

# FIBRA ÓTICA

## Introdução

O objetivo das comunicações óticas é transmitir um sinal através de uma fibra ótica até um equipamento recetor distante.

O sinal elétrico é convertido em luz no transmissor. No recetor a luz é convertida novamente num sinal elétrico.

As características das fibras óticas favorecem a sua utilização em 3 bandas espectrais (1ª, 2ª e 3ª janelas óticas de transmissão) contidas num intervalo de comprimentos de onda compreendido entre 850 e os 1700 nm (nanómetros).

Cada uma destas janelas possui uma largura de cerca de 220 nm, o que equivale a uma largura de banda de aproximadamente 25 THz em cada janela. Considerando 1 bit por cada Hz, a largura de banda disponível numa fibra ótica pode suportar uma capacidade total de 75 Tbps (75x10<sup>12</sup> bps). Esta capacidade não está ainda ao alcance dos dispositivos de recepção e transmissão.

A fibra ótica tem várias vantagens sobre outros meios de comunicação:

- O sinal pode ser enviado a longas distâncias (200 Km) sem regeneração;
- A transmissão não é sensível a perturbações eletromagnéticas;
- Os sistemas óticos possuem grande capacidade, bem maior do que os sistemas de pares de cobre e coaxiais;
- A fibra ótica é mais leve e pequena do que os pares de cobre e o cabo coaxial;
- Os cabos podem ter um grande número de fibras óticas numa área pequena, por exemplo um único cabo pode ter 288 fibras óticas;
- As fibras óticas são fiáveis, muito flexíveis e não são sensíveis a vibrações;
- A fibra ótica tem uma garantia de 25 anos (os equipamentos de comunicação via satélite têm só 10 anos de garantia);
- As temperaturas de operação das fibras óticas tipicamente variam entre os -40°C e os +80°C.

As fibras óticas são particularmente úteis em ambientes sujeitos a fortes campos eletromagnéticos, pois como já referimos são imunes a este tipo de interferências.

As fibras óticas também possuem vantagens do ponto de vista de segurança da informação, já que a escuta por derivação eletromagnética do sinal é impossível e a derivação física do sinal sem danificar a fibra e quebrar a ligação é virtualmente impossível.

As fibras óticas, no seu modo normal de funcionamento, não radiam qualquer sinal para o ambiente exterior. Assim, são normalmente imunes a qualquer tentativa de intrusão, bem como não podem ser responsabilizadas por perturbar, do ponto de vista da Compatibilidade Eletromagnética (CEM), os equipamentos eletrónicos circundantes.

As fibras óticas possuem também algumas desvantagens, nomeadamente:

- São necessários técnicos especializados na instalação, operação e manutenção de cablagens com fibra ótica. São necessárias técnicas especiais, nomeadamente no que concerne aos aspectos relacionados com a junção, terminação e ensaio;

- O custo de converter um sinal elétrico em ótico e de ótico em elétrico, ainda é muito mais caro do que transmitir o sinal elétrico diretamente em pares de cobre. Mas tudo está a mudar rapidamente;
- Por causa da grande capacidade que as fibras óticas apresentam, existe a tendência para colocar muita informação numa fibra só. O risco de acontecer uma catástrofe e a conseqüente perda de grandes quantidades de informação/comunicação são muito elevadas;

## Espectro eletromagnético

A luz é parte do espectro eletromagnético.

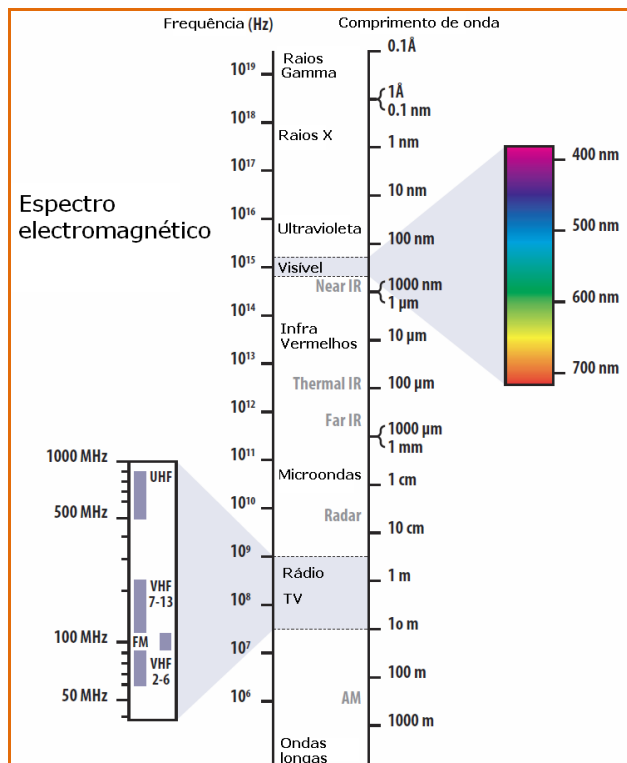


Figura 1 - Espectro Eletromagnético

Quando se fala do diâmetro de uma fibra ótica, do comprimento de onda da luz, da frequência da luz, ou da frequência de transmissão, temos que usar números muito grandes e números muito pequenos. Para ultrapassar este problema utilizam-se prefixos SI (Sistema Internacional) à frente da unidade em questão. Assim,

T	Tera	1 000 000 000 000	
G	Giga	1 000 000 000	
M	Mega	1 000 000	
k	Quilo	1 000	
	m	Mili	0,001
	μ	Micro	0,000 001
n	Nano	0,000 000 001	
p	Pico	0,000 000 000 001	

## Constituição da fibra ótica

A fibra ótica é constituída por uma vara muito fina de sílica (vidro), envolvida num revestimento protetor em acrílico.

A vara de vidro é formada por um núcleo central e por uma bainha envolvente.

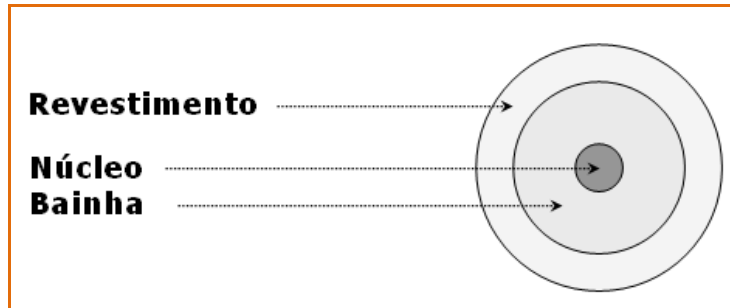


Figura 2 – Fibra ótica

**Núcleo** (Core) - As fibras óticas apresentam uma zona central onde o índice de refração é mais elevado do que na zona circundante. É no núcleo que se dá o guiamento da luz.

**Bainha** (Cladding) - Material que envolve o núcleo com um índice de refração mais baixo do que o primeiro. A bainha faz com que a luz permaneça no núcleo.

**Revestimento** (Coating) - Material plástico (acrílico em dupla camada) que envolve e protege mecanicamente a fibra.

O facto de o índice de refração da bainha ser inferior ao do núcleo, faz com que a luz introduzida numa das extremidades da fibra ótica seja conduzida, através do núcleo até à outra extremidade. Numa fibra ótica, não é possível separar o núcleo da bainha.

## Princípios de transmissão

Um raio de luz entra na fibra ótica num ângulo muito pequeno. A capacidade da fibra para receber luz através do núcleo é determinada pelo ângulo de aceitação (NA - Numerical Aperture). O raio de luz é refletido, quando ocorre uma mudança abrupta da direcção da luz, permanecendo a luz no núcleo da fibra ótica.

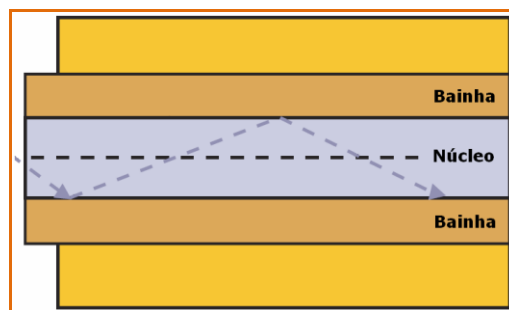


Figura 3 – Reflexão da luz numa fibra ótica

A refração acontece quando o raio de luz não é capturado pelo núcleo, perdendo-se pela bainha.

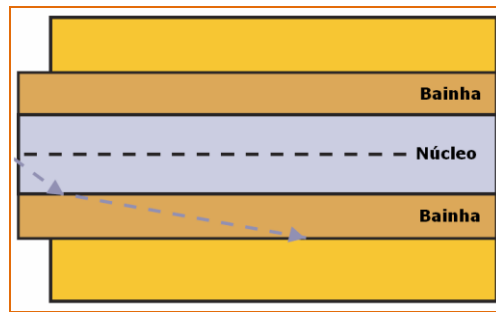


Figura 4 – Refração da luz numa fibra ótica

Vários raios de luz entram na fibra ótica em simultâneo, em diferentes ângulos e não seguem o mesmo percurso.

Ângulos mais pequenos resultam em percursos mais diretos. Cada percurso resulta do ângulo de incidência no ponto de entrada da luz na fibra ótica, criando um “modo”.

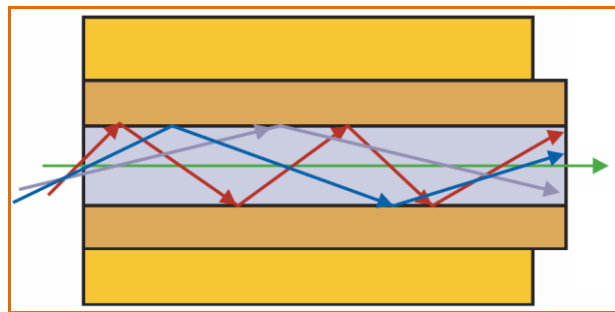


Figura 5 – Modos

A velocidade de propagação da luz é determinada pelo índice de refração (n) da fibra ótica.

$$n = c / v$$

c – velocidade da luz no vácuo

v – velocidade da luz no meio de transmissão

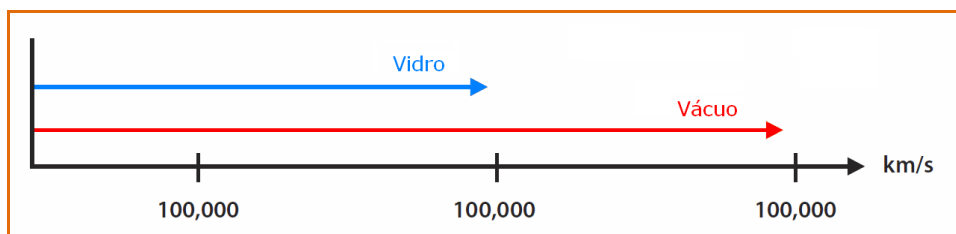


Figura 6 – Velocidade de propagação

Para as fibras óticas, os valores típicos do n são entre 1,45 e 1,55. Quanto mais alto for o índice de refração (n), mais baixa é a velocidade de transmissão.

A largura de banda determina a informação máxima que é possível de ser transmitida num canal (comprimento de onda) de uma fibra ótica a uma dada distância.

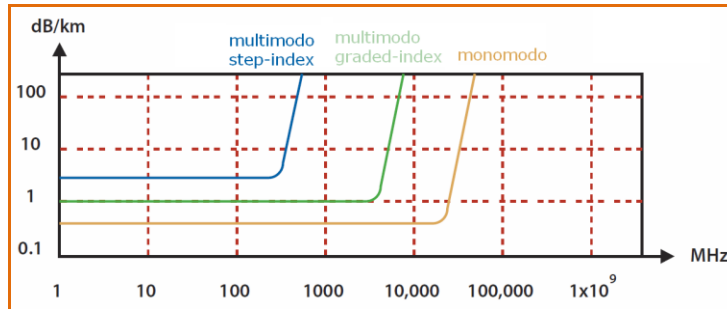


Figura 7 – Largura de banda

As fibras monomodo permitem transmitir mais informação do que as fibras ópticas multimodo.

Uma largura de banda de 20 MHz por Km, significa que podem ser transmitidos:

- 20 MHz à distância máxima de 1 Km;
- 10 MHz à distância máxima de 2 Km;
- 40 MHz à distância máxima de 0,5 km;

Quanto maior for a potência injectada numa fibra, maior será a distância que o sinal pode percorrer, em condições de ser detectado. A quantidade de luz que se pode injetar numa fibra depende essencialmente do diâmetro do núcleo e do ângulo de aceitação (NA) da fibra óptica.

### Tipos de fibra óticas

Os cabos de fibra óptica podem conter fibras dos seguintes tipos:

- Fibras OM1 (multimodo) – 62,5  $\mu\text{m}$
- Fibras OM2 (multimodo) – 50  $\mu\text{m}$
- Fibras OM3 (multimodo) – 50  $\mu\text{m}$
- Fibras OS1 (monomodo) – 9  $\mu\text{m}$

Estas designações OM e OS estão contempladas em normas internacionais, nomeadamente na EN 50173. Contudo, devemos salientar que as mesmas fibras apresentam outras designações, nomeadamente no organismo internacional ITU-T, tais como: G.650, G.652x, G.653, G.655, G.657, etc.

As fibras óticas mais bem normalizadas apresentam sempre um diâmetro exterior de 125  $\mu\text{m}$  e um revestimento de proteção mecânica com o diâmetro de 250  $\mu\text{m}$ .

No mundo das comunicações, as fibras que apresentam melhor desempenho (em atenuação e largura de banda) são as fibras monomodo. Estas fibras óticas têm sido mais utilizadas nos sistemas de comunicações para média e longas distâncias (entre algumas dezenas ou até mesmo milhares de quilómetros).

As fibras óticas multimodo apresentam um desempenho comparado pior. Estas fibras têm sido mais utilizadas nos sistemas de comunicações de dados (para distâncias não superiores a 500 m).

**Fibra ótica monomodo** – A dimensão do núcleo pode variar entre os 3 e os 10  $\mu\text{m}$ , sendo o diâmetro exterior da bainha de 125  $\mu\text{m}$ . Isso limita a propagação da luz a um único modo. Devido à reduzida dimensão do núcleo a transmissão de sinais nestas fibras não é, praticamente, afectada pelo fenómeno de dispersão modal.

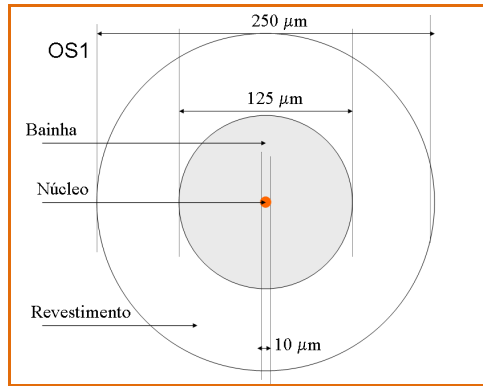


Figura 8 – Fibra ótica OS1

As fibras óticas monomodo são normalmente utilizadas para a transmissão de débitos elevados, acima dos 40 Gbps, e para a cobertura de grandes distâncias.

Nas fibras monomodo é particularmente difícil injectar luz, porque estas apresentam ângulos de aceitação (NA) e núcleos muito reduzidos. Daí o cuidado que deve existir na forma de preparar fibras monomodo e as fontes óticas utilizadas com estas fibras são sempre laser (pois emitem radiação num feixe muito estreito).

A capacidade pode ser aumentada, injectando múltiplos sinais em diferentes comprimentos de onda (WDM – Wavelength Division Multiplexing) na fibra ótica.

O principal inconveniente da utilização das fibras monomodo está relacionado com as reduzidas dimensões do núcleo destas fibras, o que torna bastante delicadas e dispendiosas as operações de conexão e interligação.

Os transmissores dos equipamentos que utilizam as fibras monomodo são mais caros, o que faz aumentar o preço dos equipamentos activos.

O valor do índice de refração (n) das fibras monomodo é tipicamente 1,465. O angulo de corte das fibras monomodo é de  $8,5^\circ$ .

**Fibra ótica multimodo** – A dimensão do núcleo é vulgarmente de 50 ou de 62,5 µm, sendo o diâmetro exterior da bainha de 125 µm.

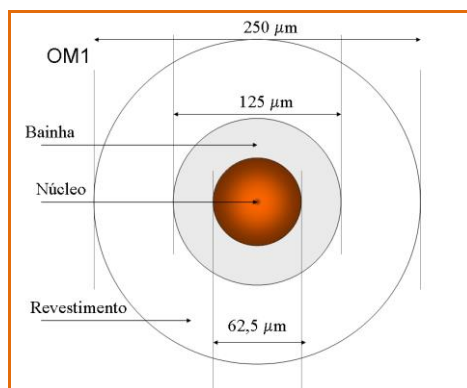


Figura 9 – Fibra ótica OM1

Este tipo de fibra ótica permite a transmissão de luz usando diferentes caminhos (modos), seguindo cada um, uma trajectória diferente através do núcleo.

O efeito da dispersão modal aumenta com o comprimento do cabo e a atenuação provocada limita o débito máximo suportado por uma fibra multimodo. Por este motivo a fibra ótica multimodo é utilizada apenas a distâncias reduzidas.

Este tipo de fibras tem a grande vantagem de facilitarem os processos de conexão e de interligação. Os transmissores para este tipo de fibra ótica são de baixo custo, por consequência os equipamentos activos são mais baratos.

Durante muitos anos, as fibras OM1 (com um núcleo de  $62,5\ \mu\text{m}$ ) foram abundantemente utilizadas em redes de dados. Hoje em dia estão a ser substituídas progressivamente pelas fibras OM2 e OM3 (com núcleos de  $50\ \mu\text{m}$ ).

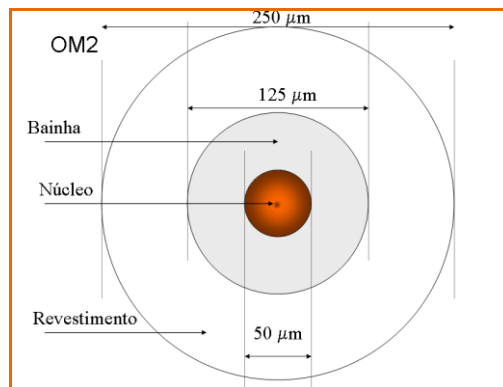


Figura 10 – Fibra ótica OM2

As fibras OM3, embora com as mesmas dimensões do núcleo das fibras OM2, são Laser Optimized e, por isso, suportam velocidades de transmissão mais elevadas.

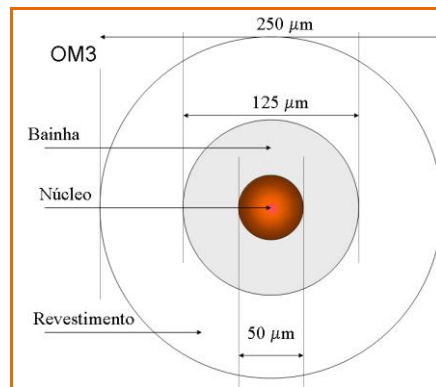


Figura 11 – Fibra ótica OM3

As fibras óticas multimodo Step-Index (SI) possuem um índice de refração uniforme no núcleo. Possuem grande atenuação devido ao efeito da dispersão modal e um ângulo de aceitação (NA) entre 0,2 e 0,5.

As fibras óticas multimodo Graded-Index (GI) possuem um índice de refração não uniforme no núcleo. O índice de refração diminui gradualmente do centro para a periferia do núcleo.

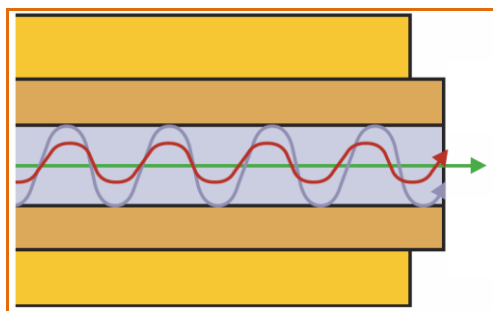


Figura 12 – Fibra ótica multimodo GI

A variação do índice de refração obriga o raio de luz a atravessar a fibra de forma semelhante a uma onda sinusoidal.

Os modos com o caminho mais longo a percorrer, fazem-no de forma mais rápida, os modos com os caminhos mais reduzidos, fazem-no de forma mais lenta. O objetivo é fazer com que os modos cheguem ao recetor, todos ao mesmo tempo, reduzindo assim a dispersão modal.

A atenuação típica de uma fibra ótica multimodo GI é:

- 3 dB / km para 850 nm
- 1 dB/ km para 1300 nm

O ângulo de aceitação (NA) de uma fibra ótica multimodo GI é tipicamente 0,2.

Os valores do índice de refração (n) de uma fibra ótica multimodo GI são:

- 1,49 para fibras de núcleo de 62,5  $\mu\text{m}$  a 850 nm
- 1,475 para fibras de núcleo de 50  $\mu\text{m}$  a 850 nm
- 1,465 para fibras de núcleo de 50  $\mu\text{m}$  a 1300 nm

A norma ITU-T G.651 define as características das fibras óticas multimodo 50 / 125  $\mu\text{m}$  GI.

<i>Standard</i>	<i>Comprimentos de onda</i>	<i>Aplicações</i>
OM1	850 e 1300 nm	Redes de dados
OM2	850 e 1300 nm	Vídeo e Redes de dados
OM3	Otimizado para 850 nm	Redes GigE e 10GigE (até 300 m)

Tabela 1 – Norma ITU-T G.651

### Comparação entre as fibras multimodo e monomodo

	<i>Multimodo</i>	<i>Monomodo</i>
Custo	Caro	Barato
Custo do equipamento de transmissão	Barato (LED)	Caro (Laser Diode)
Atenuação	Alta	Baixa
Comprimentos de onda	850 até 1300 nm	1260 até 1640 nm
Utilização	Fácil manuseamento	Conexões mais complexas
Distâncias	Redes locais (LAN) até 2 km	Até 200 km
Largura de banda	10 Gbps a curtas distâncias	Mais do que 1 Tbps no DWDM

Tabela 2 – Comparação entre as fibras multimodo e monomodo



DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing - é a tecnologia de transporte de grandes quantidades de tráfego de dados a longas distâncias em redes de telecomunicações. O uso da tecnologia DWDM tem provado ser a melhor maneira de combinar custo de transporte eficiente com funcionalidades avançadas, que pode lidar com a explosão da largura de banda da rede de acesso.

O DWDM é um novo sistema que multiplexa múltiplos comprimentos de onda (ou cores de luz) que serão transmitidos através de uma única fibra óptica. A capacidade do sistema óptico pode ser aumentada, ainda mais, utilizando-se a técnica da multiplexação por comprimento de onda. Multiplexar significa combinar sinais vindos de múltiplas fontes e transmití-los através de um único meio.

A fibra multimodo deverá ser utilizada em distâncias pequenas, normalmente dentro dos edifícios. Embora o preço deste tipo de fibra óptica seja mais caro, acaba por compensar investir neste tipo de fibra óptica porque os custos dos equipamentos de transmissão são mais baixos.

A fibra óptica monomodo deverá ser utilizada quando é necessário percorrer grandes distâncias e quando a velocidade de transmissão é elevada.

## Transmissão da luz

**Atenuação** - Faz diminuir o nível de potência e é expressa em dB. A atenuação numa fibra óptica é principalmente provocada por 4 factores:

- **Absorção** – As impurezas naturais da fibra óptica absorvem a luz;
- **Espalhamento de Rayleigh** (Rayleigh Scattering) – A luz espalha-se ao interagir com a fibra óptica, escapando-se pela bainha;
- **Micro curvaturas** (micro bends) – É um defeito na fibra óptica (curva), que provoca a reflexão da luz;
- **Macro curvaturas** (macro bends) – É provocada pela curvatura excessiva da fibra óptica, devido a factores externos;

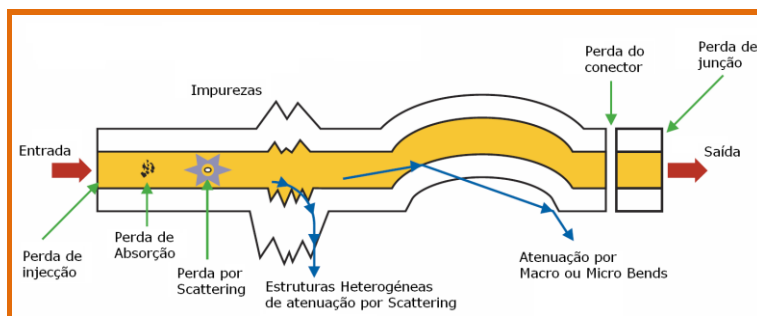


Figura 13 – Atenuação total de uma fibra óptica

Os conectores, junções mecânicas e por fusão, também adicionam atenuação ao sistema.

A absorção da luz feita é feita por impurezas que existem na fibra óptica, provocando atenuação.

A atenuação também é provocada pelo Espalhamento de Rayleigh (Rayleigh Scattering), que causa o espalhamento da luz em todas as direcções.

A Retrodifusão (Backscattering) é quando uma pequena porção de luz regressa.



As macro curvaturas são provocadas pela curvatura excessiva da fibra ótica, devido a fatores externos.

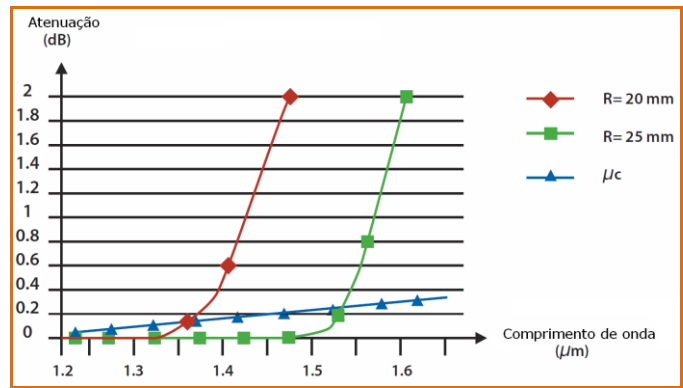


Figura 16 – Efeito de uma macro curvatura numa fibra ótica

A azul o traço de uma fibra ótica sem nenhuma macro curvatura, a verde uma fibra ótica com uma macro curvatura de 25 mm de raio e a vermelho uma fibra ótica com uma macro curvatura de 20 mm de raio. A atenuação provocada por uma macro curvatura com um raio mais apertado, provoca maior atenuação.

**Perdas de retorno - ORL (optical return loss)** - É a quantidade de luz reflectida para trás, atingindo o transmissor. O ORL é expressa em dB.

O ORL é causado por 2 efeitos fundamentais:

- Retrodifusão (Backscattering)
- Reflexões de Fresnel

O Backscattering é um efeito intrínseco da fibra ótica, como tal não pode ser eliminado. A intensidade depende principalmente do índice de refração (n) e do comprimento da fibra ótica. Em grandes distâncias o ORL causado pela Rayleigh scattering pode chegar aos 32 dB.

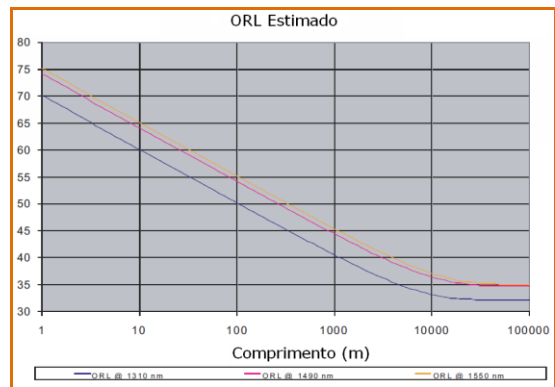


Figura 17 – ORL em função da distância e do comprimento de onda

As reflexões de Fresnel resultam da variação do índice de refração (n). Este fenómeno acontece nos conectores e resultam do mau alinhamento das fibras ou do afastamento das fibras (existência de ar entre as fibras óticas).

Num pequeno trajecto de fibra ótica, sem eventos reflectidos pelo meio, a reflexão de fim fibra é a que predominantemente contribui para o ORL total.

Num longo trajecto de fibra ótica, a reflexão de fim de fibra, pouca influência tem, sendo a luz Retrodifusão (Backscattering) quem mais contribui para o ORL total.

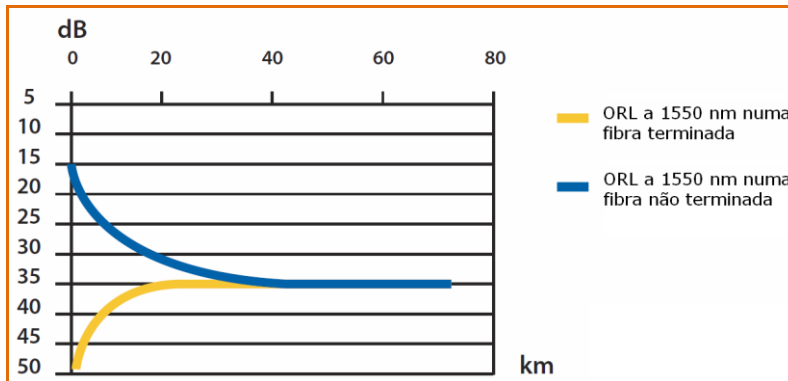


Figura 18 – ORL em função da distância

O ORL quanto mais alto for melhor. Por exemplo um ORL de 40 dB é mais desejável do que um de 30 dB.

Um ORL baixo pode provocar:

- Flutuações e instabilidade no transmissor, alterando a potência de saída;
- Avaria do laser;
- Interferências no recetor (ONT);
- Distorções nos sinais vídeo analógicos;
- Elevadas taxas de erros (BER muito alto);
- Degradação do OSNR (optical signal-to-noise ratio);

O ORL baixo diminui a performance dos sistemas de transmissão, principalmente a qualidade da imagem de vídeo nas redes de CATV (1550 nm) e FTTH. A medição do ORL nestes sistemas é fundamental.

Devem ser utilizados conectores com terminações APC, com ângulo de 8º, para reduzir ao mínimo o ORL.

### Códigos de cores dos cabos de fibra ótica

O código de cores definido pelo standard TIA/EIA é o seguinte:

<i>Posição</i>	<i>Cor</i>
1	Azul
2	Laranja
3	Verde
4	Castanho
5	Cinzento
6	Branco
7	Vermelho
8	Preto
9	Amarelo
10	Violeta
11	Rosa
12	Azul Turquesa
13-24	Repete cores 1-12 com traço preto

Tabela 3 – Código de cores TIA/EIA

O código de cores definido pela Portugal Telecom é o seguinte:

<i>Posição</i>	<i>Cor</i>
1	Branco
2	Vermelho
3	Verde
4	Azul
5	Preto
6	Amarelo
7	Laranja
8	Cinzento
9	Castanho
10	Violeta
11	Rosa
12	Azul Turquesa

Tabela 4 – Código de cores da Portugal Telecom

FIM