

Fibra óptica

Professor: Cleber Jorge Amaral

2016-2

Agenda

- ▶ Vantagens da fibra óptica
- ▶ História
- ▶ Propagação de luz
- ▶ Espectro de frequências
- ▶ Composição do cabo de fibra óptica
- ▶ Janelas de transmissão óptica
- ▶ Tipos de cabos de fibra
- ▶ Parâmetros ópticos

Introdução

- ▶ Os cabos de fibra óptica, ou simplesmente cabos ópticos, são cabos de pequenas dimensões e, em sua maioria, constituídos de sílica ou plástico, ambos materiais de extrema pureza e transparentes o suficiente para propagar um feixe luz por centenas ou milhares de metros.
- ▶ Diferente dos cabos de cobre, as fibras transmitem luz por meio do princípio de reflexão total, podendo ser gerada por laser ou LED.

Vantagens

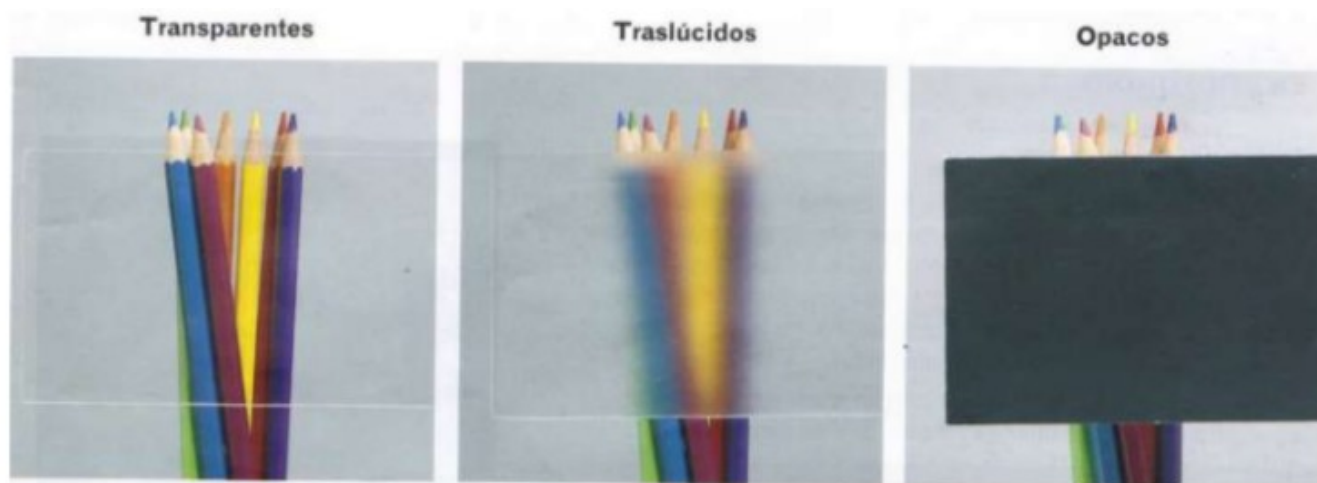
- ▶ Imunidade interferência de campos eletromagnéticos (EMI);
- ▶ Dimensões reduzidas (comparadas aos cabos UTP);
- ▶ Grande largura de banda;
- ▶ Lançamentos em áreas externas, em rios, lagos e oceanos;
- ▶ Elevadas taxas de transmissão;
- ▶ Cobre grandes distâncias.

História

- ▶ Criada por Narinder Kapany (1955)
 - São estruturas totalmente dielétricas com geometria cilíndrica, na qual a energia luminosa se propaga ao longo do núcleo (core)
 - As fibras ópticas atuam como condutores de radiação infravermelha
 - uma ou mais fibras são revestidas individualmente em plásticos, ou outro material, agrupadas e recobertas por uma capa, formando um cabo

Meios de propagação da Luz

- ▶ Transparente (passagem da Luz)
 - Permite a propagação regular da luz, o observador vê um objeto com nitidez através do meio. Ex.: ar, vidro, papel celofane, etc...
- ▶ Translucido (passagem parcial da Luz)
 - Permite propagação irregular da luz, o observador vê o objeto através do meio, mas sem nitidez.
- ▶ Opaco (a luz não passa)
 - Não permite que a luz se propague, não é possível ver um objeto através do meio.



Fenômenos de propagação

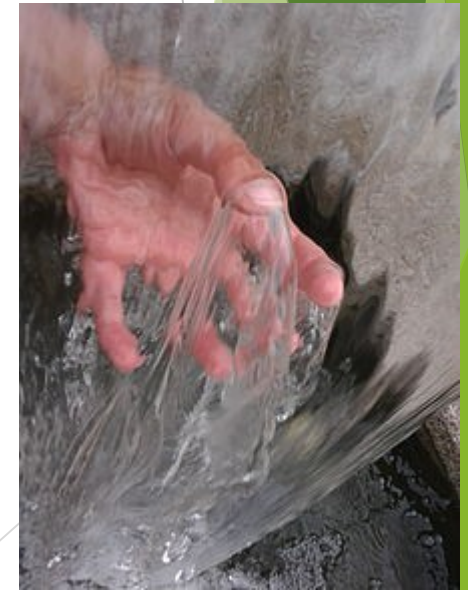
► Reflexão

- Retorno da onda incidente em direção à região de onde ela é oriunda, após entrar em contato com uma superfície refletora



► Refração

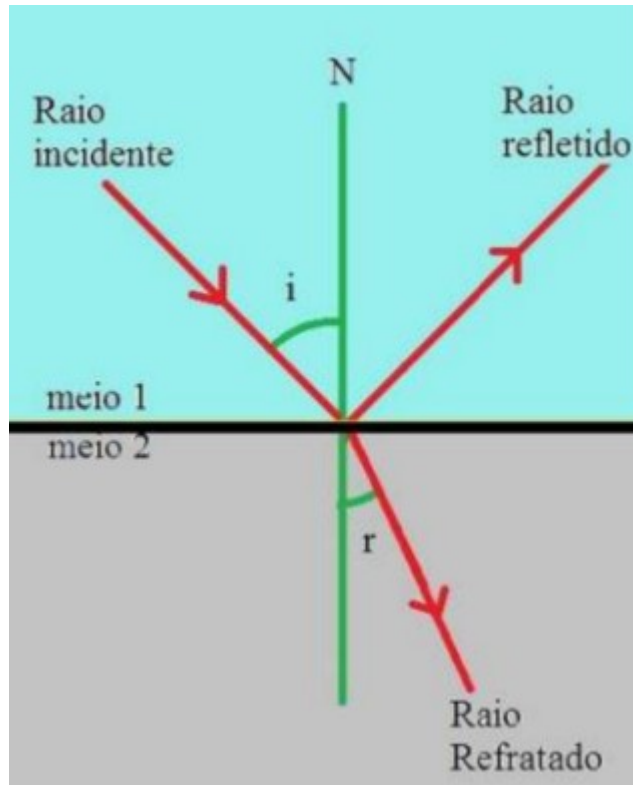
- A onda incidente atravessa a superfície de um outro meio formando um raio refratado que segue uma trajetória com dada inclinação



Fenômenos de propagação

- ▶ Índice de refração é dado por c / v (velocidade da luz no vácuo dividido pela velocidade da luz no meio)

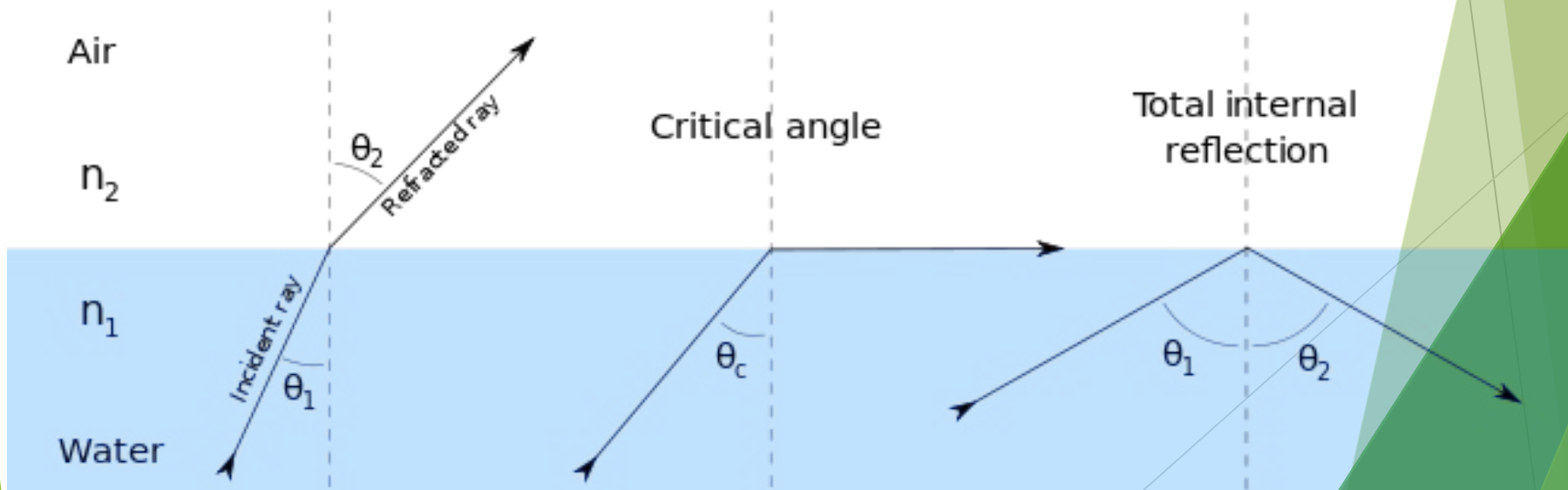
$$n = \frac{c}{v}$$



Material	n
Vácuo	1
Ar seco (0°C, 1atm)	1,0003
Gás carbônico (0°C, 1atm)	1,0004
Gelo (-8°C)	1,31
Água (20°C)	1,333
Etanol (20°C)	1,362
Tetracloroeto de carbono	1,466
Glicerina	1,47
Monoclorobenzeno	1,527
Vidros	1,55
Diamante	2,417
Sulfeto de antimônio	2,7

Lei de Snell-Descartes

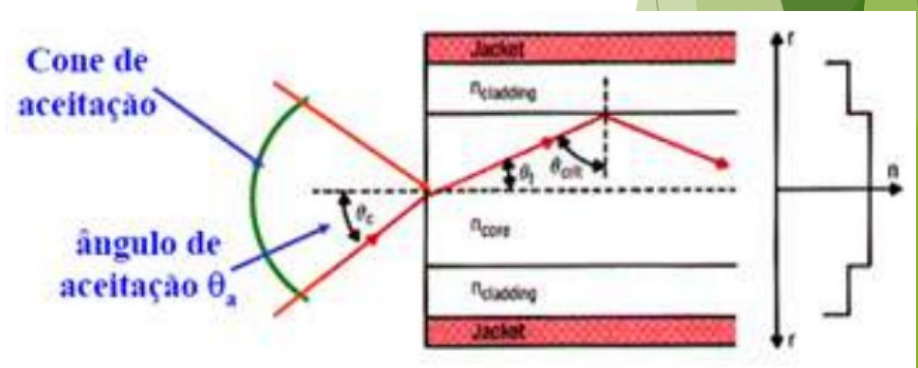
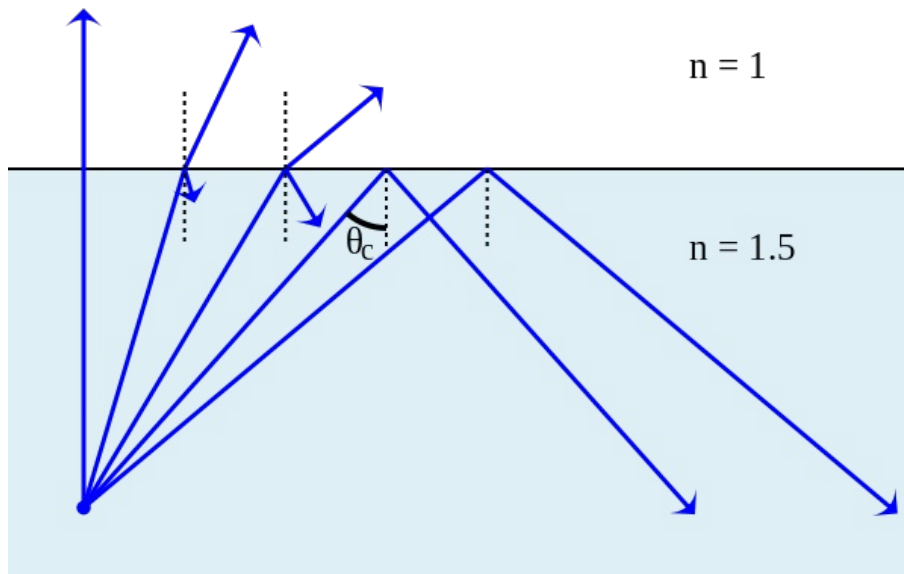
- ▶ Quando a luz viaja de um meio com índice de refração maior para um com índice menor
- ▶ O maior ângulo de incidência possível que ainda resulta em um raio refratado é chamado de ângulo crítico; nesse caso o raio refratado viaja ao longo da fronteira entre os dois meios.
- ▶ Para cada meio e para o raio de incidência ou refratado, é constante o produto do seno do ângulo de incidência ou do ângulo de refração e o índice de refração do meio em que este raio se encontra.



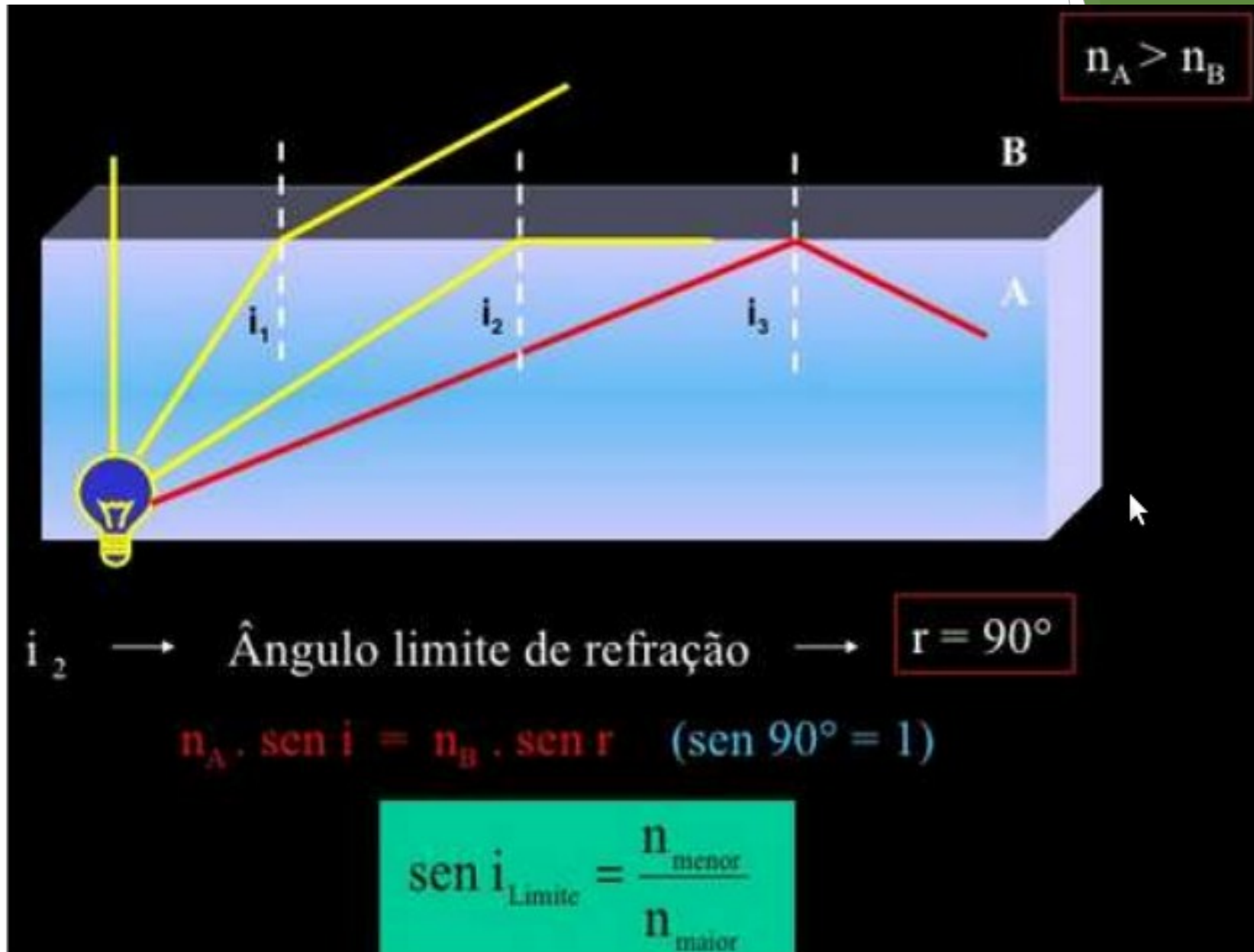
Lei de Snell-Descartes

- Para cada meio e para o raio de incidência ou refratado, é constante o produto do seno do ângulo de incidência ou do ângulo de refração e o índice de refração do meio em que este raio se encontra.

$$n_A \cdot \text{sen } \theta_A = n_B \cdot \text{sen } \theta_B$$

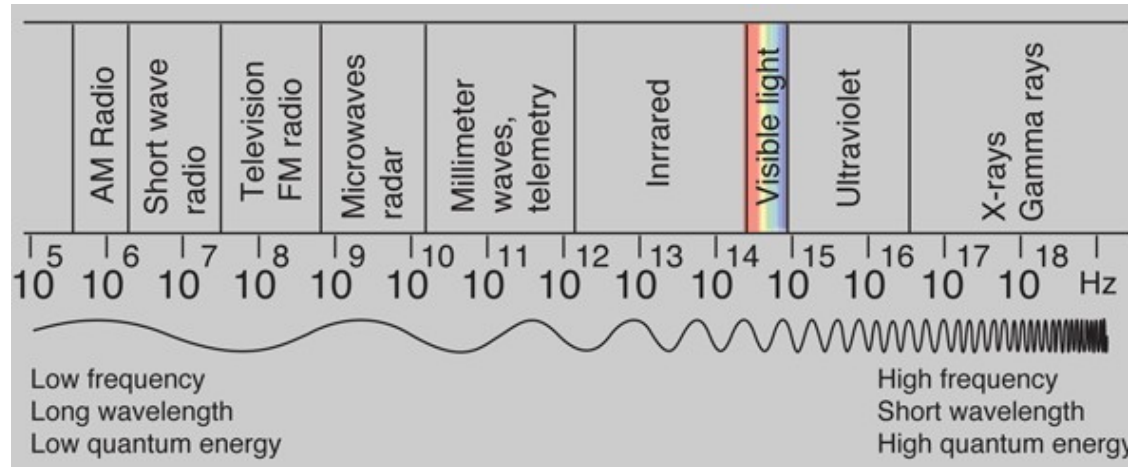


Lei de Snell-Descartes

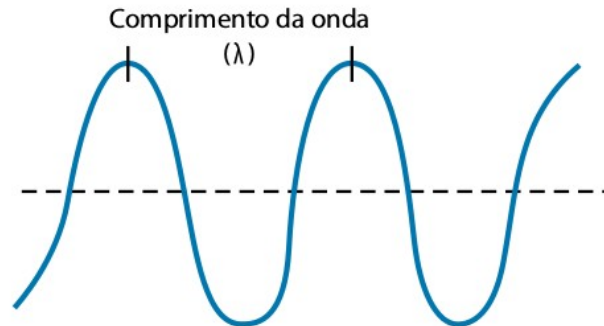


Espectro

- ▶ Infravermelho: 1 mm a 750 nm (0,3 a 400 THz)



- ▶ Fibra óptica: 1600 a 750 nm (187 a 400 THz)
- ▶ As dimensões das fibras variam de acordo com o tipo da fibra óptica, seus núcleos podem variar de 7 μ m até 200 μ m e a casca de 125 μ m até 240 μ m.



Composição

- ▶ Plástico ou Vidro, ambas com sílica (dióxido de silício ou SiO_2)
- ▶ Quartzo, Areia, Plástico e Gases
 - dopagem que dá os diferentes índices de refração no núcleo e casca

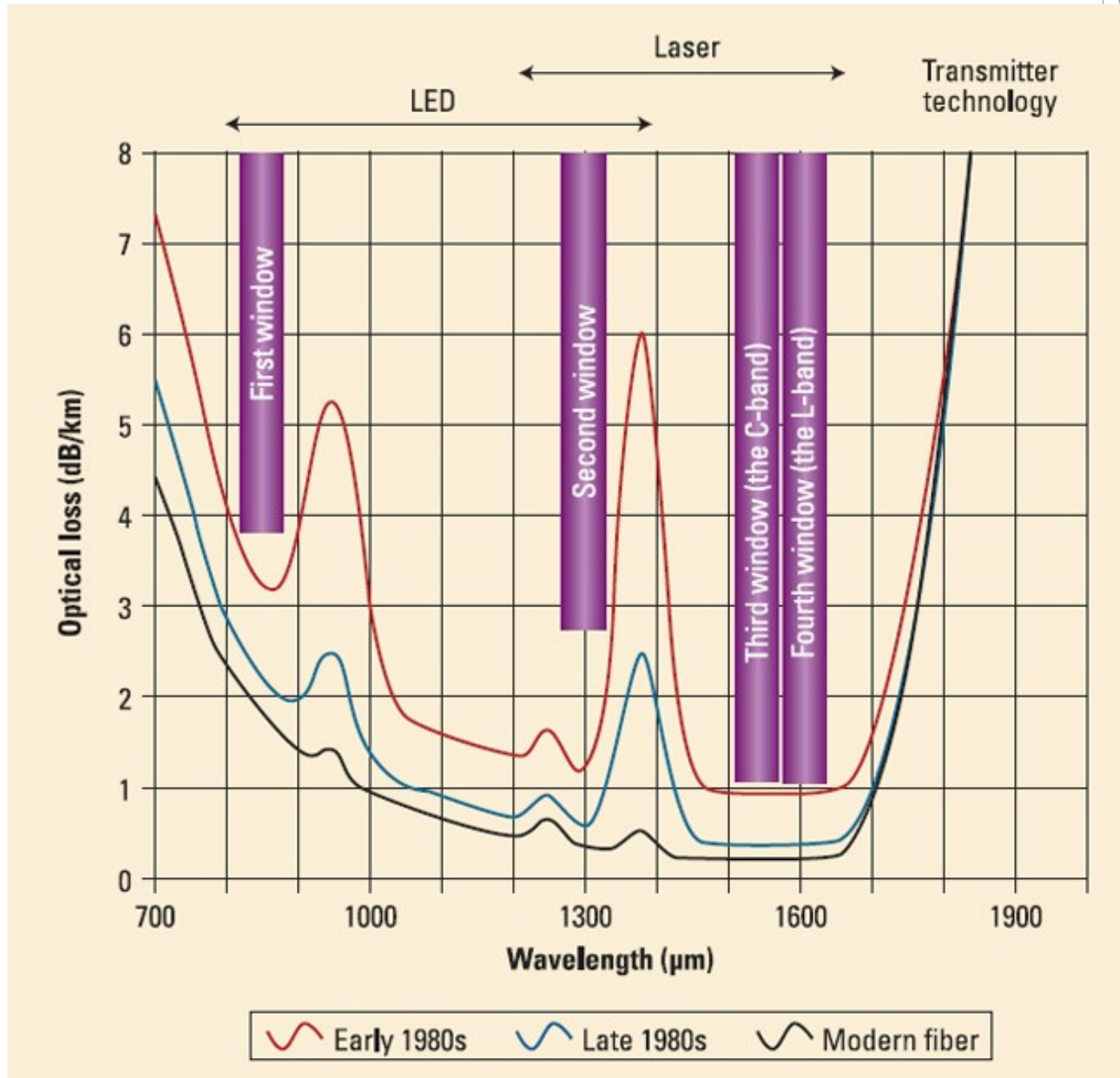


Composição

- ▶ Fibras tanto monomodo e multimodo, apresentam as seguintes composição básica:
 - Cabo e demais revestimentos de proteção.
 - Capa (revestimento primário): Proteção externa da fibra, dando resistância à tração mecânica.
 - Casca (camada de refração): Confina o sinal óptico transmitido dentro do núcleo.
 - Núcleo (Fibra óptica): local onde o sinal óptico se propaga ao longo do cabo.



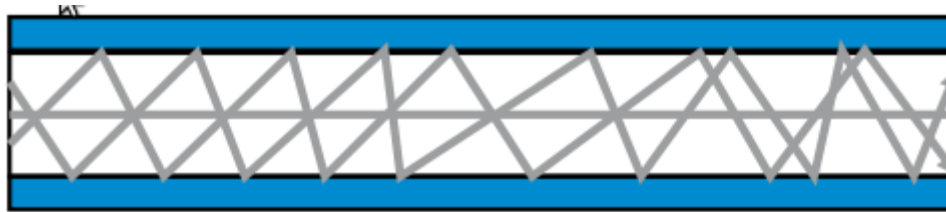
Janelas de transmissão



Tipos de fibras

► Multimodo

- O sinal se propaga de vários modos (multi).



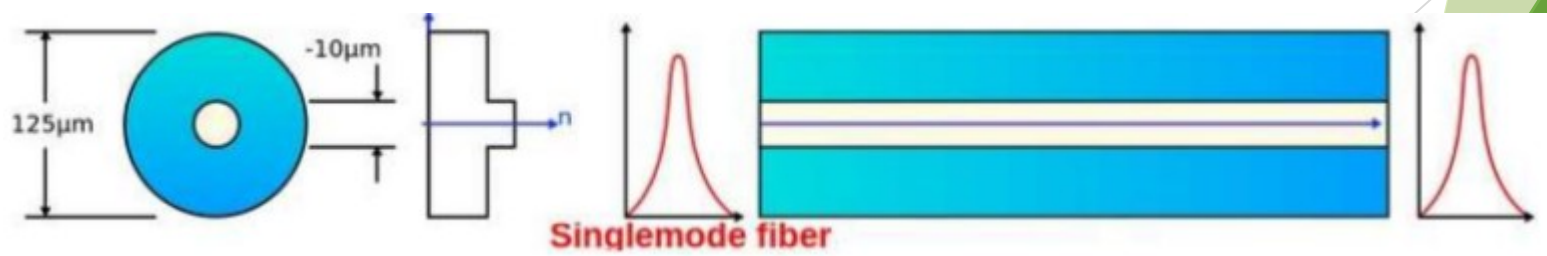
► Monomodo

- O sinal de luz se propaga em sentido único, ou seja, único modo (mono)



Fibras Monomodo

- ▶ Este tipo de fibra possui o núcleo com dimensões pequenas que variam entre 7 a 10 μm de núcleo (poucas vezes maior que o comprimento de onda) e 125 μm de casca.
- ▶ Sua maneira modo de propagação da luz é em um único modo e, devido à sua baixa atenuação, alcança grandes distâncias e uma grande banda passante.
- ▶ As dimensões típicas de fibras monomodo são 9 μm de núcleo e 125 μm para casca.
- ▶ Cone de aceitação: 10°

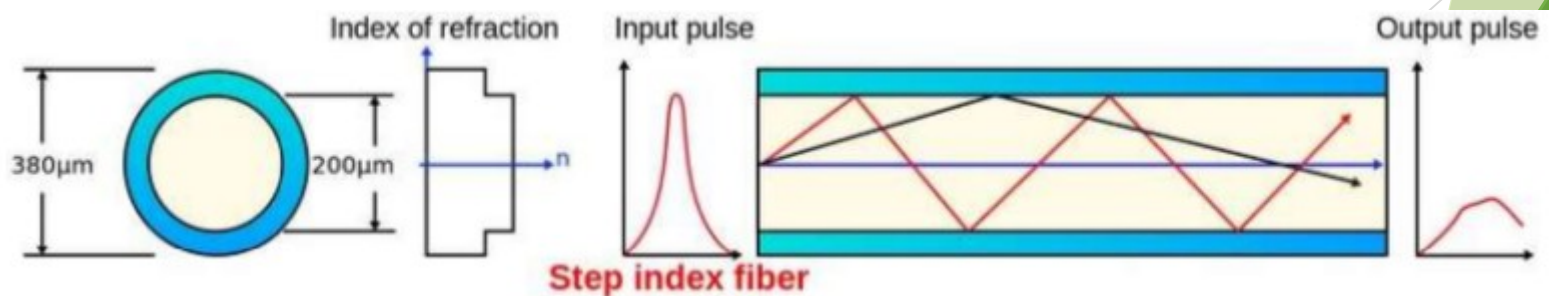


Fibras Multimodo

- ▶ Possuem dimensões que variam entre 50 a 62,5 μm de núcleo e casca de 125 μm (núcleos maiores foram fabricados anteriormente mas caíram em desuso após padronização 10BASE-F e FDDI)
- ▶ Distâncias limitadas se comparado com a monomodo
- ▶ A possibilidade de se estender a distância reduz a largura de banda para que a dispersão modal não interfira na qualidade da transmissão
- ▶ Nas fibras multimodos a excitação do sinal é realizada por LED, com comprimentos de onda de 500 a 850nm ou com VCSEL (tipo específico de laser) que opera numa janela de 850 a 1.300nm.

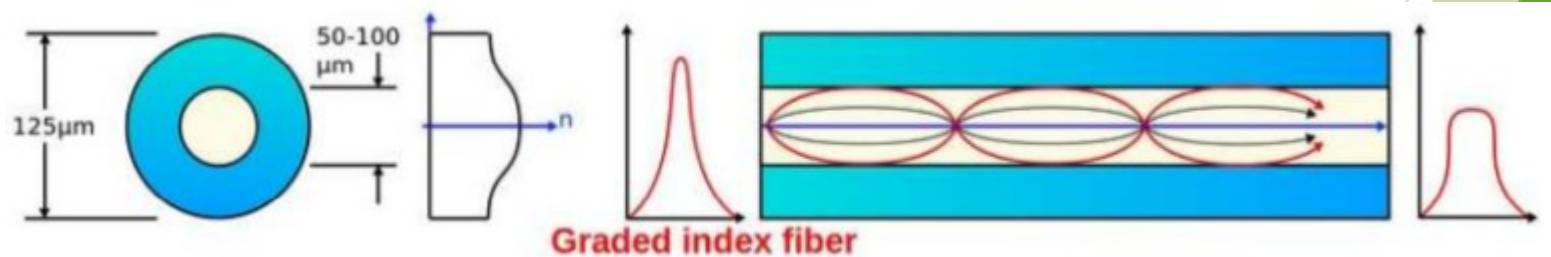
Fibras Multimodo: Índice Degrau

- ▶ Constituído de um único tipo de vidro, de baixa banda passante, quando comparadas às fibras graduais.
- ▶ Para uso em curtas distâncias (1km)
- ▶ Dimensões que variam de 50 a 400 μm .
- ▶ Estas fibras não estão sendo mais fabricadas.
- ▶ Cone de aceitação de 30° e 40°



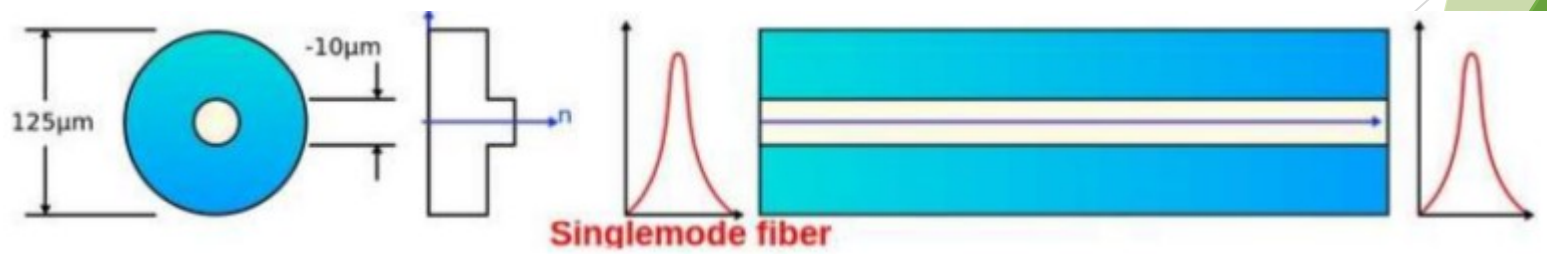
Fibras Multimodo: Índice Gradual

- ▶ Possuem o núcleo com dimensões de $62,5\mu\text{m}$ ou $50\mu\text{m}$.
- ▶ Diâmetro da casca de $125\mu\text{m}$
- ▶ A dopagem do núcleo é heterogênea
- ▶ O sinal luminoso percorre “caminhos” em diferentes índices de refração, onde há maior distância há também maior velocidade fazendo com que os sinais cheguem ao mesmo tempo.
- ▶ Pode chegar a 10 Gbps de taxa de transmissão
- ▶ Baixa atenuação
- ▶ Curtas distâncias ($\sim 4\text{km}$)
- ▶ Cone de aceitação de 30° e 40°

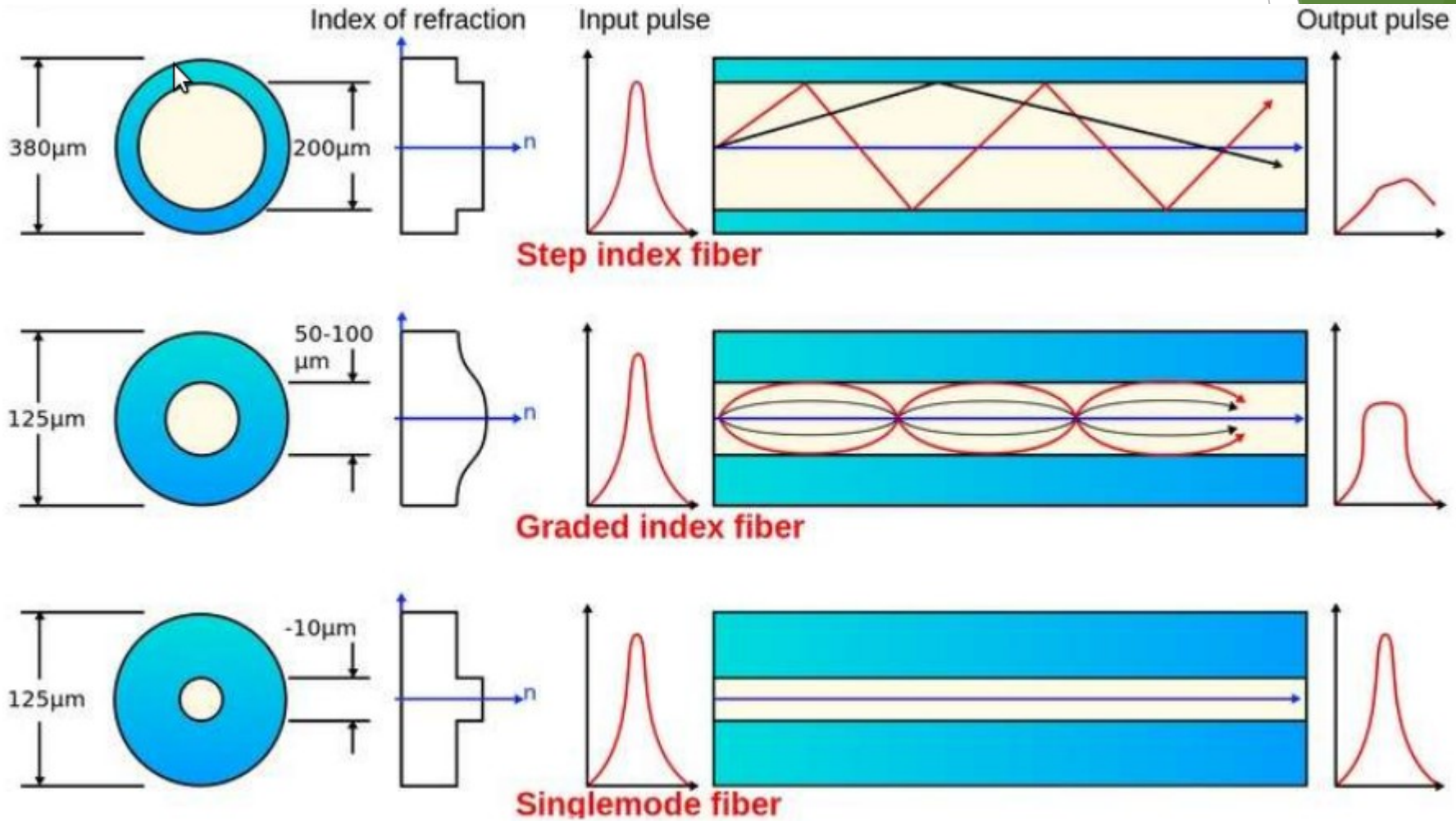


Fibras Monomodo

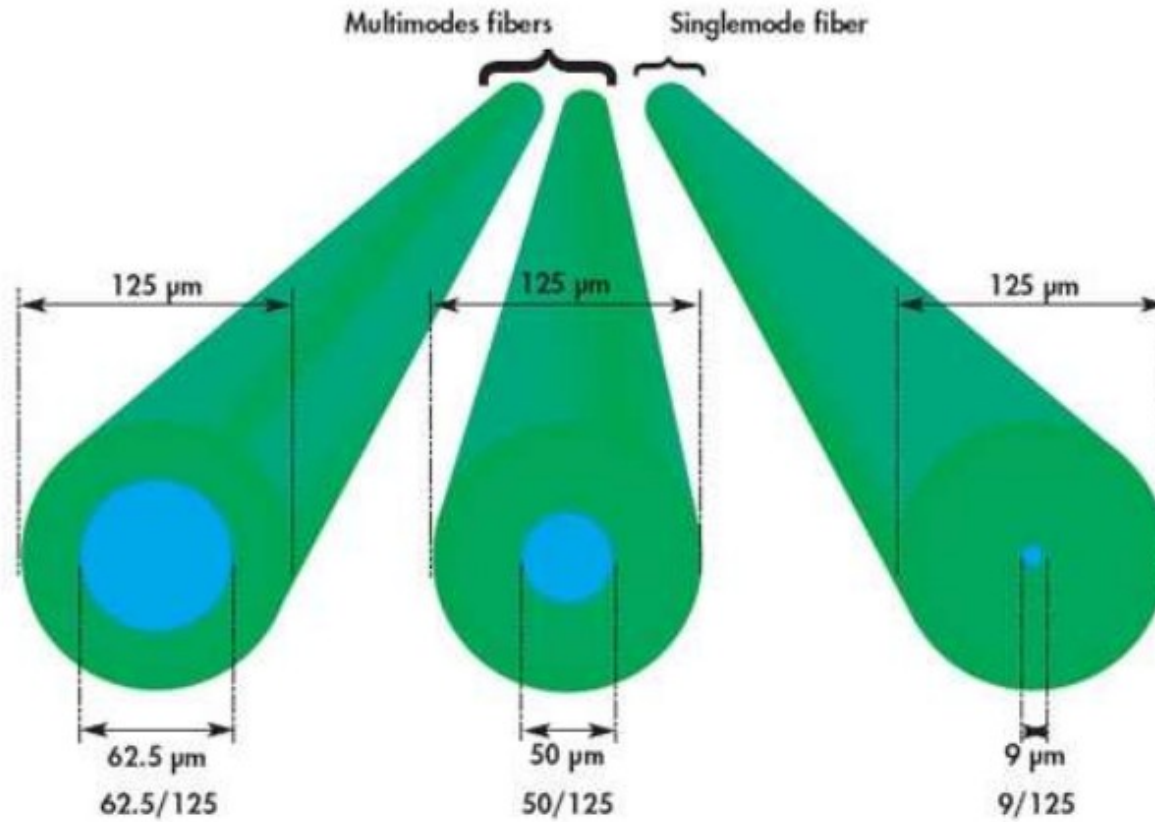
- ▶ Este tipo de fibra possui o núcleo com dimensões pequenas que variam entre 7 a 10 μm de núcleo e 125 μm de casca.
- ▶ Sua maneira modo de propagação da luz é em um único modo e, devido à sua baixa atenuação, alcança grandes distâncias (70km no 1000BASE-ZX) e uma grande banda passante.
- ▶ As dimensões típicas de fibras monomodo são 9 μm de núcleo e 125 μm para casca.
- ▶ Cone de aceitação: 10°



Fibras



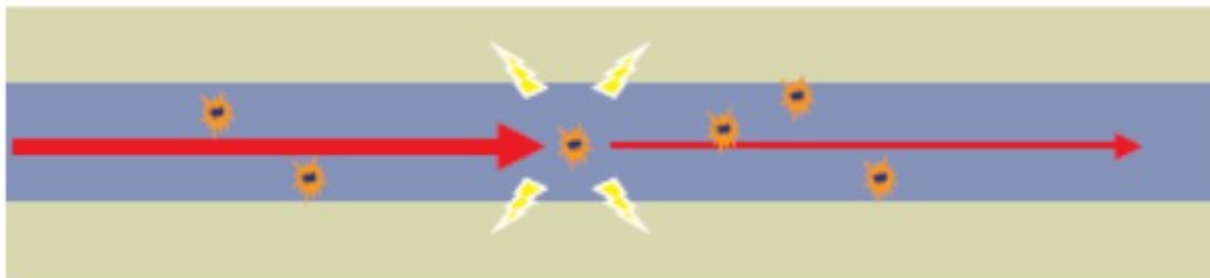
Fibras



Parâmetros ópticos

► Atenuação

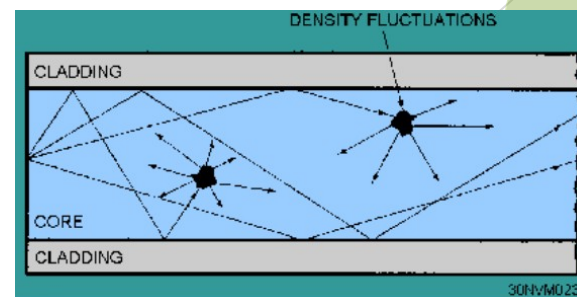
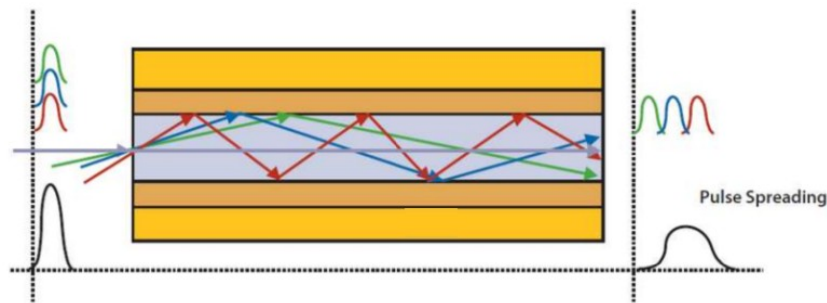
- Perda de potência do sinal propagado no interior da fibra óptica
- É resultado da absorção molecular da luz que trafega na fibra de vidro, fazendo com que o sinal chegue ao seu destino com uma potência (luminosidade) mais baixa que aquela inserida no transmissor
- Luz é absorvida por impurezas e convertida em energia de vibração ou calor
- Medida em decibel por quilômetro (dB/Km).



Parâmetros ópticos

► Dispersão

- Separação da onda em vários espectros de frequência.
- A divisão óptica de todos os componentes que compõem o feixe de luz, gerando um sinal composto por diversas frequências distintas.
- Durante a transmissão de dados por uma fibra óptica, esse efeito causa o “alargamento de bits”, provocando erros de interpretação do sinal no receptor.
- Medida em ps/nm.km (picosegundo/nanometro*km)



NBR 14565

► Atenuação de canal

Tabela 22 — Atenuação de canal

Atenuação de canal dB				
Canal	Multimodo		Monomodo	
	850 nm	1 300 nm	1 310 nm	1 550 nm
OF-300	2,55	1,95	1,80	1,80
OF-500	3,25	2,25	2,00	2,00
OF-2000	8,50	4,50	3,50	3,50

OF-XXX: canais que suportam aplicação específica por ao menos XXX metros

- Para que o atraso de propagação esteja dentro dos limites aceitáveis, respeitadas os comprimentos máximos dos canais.

Vídeos

- ▶ Fabricação do núcleo e casca da fibra (Discovery Channel:2010)

<https://www.youtube.com/watch?v=D4nGPI6DTLw>

- ▶ Fabricação final de cabos de fibra óptica (Superior Essex:2012)

<https://www.youtube.com/watch?v=fjRqGKU9cUU>

- ▶ Vídeo introdutório sobre fibra óptica (Corning:2013)

https://www.youtube.com/watch?v=N_kA8EpCUQo

Banda passante das fibras

- ▶ Os cabos de fibra ótica multimodo devem seguir a seguinte classificação de desempenho:
 - OM1: largura de banda modal efetiva de 200 MHz.km a 850 nm
 - OM2: largura de banda modal efetiva de 500 MHz.km a 850 nm
 - OM3: largura de banda modal efetiva de 2.000 MHz.km a 850 nm
 - OM4: largura de banda modal efetiva de 4.700 MHz.km a 850 nm
- ▶ A fibra OM1 possui núcleo de 62,5 μm , enquanto as demais, 50 μm . Todas possuem casca de 125 μm .
- ▶ Os cabos de fibra ótica monomodo devem seguir a seguinte classificação de desempenho:
 - OS1: atenuação máxima de 1,0 dB/km em 1.310 nm e 1.550 nm
 - OS2: atenuação máxima de 0,4 dB/km em 1.310 nm, 1.383 nm e 1.550 nm

Fibra óptica - Conectores e acessórios

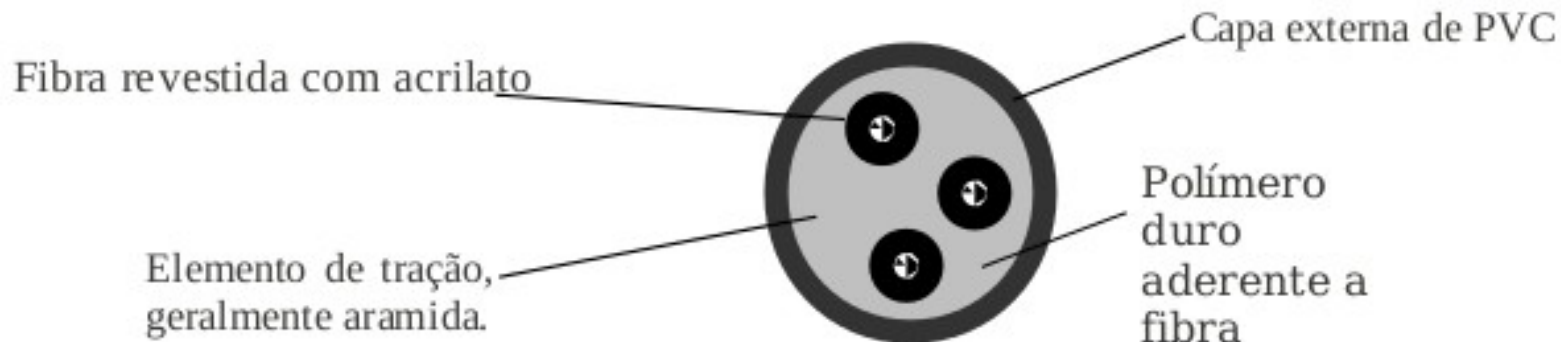
Agenda

- ▶ Tipos de cabos de fibra óptica
- ▶ Tipos de conectores
- ▶ Conectorização
- ▶ Adaptadores
- ▶ DIO
- ▶ Amplificador óptico
- ▶ Emendas ópticas
- ▶ Fontes de luz

Cabos compactos (tight)



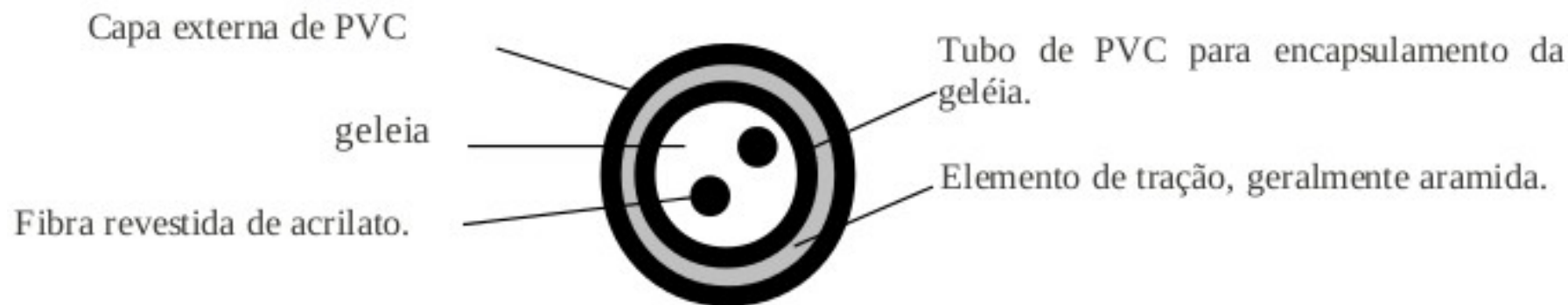
- ▶ Possui material duro entre a fibra e a capa externa
- ▶ Limita a flexão da fibra dentro do cabo
- ▶ Para utilização interna



Tipos: cabos soltos (loose)

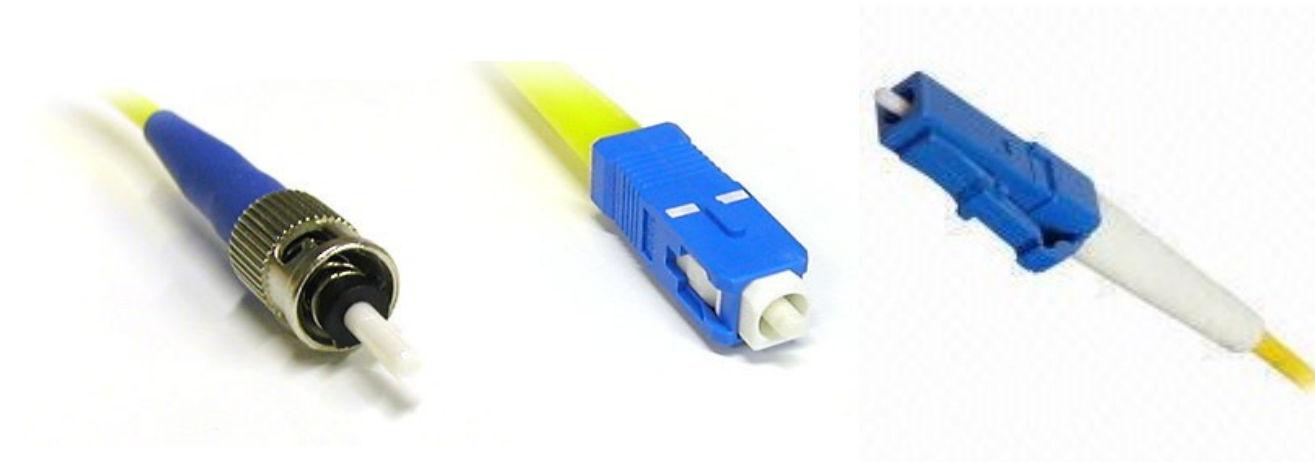


- ▶ Possui uma geleia entre a fibra e a capa externa permitindo contração e expansão
- ▶ Geleia evita entrada de umidade no cabo
- ▶ Utilizado em instalações externas subterrâneas e horizontais
- ▶ Não se deve entrar com mais de 15m na edificação pelo risco de propagação de chamas



Conectores

- ▶ Em fibra óptica há uma grande variedade de conectores que pouco a pouco estão sendo padronizados pelo que é recomendado pela norma. Os mais comuns de se encontrar no mercado nacional são o ST, SC e LC.



https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_fiber_connector

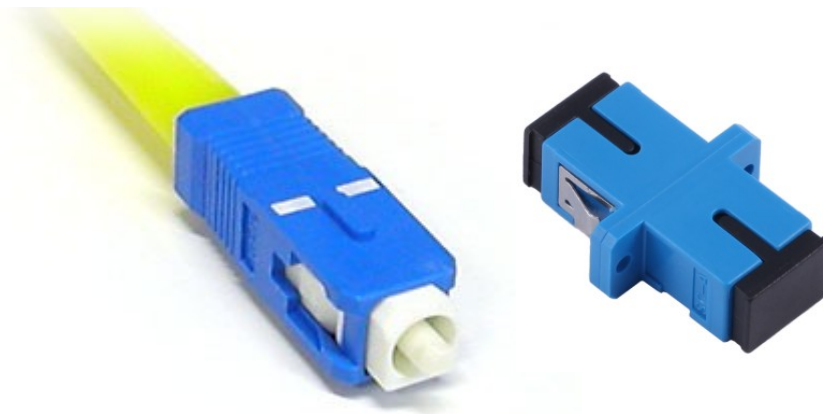
Conectores: ST

- ▶ Apresenta acoplamento tipo baioneta
- ▶ Engate rápido com trava por deslocamento (semelhante ao BNC)
- ▶ Fibra é colocada dentro do ferrolho (2.5 mm) e colada
- ▶ O ferrolho dá suporte mecânico e garante que a fibra fique na posição adequada para conexão
- ▶ Não é recomendado pela norma



Conectores: SC

- ▶ Recomendando pela norma EIA/TIA 568
- ▶ Fibra é colocada dentro do ferrolho (2.5 mm) e colada
- ▶ O ferrolho dá suporte mecânico e garante que a fibra fique na posição adequada para conexão



Conectores: LC

- ▶ Conectores mais compactos, facilitam a conexão de uma volume maior de cabos
- ▶ Fibra fica colada em um ferrolho de 1.25mm de diâmetro



Adaptadores

- ▶ Para compatibilização desta extensa variedade de conectores que se encontra no mercado há diversos tipos de adaptadores
- ▶ Há modelos de emenda e de “conversores mecânicos”



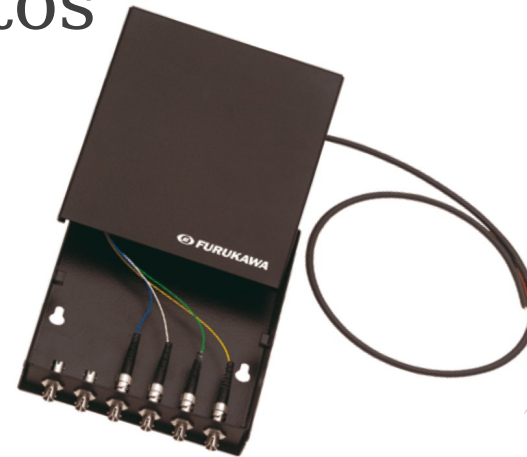
Conectorização em fibra

- ▶ A montagem de um conector é difícil de ser realizada em campo pois normalmente envolve uso de cola e um delicado polimento
- ▶ Para resolver esta questão normalmente se faz fusão com pigtaills



Distribuidor Óptico (DIO)

- ▶ DIOS são utilizados para acomodar o proteger a fibra nos distribuidores
- ▶ Evita esforços mecânicos e facilita as conexões
- ▶ Internamente a fibra percorre caminhos que respeitam a curvatura máxima
- ▶ São normalmente instalados em racks 19", mas há também outros formatos



Vídeos



▶ Cabos tight e loose

<https://www.youtube.com/watch?v=PeJP0zwp4cU>

▶ Conectores

https://www.youtube.com/watch?v=9T0AzeWM_F4

▶ Montagem de um conector

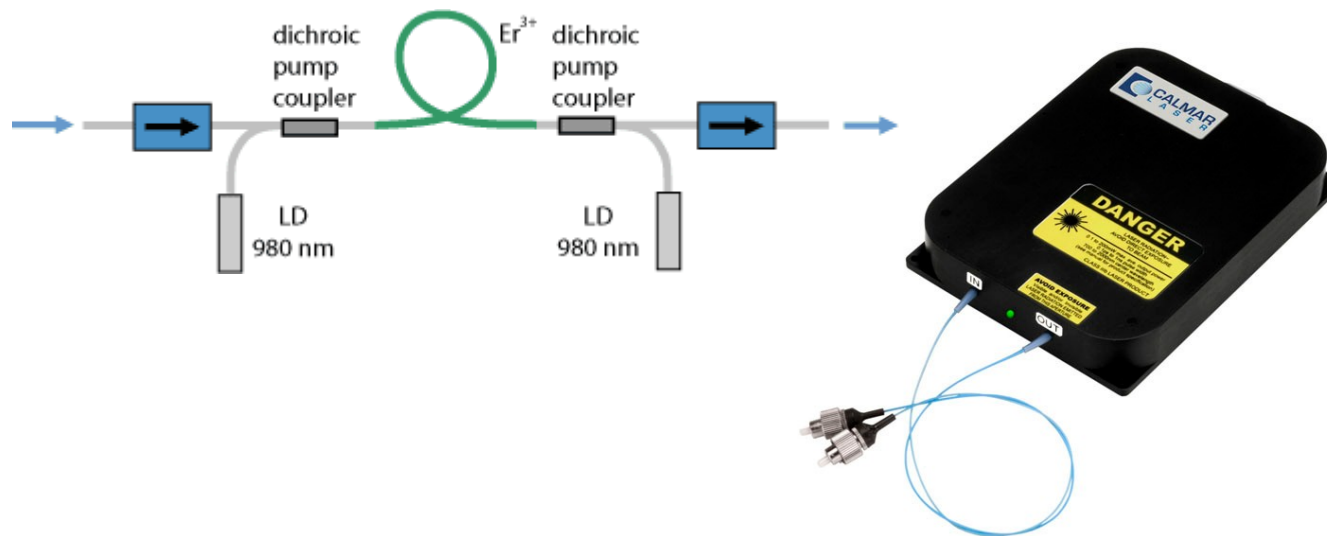
<https://www.youtube.com/watch?v=OosMQHQIY40>

Amplificador Óptico

- ▶ Os amplificadores com dopagem de érbio - EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifier) são bastante comuns, realizam a amplificação unicamente no domínio óptico
- ▶ Há ainda outros tipos de amplificadores como SOA (Semiconductor Optical Amplifier) e Raman

Erbium-Doped Fiber Amplifier

- ▶ Fontes de luz com comprimentos de 980 nm e 1450 nm excitam os íons de érbio (Er^{3+}) que liberam fótons que fortalecem o sinal recebido
- ▶ A configuração pode ser de aplicação de luz para em apenas um sentido ou ambos (no sentido do sinal e no sentido oposto)



Emendas ópticas

- ▶ A realização de emendas se faz necessário por diversos motivos entre eles para conectorização (usando pigtail), alongamento de um segmento e reparo de rompimento.
- ▶ O processo segue por padrão os seguintes passos
 - Decapagem do cabo
 - Limpeza da fibra
 - Clivagem

Emendas mecânicas

- ▶ São emendas que acondicionam as extremidades em uma luva que possui um gel que permite a passagem da luz com baixa perda
- ▶ São práticas mas devido a perda ser mais elevada normalmente são utilizadas em casos de emergência servindo de paliativo até substituição por emenda de fusão



Fusão de fibra óptica

- ▶ Funde duas extremidades da fibra, é um processo que permite emendas com baixas perdas (na ordem de 0.01dB)
- ▶ Algumas máquinas permitem a realização do processo quase que automático, com funções de descascar, clivar, fundir e aquecer a luva de emenda.



Fontes de luz

► LED

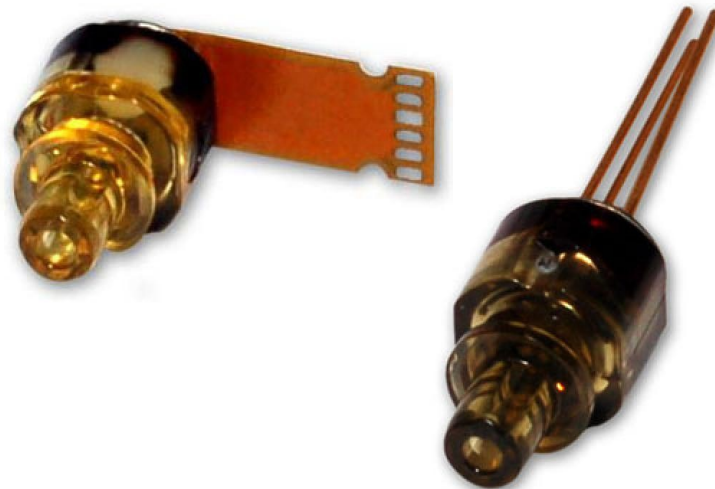
- Light Emitting Diode
- Comprimento de onda de 850 nm e 1310 nm
- Vida útil maior
- Spot size superior a 100um
- Taxa de transmissão limitada a 622 Mbps



Fontes de luz

► VCSEL

- Vertical Cavity Surface Emmiting Laser
- Comprimento de onda de 850 nm e 1310 nm
- Baixo custo de fabricação
- Spot size de 30 a 40 μm
- Taxa de transmissão limitada a 10 Gbps



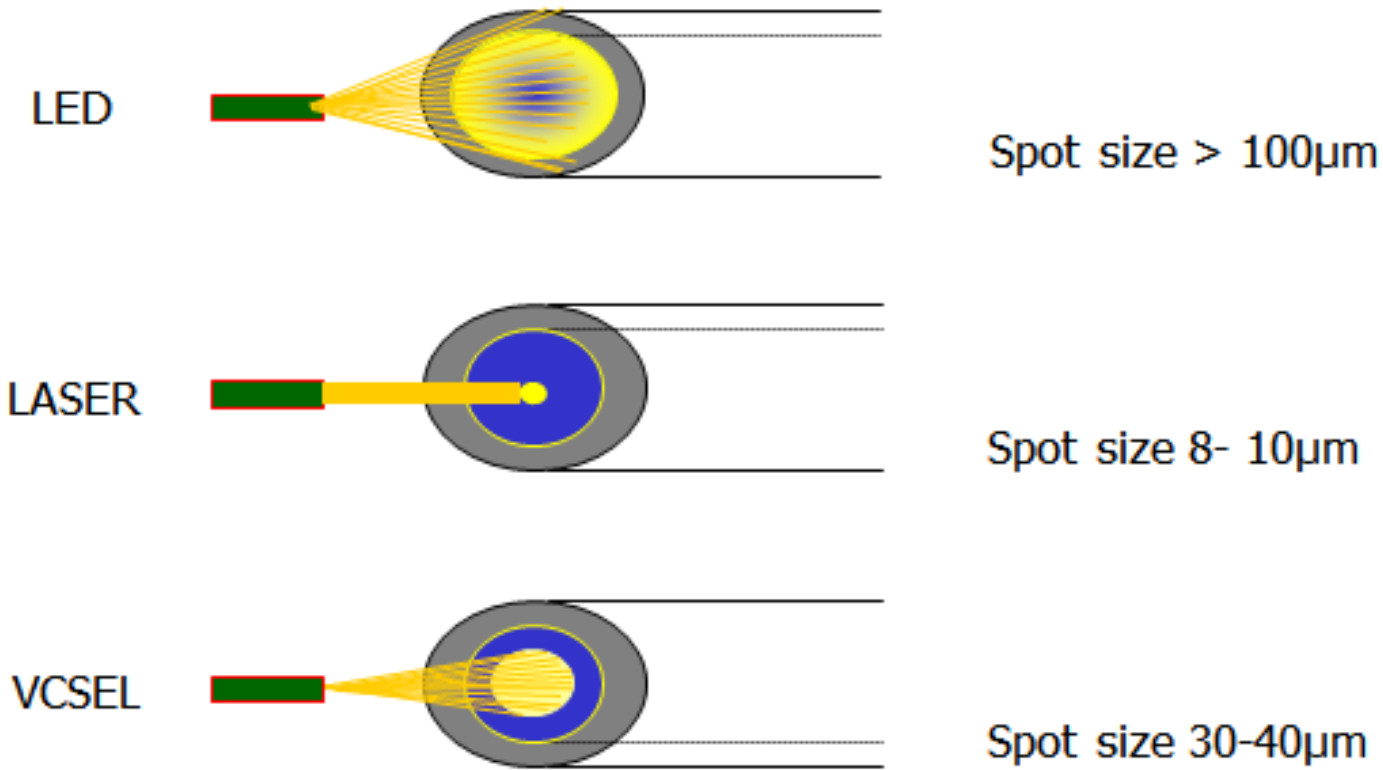
Fontes de luz

► LASER

- Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- Comprimento de onda de 1310 nm e 1550 nm
- Baixo custo de fabricação
- Spot size de 8 a 10 μm
- Taxa de transmissão limitada a 10 Gbps



Fontes de luz



LEDs, VCSELs and LASERs

Vídeos



- ▶ **Amplificador óptico EDFA**

<https://www.youtube.com/watch?v=4RBcELrTfiM>

- ▶ **Fusão com Swift F1**

<https://www.youtube.com/watch?v=EfrmwN2YV-4>

Obrigado pela
atenção e
participação!