



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Faculdade de Engenharia elétrica
Fundamentos teóricos de Fibras ópticas
Comparação entre as recomendações *ITU*.

Trabalho de Fibras Ópticas

Fundamentos teóricos de Fibras ópticas
Comparação entre as recomendações *ITU*.

Aluno: Adriano Martins Moutinho.

Turma: 01

Professor: Alexandre Dal Forno.

Sumário:

1. Introdução teórica:.....	3
2. Vantagens e Desvantagens no uso de fibras óticas:	4
3. Funcionamento:	5
4. Transmissores e receptores óticos:	6
5. Tipos de Fibras:	7
5.1. Fibra Multimodo:.....	8
5.2. Fibra Monomodo:.....	9
6. Atenuação em fibras óticas:.....	10
6.1. Teste de atenuação espectral e janelas de transmissão:.....	12
7. Dispersão cromática:	13
8. Dispersão por modo de polarização (PMD):.....	13
9. Não-Linearidades da fibra:	14
9.1. Dispersamento Estimulado de Raman (SRS):.....	15
9.2. Dispersamento Estimulado de <i>Brillouin</i> (SBS):.....	15
9.3. Modulação de Fase Cruzada (XPM)	15
10. Comparação das fibras monomodo G.652, G.653 e G.655.....	16
10.1. Fibra de Dispersão não-deslocada (<i>USF</i> , recomendação G-652 da <i>ITU</i>).....	17
10.2. Fibra de Dispersão Deslocada (<i>DSF</i> , recomendação G.653 da <i>ITU</i>)	17
10.3. Fibra de Dispersão Não Zero (<i>NDSF</i> , recomendação G.655 da <i>ITU</i>).....	17
11. Conclusões:.....	18

1. Introdução teórica:

Uma fibra ótica é constituída de material dielétrico, em geral, sílica ou plástico, em forma cilíndrica, transparente e flexível, de dimensões microscópicas comparáveis às de um fio de cabelo. Esta forma cilíndrica é composta por um núcleo envolto por uma camada de material também dielétrico, chamada casca. Cada um desses elementos possui índices de refração diferentes, fazendo com que a luz percorra o núcleo refletindo na fronteira com a casca.



Figura 1 - Fibra Ótica.

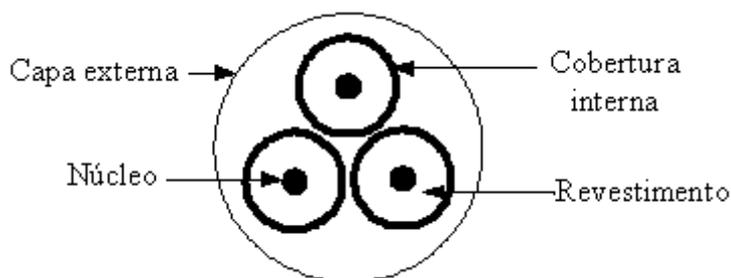


Figura 2 - Extremidade de um cabo com três fibras.

A fibra ótica utiliza sinais de luz codificados para transmitir os dados, necessitando de um conversor de sinais elétricos para sinais óticos, um transmissor, um receptor e um conversor de sinais óticos para sinais elétricos.

A transmissão por meio de fibras óticas é quase totalmente imune a interferências eletromagnéticas, não há necessidade de aterramento, pois a mesmas mantém os pontos eletricamente isolados um do outro.

A transmissão ótica está sujeita à dispersão espectral ou cromática. A luz que passa na fibra é feita de diferentes frequências e comprimentos de onda. O índice de refração difere para cada comprimento de onda e permite às ondas viajarem a diferentes velocidades. Os *LEDs*, que possuem um grande espalhamento de comprimento de onda, estão sujeitos a uma

dispersão de espectro considerável. Os lasers exibem uma luz quase monocromática (número limitado de comprimentos de onda) e não sofrem qualquer dispersão cromática significativa.

O padrão *10BaseF* refere-se à especificação do uso de fibras óticas para sinais *Ethernet*. O conector mais usado com fibras óticas é o conector *ST*, similar ao conector *BNC*. No entanto, um novo tipo está ficando mais conhecido, o conector *SC*. Ele é quadrado e é mais fácil de usar em espaços pequenos.

2. Vantagens e Desvantagens no uso de fibras óticas:

O uso de fibras óticas proporciona várias vantagens operacionais, mas também algumas desvantagens. Na tabela 1 pode-se encontrar alguns prós e contras do uso desta tecnologia:

Tabela 1 – Vantagens e Desvantagens do uso de fibras óticas:

Vantagens	Desvantagens
Perdas de transmissão baixa e banda passante grande: mais dados podem ser enviados sobre distâncias mais longas, desse modo se diminui o número de fios e se reduz o número de repetidores necessários nesta extensão, reduzindo o custo do sistema e complexidade.	Fragilidade das fibras óticas sem encapsulamento: deve-se tomar cuidado ao se lidar com as fibras, pois elas quebram com facilidade.
Pequeno tamanho e peso: vem resolver o problema de espaço e decongestionamento de dutos no subsolo das grandes cidades e em grandes edifícios comerciais. É o meio de transmissão ideal em aviões, navios, satélites, etc.	Dificuldade de conexões das fibras óticas: por ser de pequeníssima dimensão, exigem procedimentos e dispositivos de alta precisão na realização de conexões e junções.
Imunidade a interferências: não sofrem interferências eletromagnéticas, pois são compostas de material dielétrico, e asseguram imunidade a pulsos eletromagnéticos.	Acopladores tipo T com perdas muito grandes: essas perdas dificultam a utilização da fibra ótica em sistemas multiponto.
Isolação elétrica: não há necessidade de se preocupar com aterramento e problemas de interface de equipamento, uma vez que é constituída de vidro ou plástico, que são isolantes elétricos.	Impossibilidade de alimentação remota de repetidores: requer alimentação elétrica independente para cada repetidor, não sendo possível a alimentação remota através do próprio meio de transmissão.
Segurança do sinal: possui um alto grau de segurança, pois não irradiam significativamente a luz propagada.	Falta de padronização dos componentes óticos: o contínuo avanço tecnológico e a relativa imaturidade não têm facilitado o estabelecimento de padrões.
Matéria-prima abundante: é constituída por sílica, material abundante e não muito caro. Sua despesa aumenta no processo requerido para fazer vidros ultrapuros desse material.	Alto custo de instalação e manutenção.

Existem muitas aplicações para o uso de fibras ópticas, algumas delas são:

- **Sistemas de comunicação:**
 - Rede Telefônica: serviços de tronco de telefonia, interligando centrais de tráfego interurbano e interligação de centrais telefônicas urbanas.
 - Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI): rede local de assinantes, isto é, a rede física interligando os assinantes à central telefônica local.
 - Cabos Submarinos: sistemas de transmissão em cabos submarinos.
 - Televisão por Cabo (CATV): transmissão de sinais de vídeo através de fibras ópticas.
 - Sistema de Energia e Transporte: distribuição de energia elétrica e sistema de transmissão ferroviário.
 - Redes Locais de Computadores: aplicações em sistemas de longa distância e locais.

- **Sistemas sensores:**
 - Aplicações industriais: sistemas de telemetria e supervisão em controle de processos.
 - Aplicações médicas: sistemas de monitoração interna ao corpo humano e instrumentação cirúrgica.
 - Automóveis: monitoração do funcionamento do motor e acessórios.

3. Funcionamento:

O sinal luminoso é transmitido para a fibra óptica sob a forma de pulsos zeros e uns. As ondas passam através do núcleo do cabo, que é coberto por uma camada chamada cladding (figura 3). A refração do sinal é cuidadosamente controlada pelo desenho do cabo, os receptores e os transmissores. O sinal luminoso não pode escapar do cabo ótico porque o índice de refração no núcleo é superior ao índice de refração do cladding. Deste modo, a luz viaja através do cabo num caminho todo espelhado.

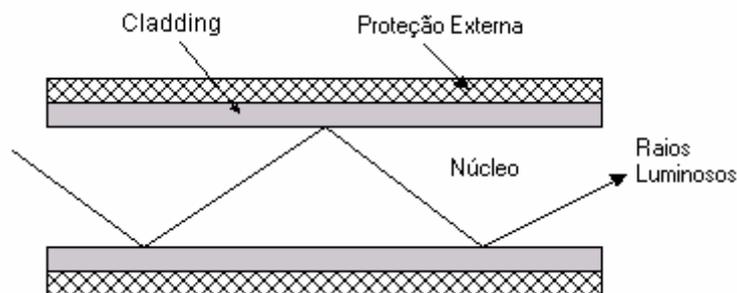


Figura 3 - Visão longitudinal de uma fibra ótica.

A fonte emissora da luz é usualmente um laser ou um *LED*. Os lasers proporcionam para uma grande largura de banda um rendimento da capacidade que é significativamente maior do que outros métodos. Por exemplo, um cabo de dois fios tem um parâmetro de distância de largura de banda de 1Mhz/Km, um cabo coaxial tem 20 Mhz/Km, e a fibra ótica tem 400 Mhz/Km. O sinal é emitido a partir de *microchips* compostos por materiais semicondutores que transmitem sinais com comprimentos de onda perto dos infra-vermelhos. Os detectores de luz de sílica são usados para receber os sinais e converter os raios luminosos nos pulsos elétricos zeros e uns originais que são usados no terminal, computador ou modem.

4. Transmissores e receptores óticos:

São responsáveis por converter sinais elétricos em sinais óticos que irão trafegar na fibra. A fonte ótica é modulada pela sua intensidade, através da variação da corrente elétrica injetada no gerador ótico. A fonte ótica é um semicondutor, e pode ser de dois tipos: LED (*Light-Emitting Diode*), que utiliza o processo de foto-geração por recombinação espontânea, e o diodo LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) que utiliza o processo de geração estimulada de luz.

Existem diferenças funcionais entre *LEDs* e *LASERs*, estas características estão mostradas na tabela 2.

Também chamados de fotodetectores, os receptores óticos são responsáveis pela conversão dos sinais óticos recebidos da fibra em sinais elétricos. Devem operar com sucesso nos menores níveis de potência óticas possíveis, convertendo o sinal com um mínimo de distorção e ruído, a fim de garantir o maior alcance possível.

Tabela 2 – Diferenças funcionais entre *LEDs* e *LASERS*.

Características	Laser	LED
Potência Ótica	alta	baixa
Custo	alto	baixo
Utilização	complexa	simples
Largura do Espectro	estreita	larga
Tempo de Vida	menor	maior
Velocidade	rápido	lento
Divergência na Emissão	menor	maior
Acoplamento na Fibra Mono-modo	melhor	pior
Sensibilidade a Temperatura	substancial	insignificante
Taxa de Dados	alta	baixa
Modo	Multimodo ou Monomodo	Multimodo
Distância	longa	pequena

Os fotodetectores mais utilizados são os foto-diodos, e os mais comuns são PIN e APD (*Avalanche PhotoDiode*). A tabela 3 mostra algumas diferenças funcionais entre os foto-diodos PIN e APD:

Tabela 3 – Diferenças funcionais entre foto-diodos *PIN* e *APD*.

Características	PIN	APD
Sensibilidade	menor	muito maior
Linearidade	maior	menor
Relação Sinal / Ruído	pior	melhor
Custo	baixo	alto
Vida Útil	maior	menor
Tempo de Resposta	maior	menor
Variação das Características conforme a Variação	menor	maior
Circuito de polarização	simples	complexo

5. Tipos de Fibras:

Os tipos básicos de fibras óticas são fibra Multimodo e fibra Monomodo, cujas características serão mostradas a seguir:

5.1. Fibra Multimodo:

Existem dois tipos básicos de fibra monomodo, a fibra de índice degrau, e a fibra de índice gradual.

A fibra de índice degrau, ou *step index* foi a primeira a surgir e é o tipo mais simples. Constitui-se basicamente de um único tipo de vidro para compor o núcleo, ou seja, com índice de refração constante. O núcleo pode ser feito de vários materiais como plástico, vidro, etc. e com dimensões que variam de 50 a 400 micrômetros, conforme o tipo de aplicação. A figura 4 mostra um exemplo deste tipo de fibra.

A casca, cuja função básica de garantir que a luz será guiada, pode ser feita de vidro, plástico e até mesmo o próprio ar pode atuar como casca (essas fibras são chamadas de *bundle*). Essas fibras são limitadas quanto à capacidade de transmissão. Possuem atenuação elevada (maior que 5 dB/km) e pequena largura de banda (menor que 30 MHz.km) e são utilizadas em transmissão de dados em curtas distâncias e iluminação.

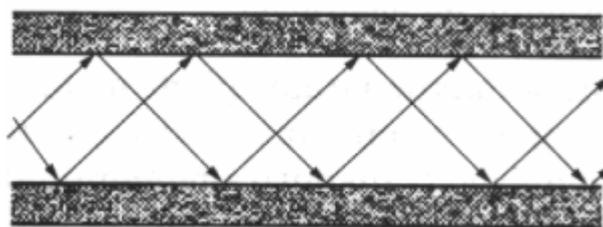


Figura 4 – Fibra multimodo com índice em degrau.

Já a fibra de índice gradual, ou *graded index*, tem seu núcleo composto por vidros especiais com diferentes valores de índice de refração, com o objetivo de diminuir as diferenças de tempos de propagação da luz no núcleo, devido aos vários caminhos possíveis que a luz pode tomar no interior da fibra, possibilitando que seja diminuída a dispersão do impulso, e aumentando a largura de banda passante da fibra óptica. A figura 5 mostra um exemplo de fibra multimodo com índice gradual:

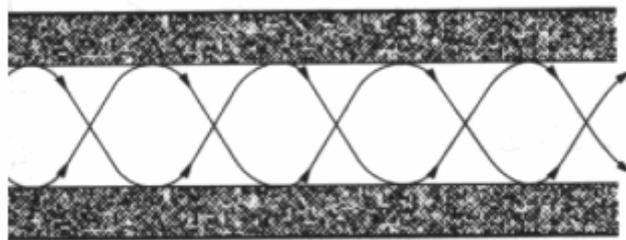


Figura 5 – Fibra multimodo com índice gradual.

Os materiais tipicamente empregados na fabricação dessas fibras são sílica pura para a casca e sílica dopada para o núcleo. Essas fibras apresentam baixas atenuações (3 db/km em 850 nm) e capacidade de transmissão elevada.

5.2. Fibra Monomodo:

Esta fibra, ao contrário das anteriores, é construída de tal forma que apenas o modo fundamental de distribuição eletromagnética é guiado, evitando assim os vários caminhos de propagação da luz dentro do núcleo, conseqüentemente diminuindo a dispersão do impulso luminoso.

Para que isso ocorra, é necessário que o diâmetro do núcleo seja poucas vezes maior que o comprimento de onda da luz utilizado para a transmissão. As dimensões típicas são 2 a 10 micrômetros para o núcleo e 80 a 125 micrômetros para a casca. Os materiais utilizados para a sua fabricação são sílica e sílica dopada.

São empregadas basicamente em telecomunicações, pois possuem baixa atenuação (0,7 dB/km em 1300 nm e 0,2 dB/km em 1550 nm) e grande largura de banda (10 a 100 GHz.km).

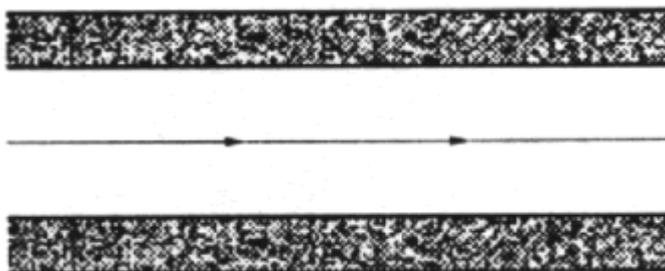


Figura 6 – Fibra monomodo.

6. Atenuação em fibras ópticas:

Os sinais que trafegam em fibras ópticas podem sofrer vários tipos de atenuação, são elas: Absorções ultravioletas, infravermelhas e por dopantes e impurezas (OH⁻):

A absorção é o mecanismo de atenuação que exprime a dissipação de parte da energia transmitida numa fibra óptica em forma de calor. Neste tipo de absorção temos fatores extrínsecos e intrínsecos à própria fibra.

Como fatores intrínsecos, temos a absorção do ultravioleta, a qual cresce exponencialmente no sentido do ultravioleta, e a absorção do infravermelho, provocada pela vibração e rotação dos átomos em torno da sua posição de equilíbrio, a qual cresce exponencialmente no sentido do infravermelho.

Como fatores extrínsecos, temos a absorção devido aos íons metálicos porventura presentes na fibra (Mn, Ni, Cr, U, Co, Fe e Cu) os quais, devido ao seu tamanho, provocam picos de absorção em determinados comprimentos de onda exigindo grande purificação dos materiais que compõem a estrutura da fibra óptica.

- Absorção da hidroxila (OH⁻):

A absorção da hidroxila (OH⁻) provoca atenuação fundamentalmente no comprimento de onda de 2.700 nm e em sobre harmônicos em torno de 950 nm, 1.240 nm e 1.380 nm, na faixa de baixa atenuação da fibra. Esse íon é incorporado ao núcleo durante o processo de produção, sendo muito difícil de ser eliminado.

- Espalhamento Rayleigh:

É o mecanismo de atenuação que exprime o desvio de parte da energia luminosa guiada pelos vários modos de propagação em várias direções. Existem vários tipos de espalhamento, sendo o mais importante e significativo o espalhamento de Rayleigh, que é devido à não homogeneidade microscópica causada por flutuações térmicas, flutuações de composição, variação de pressão, pequenas bolhas, variação no perfil de índice de refração, etc.

O espalhamento de Rayleigh está sempre presente na fibra óptica e determina o limite mínimo de atenuação nas fibras de sílica na região de baixa atenuação. A atenuação neste tipo

de espalhamento é proporcional ao comprimento de onda elevada à quarta potência, e é dado pela equação 1:

$$\alpha_R = \frac{(0,75 + 66 \cdot \Delta_{n(Ge)})}{\lambda^4} \quad \text{Equação 1}$$

- Atenuação por curvaturas e micro-curvaturas:

As deformações mecânicas nas fibras são chamadas de micro-curvatura e macro-curvatura, as quais ocorrem devido à aplicação de esforços sobre a mesma, durante a confecção ou instalação do cabo. As macro-curvaturas são perdas pontuais de luz por irradiação, ou seja, a luz não apresenta condições de reflexão interna total devido à curvatura de raio finito da fibra ótica. As micro-curvaturas aparecem quando a fibra é submetida à pressão transversal de maneira a comprimi-la contra uma superfície levemente rugosa. Essas micro-curvaturas extraem parte da energia luminosa do núcleo devido aos modos de alta ordem tornarem-se não guiados.

- Atenuação em emendas e conectores:

Perdas na energia luminosa causadas por emendas e conectores são normalmente devido a desalinhamento angular, diâmetros de campo diferentes, separação, desalinhamento lateral ou angular. As equações 2 e 3 mostram as fórmulas para a atenuação, em dB, para casos onde há atenuação por emenda com desalinhamento lateral (equação 2) e desalinhamento angular (equação 3):

$$\alpha[\text{dB}] = 4.34 \left(\frac{d}{W_0} \right)^2 \quad \text{(Equação 2)}$$

$$\alpha[\text{dB}] = 4.34 \left(\frac{\pi n_2 W_0 \theta}{\lambda} \right)^2 \quad \text{(Equação 3)}$$

6.1. Teste de atenuação espectral e janelas de transmissão:

Este tipo de teste mede a atenuação da fibra óptica numa faixa de comprimentos de onda, normalmente contendo o comprimento de onda em que a fibra operará. É efetuado em laboratório devido à complexidade e precisão e fornece dados sobre a contaminação que pode ter ocorrido na fabricação.

O teste consiste em se medir a potência de luz após percorrer toda a fibra nos vários comprimentos de onda que se deseja medir a atenuação, esta é a primeira medida, ou ainda, a potência de saída. Após isso, corta-se a fibra a 2 ou 3 metros do início, sem alterar as condições de lançamento, e mede-se a potência de luz nesse ponto, que pode ser considerado como a potência de entrada, uma vez que 2 ou 3 metros tem atenuação desprezível; esta é a segunda medida. De posse das duas medidas, calcula-se a atenuação por $10 \log (P_s/P_e)$, possibilitando que seja traçado o gráfico da figura 7:

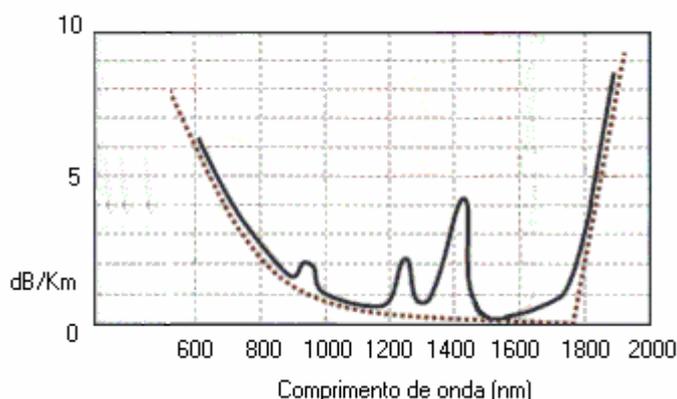


Figura 7 – Curva da atenuação de uma fibra pelo comprimentos de onda: atenuação espectral.

Do gráfico da figura 7 percebemos a existência de pontos onde a atenuação é máxima, deixando o entre eles, pontos onde a atenuação é bastante baixa, chamamos estes pontos de baixa atenuação, entre os picos, de janelas de transmissão.

Portanto, quando o primeiro pico ocorre em 950nm, até o segundo prico em 1300nm chamamos primeira janela de transmissão. Entre os picos 1300nm e 1400nm temos a segunda janela de transmissão, e entre o pico de 1400nm e a rápida subida da atenuação após 1800nm

temos a terceira janela de transmissão, sendo que algumas fibras podem possuir mais janelas que essas primeiras três.

7. Dispersão cromática:

A Dispersão cromática é causada pela diferença de velocidade dos diferentes comprimentos de onda que compõem o espectro da luz transmitida, ela depende do comprimento de onda e divide-se em dois tipos: dispersão material e dispersão de guia de onda.

A dispersão material ocorre, pois o índice de refração depende do comprimento de onda, e como as fontes luminosas existentes não são ideais, ou seja, possuem uma certa largura espectral finita D_L , cada comprimento de onda enxerga um valor diferente de índice de refração num determinado ponto, logo cada comprimento de onda viaja no núcleo com velocidade diferente, provocando uma diferença de tempo de percurso, causando a dispersão do impulso luminoso.

A dispersão de guia de onda é provocada por variações nas dimensões do núcleo e variações no perfil de índice de refração ao longo da fibra óptica e depende também do comprimento de onda da luz. Essa dispersão só é percebida em fibras monomodo que tem dispersão material reduzida.

Portanto, a dispersão cromática total pode ser definida pela equação 4 como:

$$D = D_M + D_W \quad (\text{Equação 4})$$

Onde D_M é a dispersão por material e D_W é a distorção por guia de onda, possibilitando que haja o controle da dispersão controlando-se D_W através do perfil de índice. Pode-se escolher o zero de dispersão no comprimento de onda que se desejar.

8. Dispersão por modo de polarização (PMD):

A dispersão por modo de polarização, ou PMD, é diferente do fenômeno clássico da dispersão tanto pelo seu caráter básico como pela ordem de magnitude. Ao contrário dos outros tipos de dispersão, não é possível reparar um valor de PMD, devido aos parâmetros que

a afetam, como a temperatura, imperfeições pequenas da fibra, normalmente de maneira muito complicada e imprevisível.

O PMD pode somente ser descrito em um modelo estatístico. Conseqüentemente, a medida de PMD é complexa. Um outro ponto a considerar é que PMD não possui escala linear com o comprimento da fibra, mas com sua raiz quadrada e, além disso, a PMD não depende muito do comprimento de onda.

Conseqüentemente a dispersão por modo de polarização é dada geralmente em ps/.km. que os valores típicos entre 0.1 e 0.5ps/km. O efeito de PMD é 20 a 1000 menor que o efeito dos outros tipos de dispersão.

A PMD ocorre principalmente, pois tensões mecânicas anisotrópicas quebram a simetria cilíndrica da fibra ótica, fazendo com que dois modos de polarização passem a propagar-se com velocidades diferentes devido a uma birrefringência induzida pela tensão mecânica.

Se não for controlada, a PMD pode causar muitos bits errados numa transmissão digital, ou distorcer demasiadamente sinais analógicos.

Os tipos básicos de polarização de luz em uma fibra ótica são circular, elíptico e vertical, mostrados na figura 8:

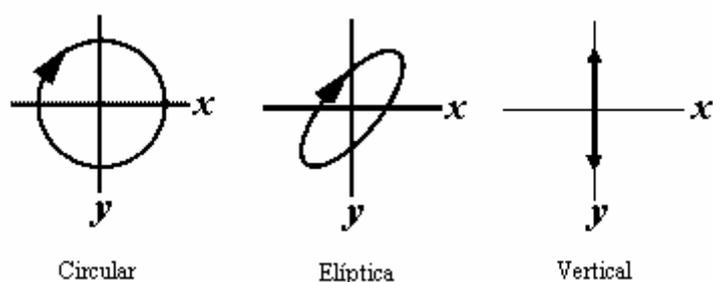


Figura 8 – Tipos de polarização de luz.

9. Não-Linearidades da fibra:

As características não lineares são causados normalmente por sinais de alta potência e podem afetar bastante o desempenho do sistema.

Existem dois tipos básicos de não-linearidades em uma fibra, o dispersamento estimulado e flutuação de índice refrativo:

O dispersamento estimulado ocorre em sistemas quando os sinais interagem com as ondas acústicas ou com vibrações moleculares. Esta interação dispersa a luz, aumentando o comprimento de onda. Existem muitas formas de dispersamento estimulado, entre elas a de *Raman* e de *Brillouin*.

9.1. Dispersamento Estimulado de Raman (SRS):

No Dispersamento Estimulado de *Raman* (SRS), as vibrações da luz e da fibra podem interagir e causar este dispersamento. Esta não-linearidade dispersa a luz em ambos os sentidos, sendo possível eliminá-la usando isoladores óticos, retirando-se dessa forma a força de retropropagação.

O ponto inicial da SRS depende da fibra e do número de canais transmitidos, depende também do afastamento do canal e da não-regeneração do comprimento do sistema.

9.2. Dispersamento Estimulado de Brillouin (SBS):

O Dispersamento Estimulado de *Brillouin* (SBS) ocorre porque as ondas luminosas e sonoras em uma fibra ótica podem interagir. Algumas das propagações dianteiras da luz são direcionadas erradamente para as propagações traseiras, dissipando energia luminosa e restringindo a quantidade da potência ótica que pode ser detectado no receptor.

Devido aos pontos iniciais de SBS serem diretamente proporcionais à largura do alinhamento da fonte, um método simples e prático de descobrir o ponto inicial é modular uma fonte do laser com um pequeno sinal de baixa frequência. Embora o dispersamento de Brillouin seja a não linearidade mais significativa, é também a mais fácil de controlar.

9.3. Modulação de Fase Cruzada (XPM)

A modulação da fase cruzada (XPM) é um outro efeito não-linear, que relaciona o efeito de um pulso de um determinado canal nas fases dos pulsos dos outros canais. Assim, obviamente a XPM ocorre somente em sistemas de múltiplos canais.

Com algumas exceções, as colisões entre pulsos geralmente produzem um alargamento do espectro. Por um lado, esta dispersão reduz a energia de interação entre os pulsos porque

eles são transmitidos em diferentes velocidades. Porém, quando os pulsos se interagem, a dispersão cromática aumenta temporariamente a potência do espectro alargado. Tornando complexos os efeitos da XPM.

10. Comparação das fibras monomodo G.652, G.653 e G.655.

Como consequência de uma reforma nos setores de padronização, as especificações *CCIT* agora são conhecidas como especificações *ITU* (International Telecommunication Union), que padronizam, entre outras coisas, as especificações dos tipos de fibras óticas.

Dentre as especificações das fibras óticas, três são tema da comparação deste trabalho, as padronizações *ITU* G.652, G.653 e G.655. Algumas das características dessas especificações são mostradas na tabela 4.

Tabela 4 – Especificações *ITU* básicas da fibras G.652, G.653 e G.655

Características	G.652	G.653	G.655
Denominação	Fibra de Dispersão não-deslocada	Fibra de Dispersão Deslocada	Fibra de Dispersão Não Zero
Diâmetro de modo de campo	9 a 10 μ m	7 a 8.3 μ m	8 a 11 μ m
Diâmetro do material Protetor ou Cladding	125 μ m	125 μ m	125 μ m
Não circularidade do protetor ou Cladding	2%	2%	2%
Erro na Concentricidade de modo de campo	1 μ m	Não há recomendação.	1 μ m
Nível de stress admitido	0.35 GPa	0.35 GPa	0.35 GPa
Comprimento de onda de corte	1280 nm	1270 nm	1470 nm
Performance em 1550nm	1.0 dB	0.5 dB	0.5 dB
Coefficiente de atenuação	1.0 dB/km em 1310 nm	0.5 dB/km em 1550 nm	0.35 dB/km em 1550 nm
Máximo coeficiente de dispersão cromática	0.093 ps/(η m ² · km)	0.085 ps / (η m ² km)	4 ps/(η m ² km)
Taxa máxima de dados ¹	1000km=2.5Gbit/s 60 km=10Gbit/s 3 km=40Gbit/s	3500km=2.5Gbit/s, 250km=10Gbit/s, 15 km=40Gbit/s	6000km=2.5Gbit/s, 400km=10Gbit/sec, 25km=40Gbit/sec

¹ Não presente na especificado *ITU*, apenas uma estimativa real.

A seguir se seguem informações específicas sobre estes três tipos de fibras:

10.1. Fibra de Dispersão não-deslocada (*USF*, recomendação G-652 da *ITU*)

Trata-se da recomendação mais antiga, desde 1983. A fibra de dispersão não deslocada (*USF*) tem a dispersão cromática zero em 1310 nm. Às vezes referenciada como fibra padrão, sendo também a mais usada.

Numerosos sistemas de transmissão operam com a fibra G-652, incluindo sistemas de alta velocidade e operando na segunda e terceira janela. A alta dispersão cromática deste modelo em 1550 nm é um problema sério quando se deseja altas taxas de transmissão.

10.2. Fibra de Dispersão Deslocada (*DSF*, recomendação G.653 da *ITU*)

Disponível desde 1985, a fibra de dispersão deslocada (*DSF*) muda a dispersão cromática mínima de 1310 para 1550 nm. Assim, esta fibra possui a região da dispersão cromática mínima junto com a região de perda ótica mínima.

Muitos sistemas de alta velocidade e analógicos operam com a fibra *DSF* na terceira janela. Não houve interesse comercial para que houvesse operação na segunda janela.

A fibra *DSF* é recomendada a transmissão de apenas um canal, havendo alguns sérios problemas na transmissão multicanal, onde normalmente se usa a fibra *NDSF*.

10.3. Fibra de Dispersão Não Zero (*NDSF*, recomendação G.655 da *ITU*)

Disponível a partir de 1993, também conhecida como fibra *True Wave*, foi projetada especificamente para o uso na geração de sistemas *DWDM*. Este tipo de fibra, que foi patenteada pela *AT&T*, foi padronizada mais tarde pela *ITU* na norma G.655.

A fibra de dispersão não zero (*NZDF*) tem uma quantidade mínima e máxima especificada de dispersão cromática sobre uma parcela da terceira janela do comprimento de onda, cujos valores típicos são mostrados na tabela 4.

Deve-se garantir uma dispersão mínima o bastante para suprimir a quarta janela da fibra, e evitar os efeitos da não-linearidade e, obviamente deve-se também especificar uma dispersão máxima para assegurar taxas da ordem de 10Gb/s em distâncias até 400km.

11. Conclusões:

Embora as fibras do tipo G.652 (USF) sejam as mais usadas, elas estão longe de serem as melhores, embora sejam as mais simples e baratas. Quando se necessita transmitir altas taxas em grandes distâncias, a solução poderá ser as fibras do tipo G.653 (DSF) pois as perdas são menores devido ao fato de ter-se deslocado a região de dispersão cromática mínima para a região de mínima perda ótica.

Porém, quando se necessita transmitir múltiplos canais, as fibras G.653 não são recomendáveis, devendo-se usar então as NDSF, segundo recomendação G.655. Esta nova tecnologia possibilita também menores perdas e portanto maiores taxas em maiores distâncias, segundo se mostra na tabela 4.

Dessa forma, a escolha da melhor fibra a ser usada depende não só da aplicação como também dos recursos disponíveis, devendo-se procurar, então, a melhor combinação entre número de canais, distância, taxa a ser transmitida e preço, visando encontrar assim a opção que melhor se aplica a cada caso.