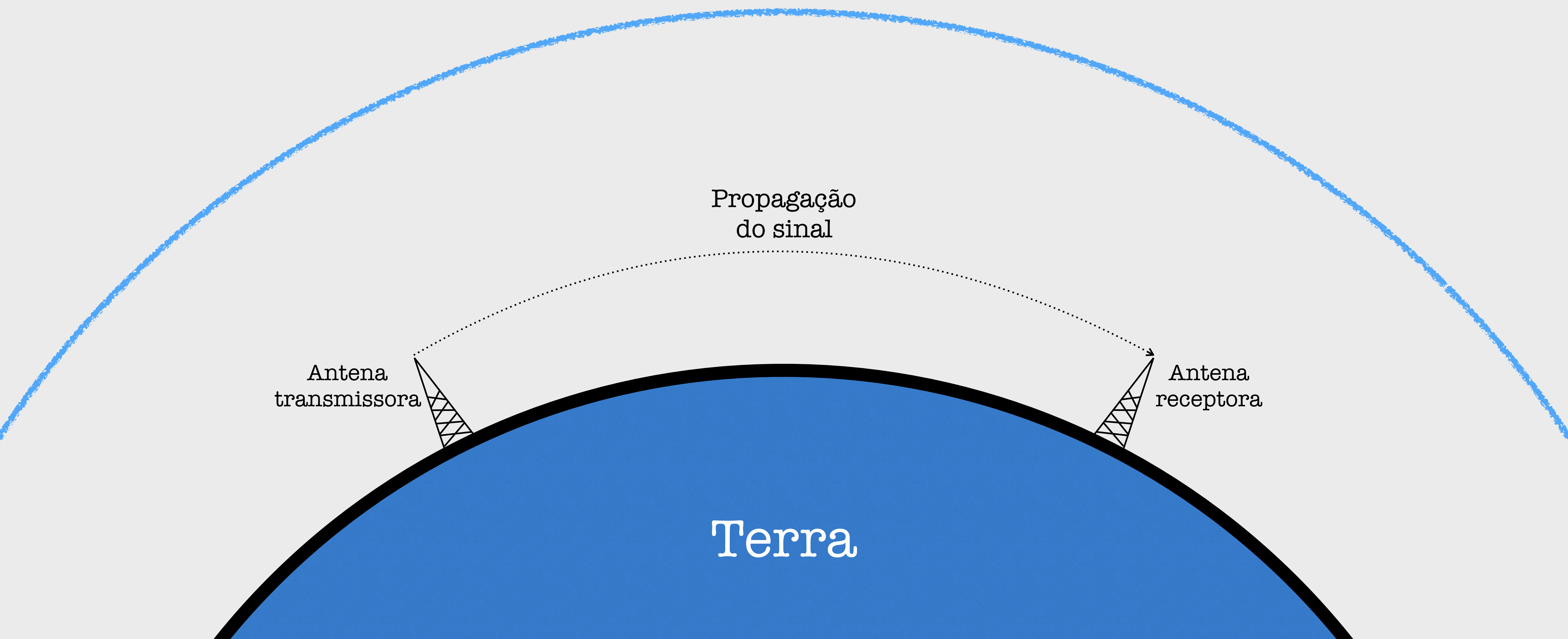
# Área Efetiva

- Isotrópica:  $A_e = \lambda^2/4\pi$ 
  - Ganho:  $G = 1$
- Parabólica:  $A_e = 0,56 A$ 
  - Ganho:  $7A / \lambda^2$

# Propagação

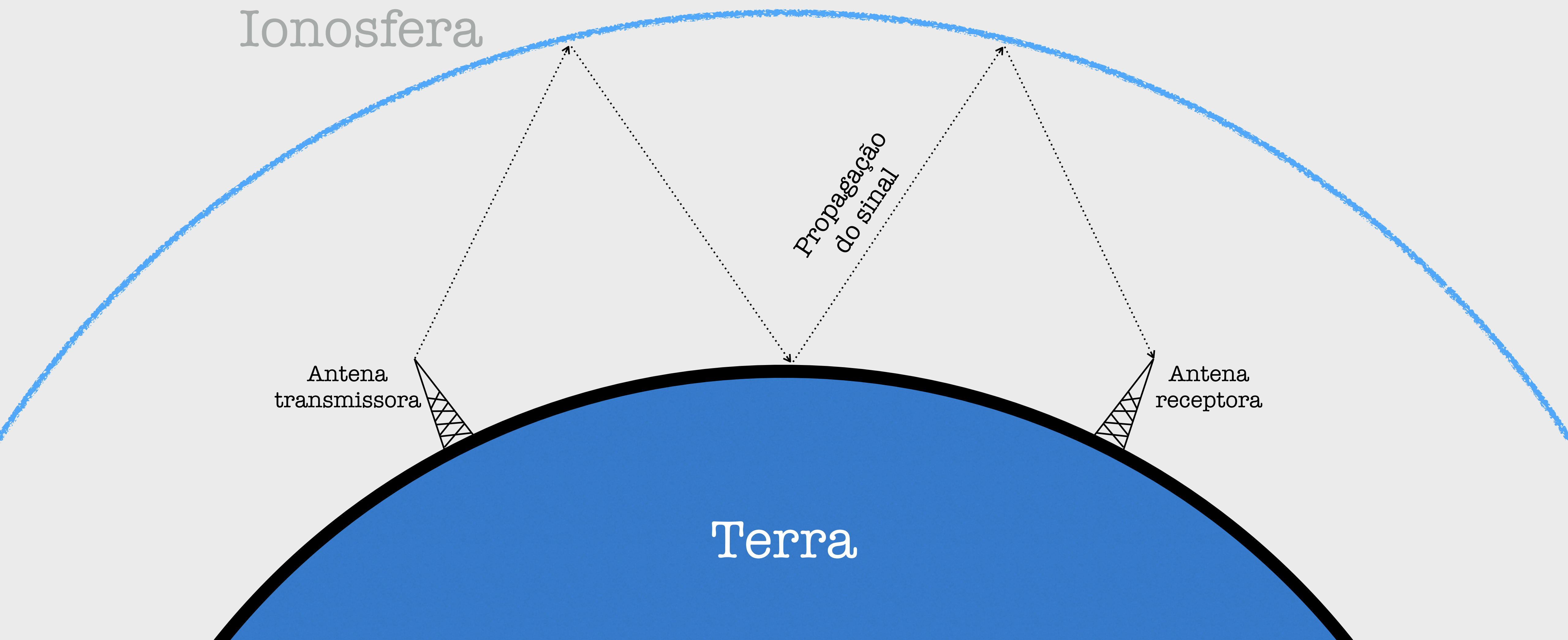
- Sinal propaga-se através de três mecanismos:
  - ▶ Ondas Terrestres ou de superfície
  - ▶ Ondas Espaciais
  - ▶ Ondas em Linhas de Visada

# Ondas Terrestres

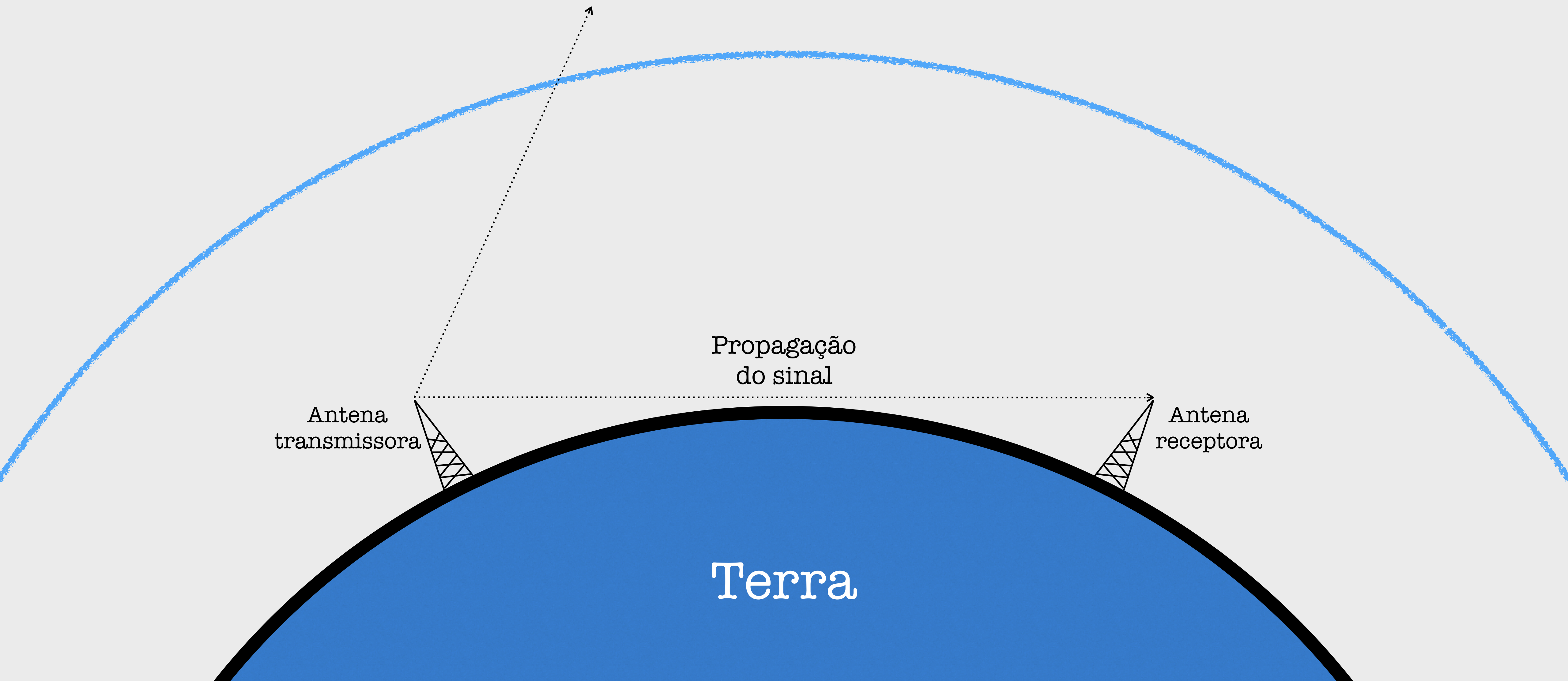




# Ondas Espaciais



# Ondas de Visada



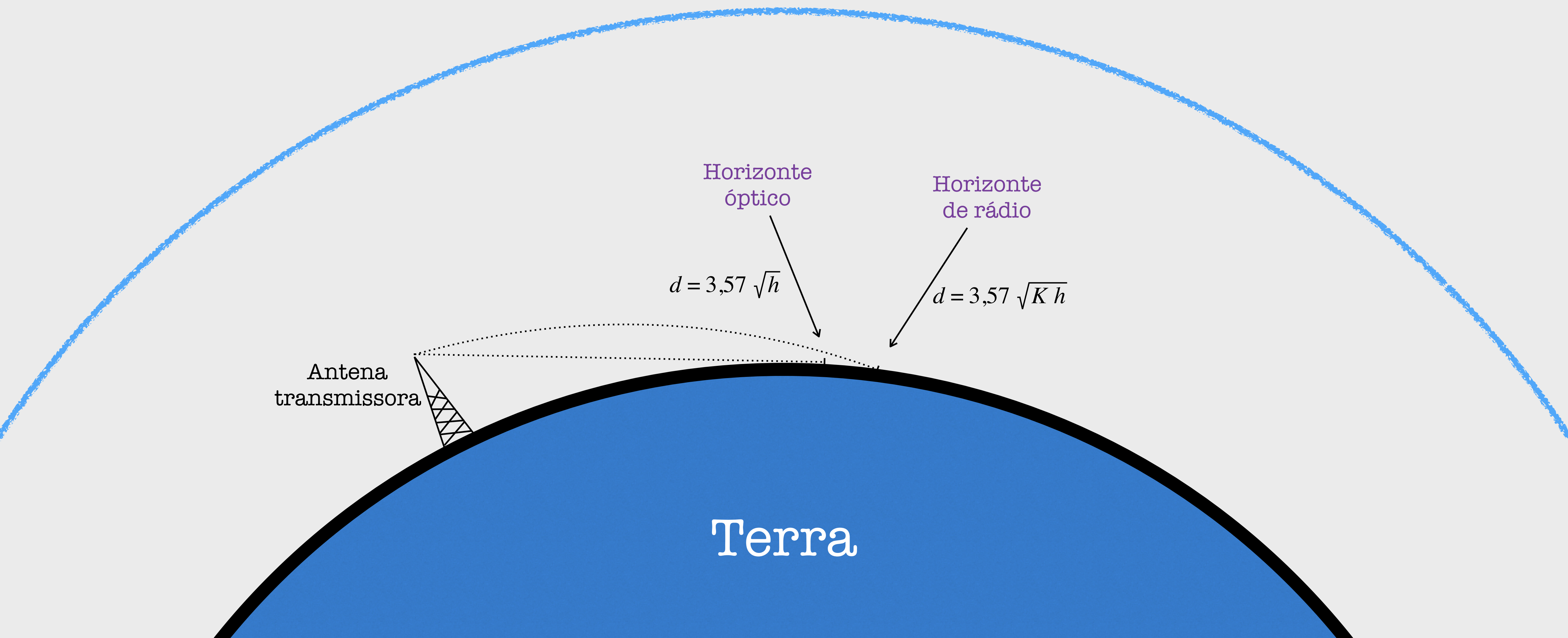
# Refração

- Velocidade da onda é função da densidade do material
- $\approx 3 \times 10^8$  m/s no vácuo, menor nos demais meios
- Velocidade altera quando muda de meio, causando uma guinada na direção da onda na superfície de transição dos meios

# Refração

- Índice de refração, varia com o comprimento de onda:  
 $\sin(\text{ângulo de incidência})/\sin(\text{ângulo de refração})$
- A mudança de direção pode ser brusca ou suave, dependendo do tipo de variação do índice (transição ou gradual)
- Densidade da atmosfera decrementa com a altura, resultando na curvatura da onda em direção à Terra

# Horizonte Óptico e de Rádio



# Absorção Atmosférica

- Vapor d'água e o oxigênio absorvem sinais de rádio
- Água maior em 22 GHz, menor abaixo de 15 GHz
- Oxigênio maior em 60 GHz, menor abaixo de 30 GHz
- Chuva e neblina dispersam as ondas de rádio (mais sensível com o aumento da frequência)

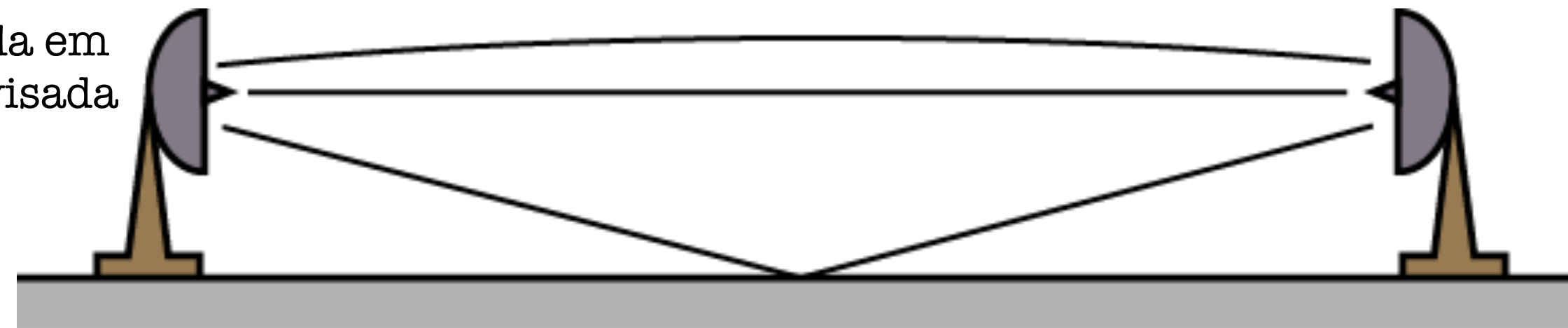


# Multiplicidade de Caminhos

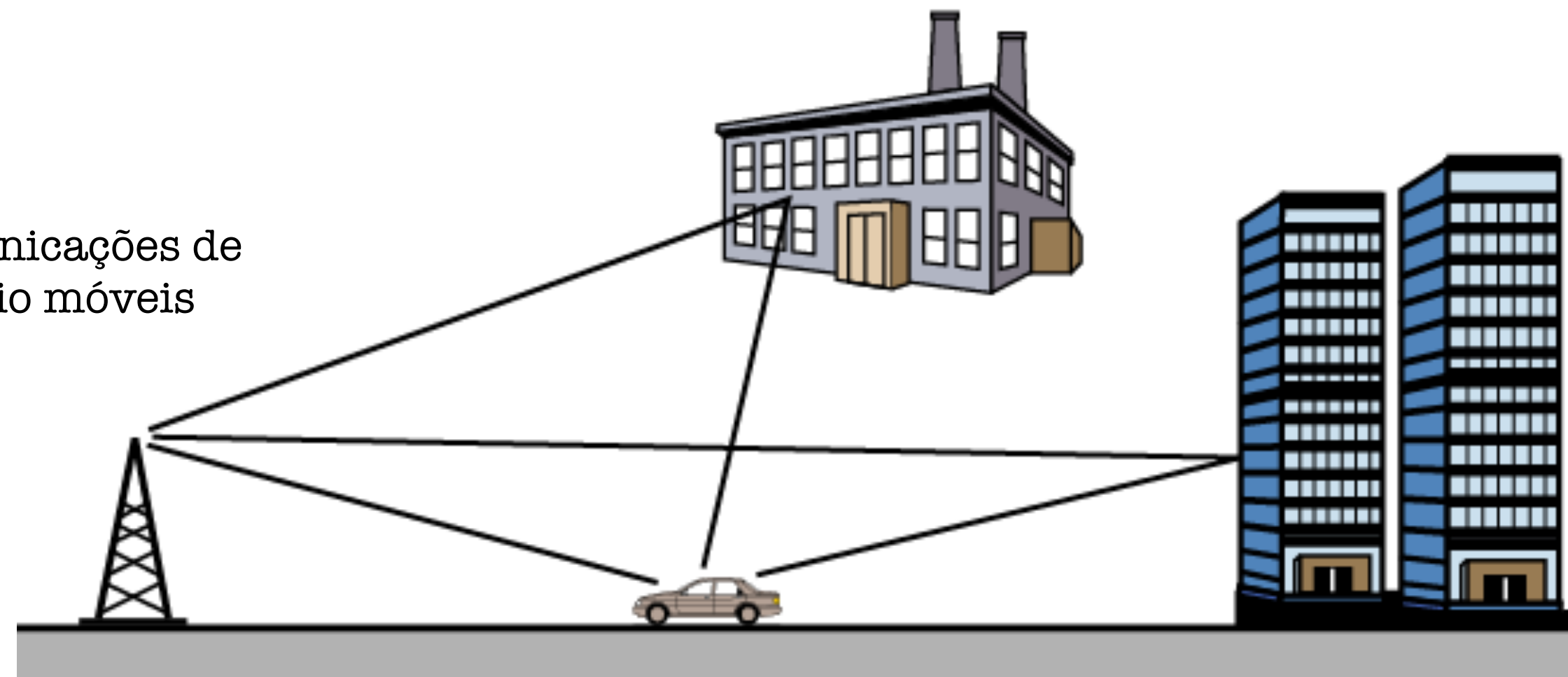
- Sinal pode ser refletido causando múltiplas cópias no receptor
- Melhor é utilizar a linha de visada, mas pode ser que não exista um caminho direto
- Pode reforçar ou cancelar o sinal direto
- Ex.: múltiplas imagens na TV com a passagem de um avião

# Multiplicidade de Caminhos

Microonda em  
linha de visada



Comunicações de  
rádio móveis





A low-angle, upward-looking photograph of a tall, white metal telecommunications tower. Two large, silver, parabolic satellite dish antennas are mounted on the tower, one above the other. The tower's structure consists of a complex lattice of metal beams and cross-braces. The background is a bright blue sky filled with soft, white clouds. The text "Enlace de Terrestre" is superimposed in the center of the image in a black, serif font.

Enlace de Terrestre



# Microondas Terrestre

- Linha de visada, antenas em locais altos para estender a distância entre antenas e desviar de obstáculos
- Feixe focalizado, Antena parabólica (normalmente 3m), montagem rígida
- Comunicações em longas distâncias
- Frequências mais altas carregam taxas de dados mais altas, porém com maiores perdas

# Microondas Terrestre

- A banda mais comum é a de 4 a 6 GHz
- Com o aumento do congestionamento, a banda de 11 GHz está sendo usada
- A banda de 12 GHz é usada em uma parte do sistemas de TV a cabo
- Ligações ponto a ponto entre edifícios utilizam a banda de 22 GHz, com antenas mais baratas e pequenas
- Sistemas de Telefonia Celular



# Enlace de Satélite





# Microondas via Satélite

- O satélite é usado para conectar duas ou mais estações de microondas terrestres, funcionando como uma estação retransmissora (**relay**)
- Recebe sinais em uma frequência (**uplink**), amplifica ou repete e o transmite em outra frequência (**downlink**)
- Opera com um número de bandas de frequências: canais transponders

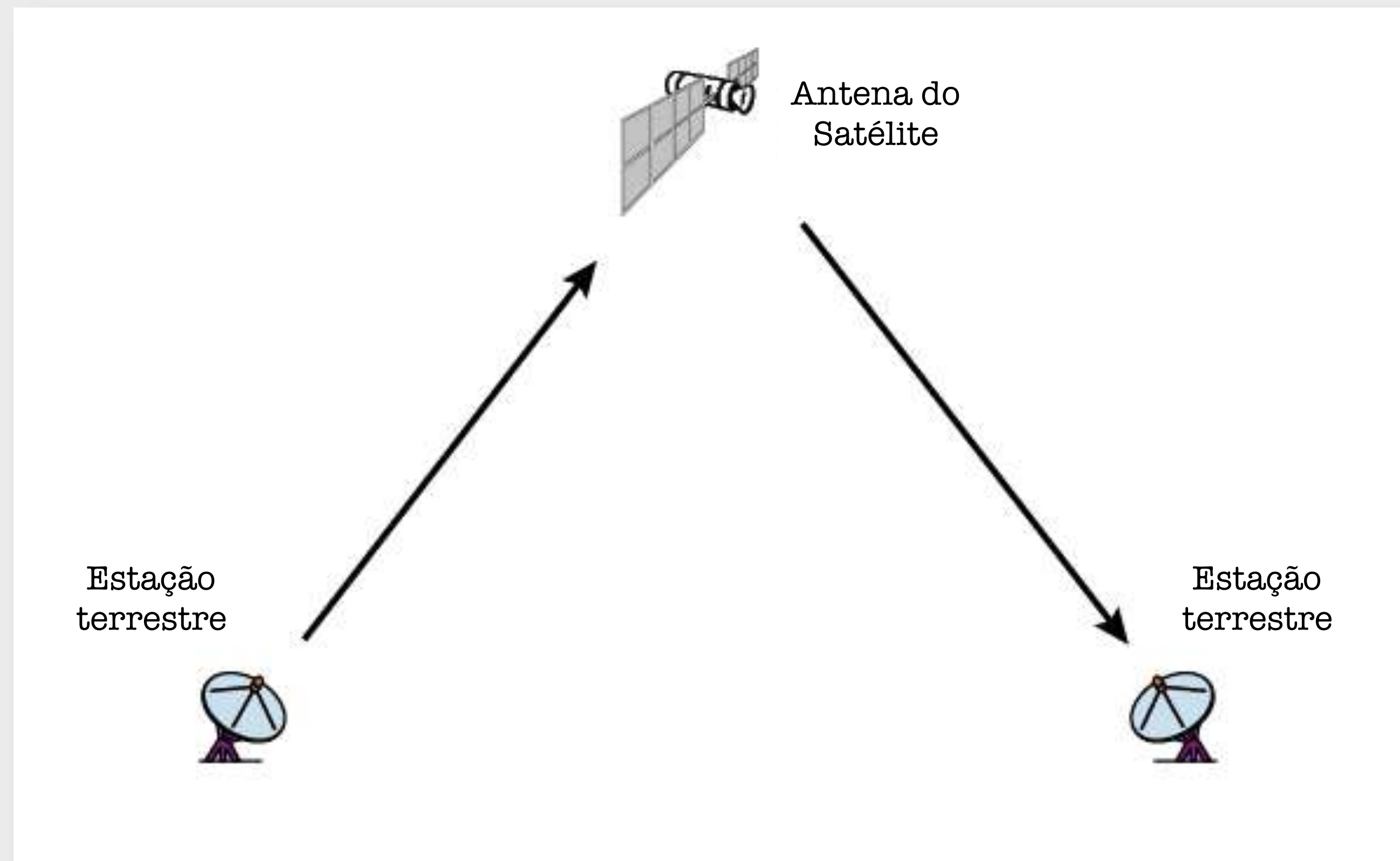
# Microondas via Satélite

- Inerentemente **broadcast** (difusão)
- Requer órbitas Geo-estacionárias
  - Altitude de 35.784 Km
- Satélites operando em uma mesma banda, requerem um espaçamento de  $4^\circ$  para banda 4/6 GHz e  $3^\circ$  para banda 12/14 GHz
- Problemas de atraso (1/4 segundo)

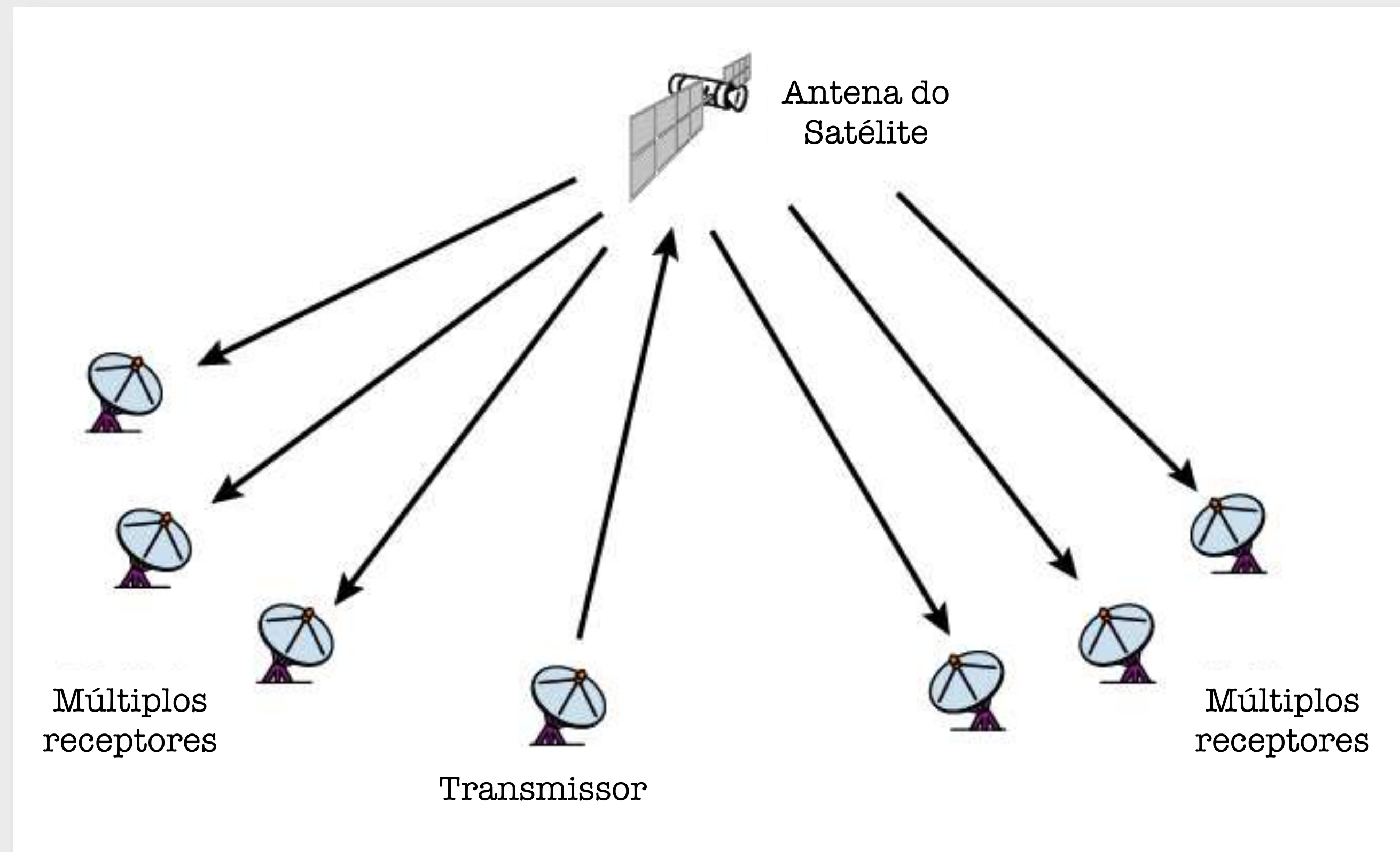
# Aplicações

- Distribuição de sinais de TV (PBS e DBS)
- Transmissão de telefonia a longa distância
- Redes comerciais privadas normais e VSAT (**Very Small Aperture Terminal**)
- Posicionamento Global (**Navstar Global Positioning System**)

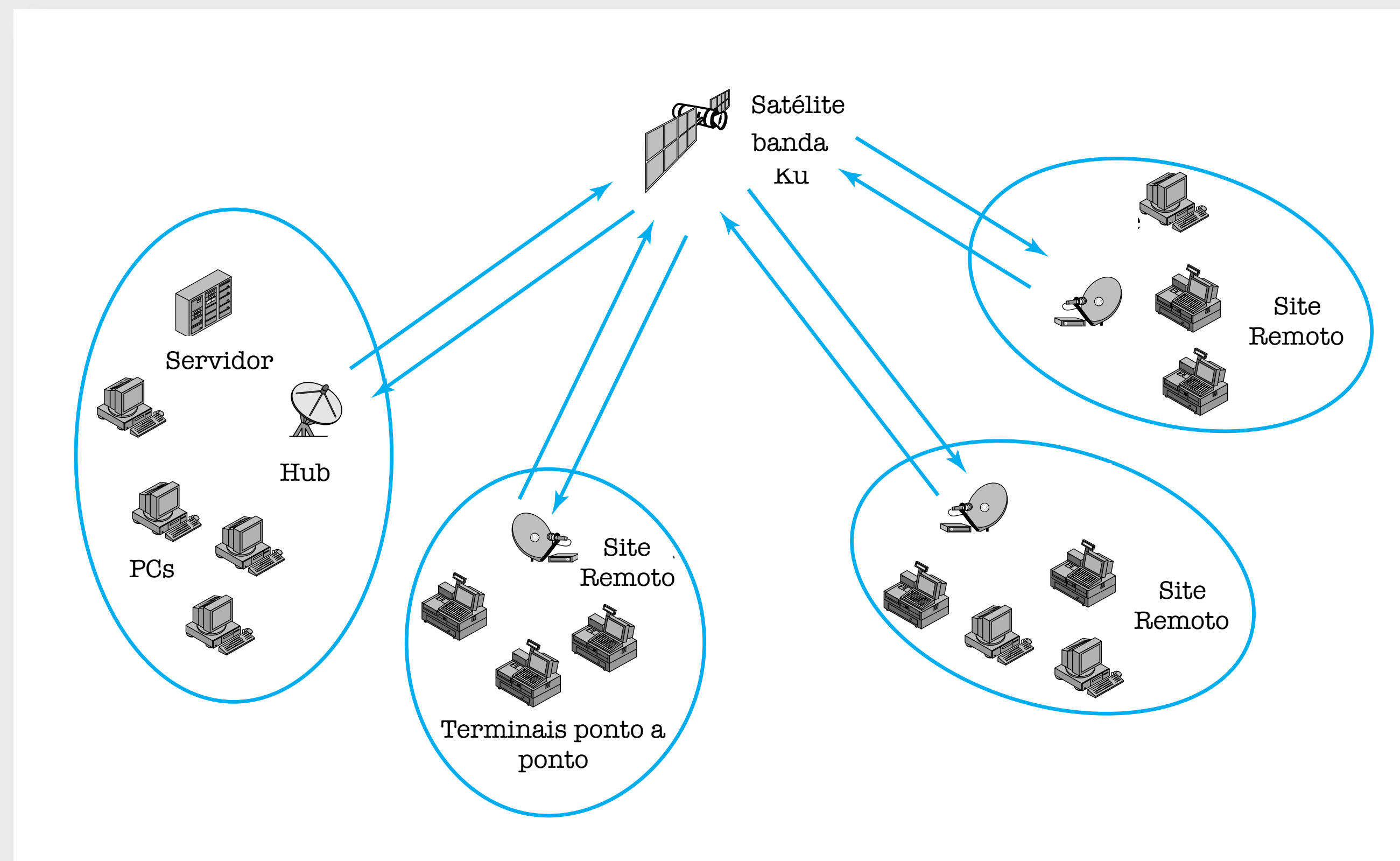
# Enlace de Satélite Ponto a Ponto



# Enlace de Satélite Broadcast



# Enlace VSAT





# Exemplos de Aplicações

- GlobalStar
- Iridium (descontinuado)
- Starlink
- Viasat
- HughesNet
- Google Loon (balões)





# Rádio Difusão

- Normalmente Omnidirecional
- Faixas de 30 MHz a 1 GHz (VHF e UHF)
- Faixas inferiores com outros usos
- Menos sensível à atenuação causada pela chuva
- Problemas com caminhos múltiplos, reflexões

# Bandas de Frequências

Banda	Características de Propagação	Utilização Típica
ELF (30 a 300 Hz)	Ondas de Superfície	Linhas de transmissão de potência, alguns sistema de controle domésticos
VF (300 a 3000 Hz)	Ondas de Superfície	Sistema telefônico analógico em banda base
VLF (3 a 30 kHz)	Ondas de Superfície	Navegação a longas distâncias, comunicação submarina
LF (30 a 300 kHz)	Ondas de Superfície	Navegação a longas distâncias, rádio-balizas de comunicação marinha
MF (300 a 3000 kHz)	Ondas de Superfície	rádio marítimo, rádio farol, radiodifusão AM
HF (3 a 30 MHz)	Ondas Espaciais; qualidade varia com a hora do dia, estação do ano, clima e frequência	Rádio amador; radiodifusão internacional; comunicações militares, aviões e navios

# Bandas de Frequências

Banda	Características de Propagação	Utilização Típica
VHF (30 a 300 MHz)	Radiovisibilidade; dispersão pela inversão térmica; ruído cósmicos	Televisão; radiodifusão FM e rádio two-way; comunicação aérea AM; suporte à navegação aérea
UHF (300 a 3000 MHz)	Radiovisibilidade; ruído cósmicos	Televisão; telefonia celular; radar; enlaces de microondas; sistemas de comunicação pessoal
SHF (3 a 30 GHz)	Radiovisibilidade; atenuação pela chuva acima de 10 GHz; atenuação pelo oxigênio e vapor d'água	Comunicações por satélite; radar; enlaces de microondas terrestres; loop local sem fio
EHF (30 a 300 GHz)	Radiovisibilidade; atenuação pelo oxigênio e vapor d'água	Experimental; loop local sem fio
Infravermelho (300 GHz a 400 THz)	Radiovisibilidade	Redes (LAN) com infravermelho; aplicações em equipamentos eletrodomésticos
Luz visível (400 a 900 THz)	Radiovisibilidade	Comunicações óptica