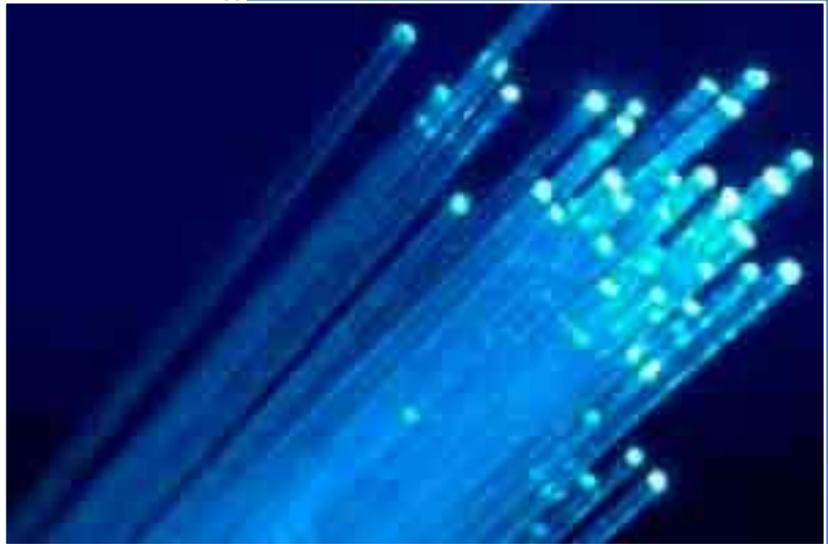


# Cabeamento Estruturado



## Cabeamento Estruturado

Com a explosiva evolução das comunicações, motivadas pela necessidade de aumento de capacidade de tráfego de voz, vídeo e dados de alta velocidade, constantemente nos deparamos com novos conceitos em tecnologias em termos de meios de transporte das informações. É nessa ideia que surge a fibra óptica, que garante nível elevado de fiabilidade a nível de transmissão de sinais e dados, voz e vídeo.

Cabos de fibra óptica estão substituindo fios de cobre para aumentar a velocidade de transmissão de informação digital. Estes cabos são feixes de “fios de vidro” extremamente puros que foram revestidos em duas camadas de plástico reflexivo. Uma fonte de luz é ligada e desligada rapidamente a uma extremidade do cabo de transmissão de dados digitais. A luz viaja através dos fios de vidro e de forma contínua reflete fora do interior dos revestimentos plásticos espelhados em um processo conhecido como reflexão total interna. Sistemas baseados em fibra óptica podem transmitir bilhões de bits de dados por segundo, e eles podem até mesmo levar vários sinais ao longo da mesma fibra usando lasers de cores diferentes. Esses cabos são tão finos quanto um fio de cabelo humano que carregam a informação digital ao longo de grandes distâncias.

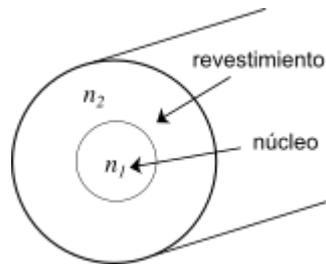
Fibra óptica (ou ótica) é um filamento flexível e transparente fabricado a partir de vidro ou plástico extrudido e que é utilizado como condutor de elevado rendimento de luz, imagens ou impulsos codificados. Têm diâmetro de alguns micrómetros, ligeiramente superior ao de um fio de cabelo humano.

Por ser um material que não sofre interferências eletromagnéticas, a fibra ótica possui uma grande importância em sistemas de comunicação de dados.

Inicialmente as fibras óticas eram utilizadas como guias de transmissão de sinais óticos e operavam entre distâncias limitadas, pois apresentavam grande perda de luz na transmissão e alto calor que os lasers produziam e tinham problemas com as emendas. Contudo, em meados dos anos 70, ocorreu um aprimoramento significativo das técnicas óticas utilizadas, e devido a isso, tornou-se possível a monitoração de grandezas e a troca de informações a longas distâncias.

Há dois tipos de denominação recorrentes às fibras óticas, os quais possuem características e finalidades próprias. Um deles é a fibra óptica monomodo. Esta apresenta um caminho possível de propagação e é a mais utilizada em transmissão a longas distâncias (devido a baixas perdas de informação). Já a fibra multimodo permite a propagação da luz em diversos modos e é a mais utilizada em redes locais (LAN), devido ao seu custo moderado.

## Geometria



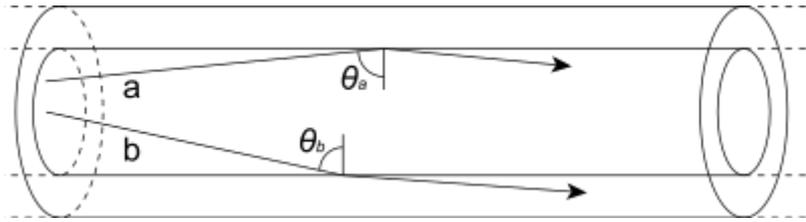
Representação ilustrativa da fibra óptica

As fibras ópticas consistem, geralmente, de um núcleo central cilíndrico e transparente de vidro puro, o qual é envolvido por uma camada de material com menor índice de refração (fator que viabiliza a reflexão total). Ou seja, a fibra óptica é composta por um material com maior índice de refração (núcleo) envolto por um material com menor índice de refração (casca). Ao redor da casca ainda há uma capa feita de material plástico necessária para proteger o interior contra danos mecânicos.

## Funcionamento

A transmissão da luz pela fibra segue um princípio único, independentemente do material usado ou da aplicação: é lançado um feixe de luz numa extremidade da fibra e, pelas características ópticas do meio (fibra), esse feixe percorre a fibra por meio de reflexões sucessivas. A fibra possui no mínimo duas camadas: o núcleo (filamento de vidro) e o revestimento (material eletricamente isolante). No núcleo, ocorre a transmissão da luz propriamente dita.

A transmissão da luz dentro da fibra é possível graças a uma diferença de índice de refração entre o revestimento e o núcleo, sendo que o núcleo possui sempre um índice de refração mais elevado, característica que aliada ao ângulo de incidência do feixe de luz, possibilita o fenômeno da reflexão total. Ou seja, a luz é mantida no núcleo através de reflexão interna total. Isto faz com que a fibra funcione como guia de onda, transmitindo luz entre as duas extremidades.



Representação de dois raios de luz se propagando dentro de uma fibra ótica. Nessa imagem percebe-se o fenômeno da reflexão total no feixe de luz "a".

### Reflexão total

$n_n \cdot \sin \theta_i = n_c \cdot \sin 90^\circ$ , como seno de  $90^\circ$  é 1,

$$\sin \theta_i = \frac{n_c}{n_n}$$

$$\theta_{crit} = \arcsin\left(\frac{n_c}{n_n}\right)$$

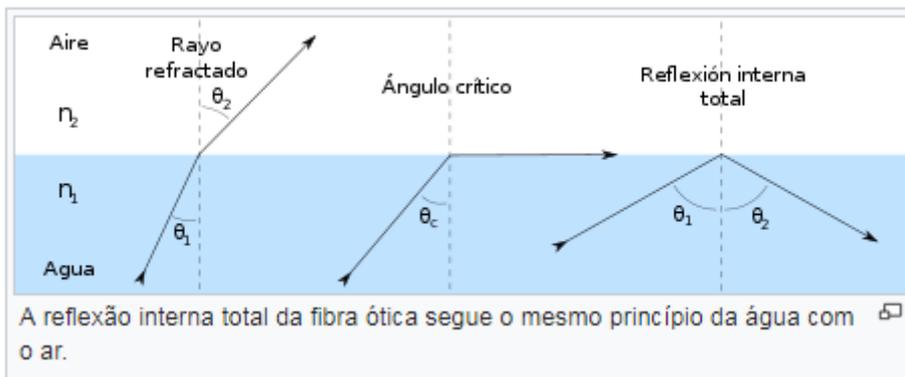
$n_c$  = Índice de refração da casca

$n_n$  = Índice de refração do núcleo

$\theta_i$  = Ângulo de incidência (em relação à normal)

$\theta_r$  = Ângulo de refração (em relação à normal)

$\theta_{crit}$  = Ângulo máximo em que ainda ocorre refração



Mesmo confinada a um meio físico, a luz transmitida pela fibra ótica proporciona o alcance de taxas de transmissão (velocidades) elevadíssimas, da ordem de  $10^9$  a  $10^{10}$  bits por segundo (cerca de 40 Gbps), com baixa taxa de atenuação por quilômetro. Mas a velocidade de transmissão total possível ainda não foi alcançada pelas tecnologias existentes. Como a luz se propaga

no interior de um meio físico, sofrendo ainda o fenômeno de reflexão, ela não consegue alcançar a velocidade de propagação no vácuo, que é de cerca de 300.000 km/s.

Para transmitir dados pela fibra ótica, são necessários equipamentos especiais, que contêm um componente fotoemissor, que pode ser um diodo emissor de luz ou um diodo laser. O fotoemissor converte sinais elétricos em pulsos de luz que representam os valores digitais binários (0 e 1). Tecnologias como WDM fazem a multiplexação de vários comprimentos de onda em um único pulso de luz, chegando a taxas de transmissão de 1,6 terabits por segundo em um único par de fibras.

Os cabos de fibra ótica atravessam oceanos ligando os continentes através dos cabos submarinos. A utilização desses cabos para conectar o mundo é um projeto incrível. Existem milhares de quilômetros de extensão de cabos sob o mar, atravessando fossas e montanhas submarinas. Nos anos 80, tornou-se disponível, o primeiro cabo fibra ótica intercontinental desse tipo. Instalado em 1988, o cabo associado ao sistema TAT-8, tinha capacidade para 40.000 conversas telefônicas simultâneas, usando tecnologia digital. Desde então, a capacidade dos cabos aumentou. Alguns cabos que atravessam o oceano Atlântico têm capacidade para 200 milhões de circuitos telefônicos.

Os milhares de quilômetros de fibra ótica presentes nos cabos submarinos representam aproximadamente 99% das conexões existentes em nosso planeta. Desse modo, a internet coberta pelos satélites tem uma atuação secundária em comparação a tais cabos. Existem cabos de tamanhos exorbitantes. Um grande exemplo disso é o SeaMeWe 3, o qual conecta 32 países e possui em torno de 39 mil quilômetros de extensão. Os cabos possuem uma estrutura composta de 8 camadas com um diâmetro total de cerca de 7 centímetros.

As fibras óticas são amplamente utilizadas em redes telefônicas. Em comparação com os cabos convencionais de metal, permitem a transmissão de dados a distâncias muito superiores e com maior largura de banda, de modo que economizam custos em relação aos demais cabos utilizados para os mesmos fins.

## **Cabeamento Óptico**

A velocidade na transmissão dos dados é um dos fatores que mais causou impacto sobre a maneira como indivíduos e empresas comunicam-se e

compartilham informação hoje em dia. E isso tem relação direta com o fato do uso de cabos de fibra óptica vir tornando-se cada vez mais comum.

É uma tecnologia vantajosa, tanto em termos de segurança quanto em termos de qualidade de transmissão de informações, e embora exijam um investimento financeiro maior na instalação, acabam por ter maior durabilidade, desde que sejam devidamente instalados e recebam manutenção adequada.

No que diz respeito ao revestimento, os cabos são mais largos e compostos de material termoplástico.

Por dentro, os filamentos são de vidro e finos quase como um fio de cabelo. Já os cordões ópticos são finos e mais leves que os fios de metal dos cabos comuns e não sofrem interferências como esses mais usuais, feitos de cobre.

Os materiais que compõem o revestimento do cabo óptico diminuem a refração, dificultando que existam perdas durante a transmissão dos dados.

A fibra óptica não é afetada por interferências eletromagnéticas e ruídos porque não irradia luz para fora do cabo. Todas essas características contribuem para que esse meio físico de transmissão seja uma tecnologia que permite altas taxas de movimentação de dados.

### **Como funciona?**

Quando a luz atinge qualquer material, ela pode ser absorvida, refletida ou refratada, ou alguma combinação dos três efeitos simultaneamente, como vemos, por exemplo, ao iluminar janelas com uma lanterna: conseguimos iluminar o outro lado, mas também vemos que parte da luz reflete de volta.

O que torna os cabeamentos ópticos possíveis é um fenômeno da reflexão em que ao diminuir o ângulo da luz no vidro, chega-se a um ponto crítico em que a luz é 100% refletida. Esse fenômeno é responsável pelo efeito espelho nos lagos quando o sol está próximo ao horizonte, e é assim que a luz se propaga dentro da fibra óptica.

Nunca passando desse ângulo crítico, a luz não escapa do pequeno filamento de vidro e consegue ser transmitida por mais de 50 quilômetros até precisar que o sinal seja impulsionado por um repetidor. Em contraste, cabos de cobre perdem seu sinal em meros 500 metros.

O primeiro e mais facilmente lembrado é a velocidade.

Além disso, são cabos que, em função da largura, permitem grande volume e capacidade de carga. São também imunes a interferências como ondas de rádio, motor ou mesmo vindas de outros cabos, o que faz do cabo óptico mais resistente sob esse aspecto.

Desde que adequadamente instalados, são mais duradouros porque demandam cada vez menos custos com manutenção, isto é, apesar da instalação cara, acabam por equilibrar os custos já que se gasta muito menos para mantê-los com o passar do tempo.

Em relação ao volume, são cabos de dimensões mais reduzidas, menor peso e tamanho, apesar do grande potencial para transportar informações.

Já em termos de qualidade de transmissão, nos cabos com fios de cobre muitas vezes podem ocorrer perdas de velocidade e isso se dá por uma série de motivos, mas principalmente pela distância entre as trocas (do armário da rua até o local da instalação, por exemplo).

Com a fibra óptica, as chances de haver perdas são menores pela própria estrutura física do cabeamento, portanto a banda larga de fibra óptica é a melhor opção para quem prima por velocidade.

A fibra óptica é uma tecnologia de transmissão de dados em alta velocidade. São cabos feitos de material transparente e reflexivo, e podem ser tão finos quanto o cabelo humano.

Nestes filamentos de fibra óptica, a luz é refletida e viaja a velocidades muito maiores do que a transmissão de energia por fios de cobre, por exemplo.

Este tipo de fibra é utilizada principalmente por companhias de telecomunicações, devido ao seu alto grau de segurança na entrega da informação. A tecnologia que proporciona o uso da fibra óptica é essencial para a expansão das tecnologias digitais, permitindo uma comunicação ininterrupta e rápida de sinais e dados, seja por voz ou vídeo.

As fibras ópticas são formadas por um núcleo de material transparente, que forma o espelho que irá refletir a luz e permitir a transmissão da informação. Esse núcleo é geralmente composto por um fio de vidro absolutamente puro, em perfeitas condições de reflexão da luz. É a partir desta reflexão que os dados são transmitidos, quando uma fonte de luz emite um feixe em uma ponta, que deve alcançar a outra.

Mas também existem cabos de fibra óptica feitos de outros materiais transparentes, como o plástico. Mas por não serem de composição tão pura

quanto o vidro, a transmissão fica prejudicada e percorre um caminho mais curto.

Os sinais elétricos a serem transmitidos pela fibra óptica são emitidos a partir de uma fonte de laser ou LED, e devem ser convertidos em pulsos de luz por aparelhos especiais para esta tarefa. Estes pulsos de luz comunicam-se através das fibras ópticas por valores binários, os bits, que correspondem aos dados transmitidos.

Entre os seus usos estão a transmissão de dados nas telecomunicações, e já chega às casas por meio de serviços de internet providos por cabos de fibra óptica. Também tem usos médicos, na criação de equipamentos como o endoscópio que servem para a realização de exames menos invasivos e com maior precisão do diagnóstico.

As vantagens da fibra óptica são muitas, mas a expansão do seu uso em substituição aos fios de metal encontra resistência no preço, pois o processo para a fabricação da fibra ainda é muito dispendioso.

Em relação aos fios de metal, a fibra óptica oferece vantagem por usar na sua fabricação matérias-primas mais abundantes que o metal. Os cabos com núcleo de vidro também não sofrem com as interferências das ondas eletromagnéticas, assim como não oxidam ou corroem de acordo com o ambiente em que estão.

Existem dois tipos de cabos de fibra óptica:

- ✓ monomodo
- ✓ e multimodo.

O cabo monomodo é o mais recomendado para transmitir dados a grandes distâncias. Ele tem um diâmetro maior e em seu interior a luz é refletida de maneira mais eficiente, mas só funciona emitindo um sinal de luz por vez.

Já o cabo multimodo é mais comum, utilizado principalmente a curtas distâncias. Isto pois é mais barato e mais fácil de instalar, mas não tem o mesmo desempenho em grandes distâncias, perdendo informação.



Abaixo alguns cabos ópticos e situações nas quais deverão ser definidos como opção mais adequada. Porém, antes precisamos entender que os cabos externos ou internos são identificados em sua capa externa com uma codificação normatizada com várias informações, por exemplo:

Tipo de fibra:

Multimodo (MM);

Monomodo (SM);

Dispersão não-zero (NZD).

Quanto à aplicação:

Autossustentado (AS);

Dielétrico para Instalação em Dutos (DD);

Dielétrico para Instalação Diretamente Enterradas (DE);

Dielétrico e Protegido para Instalações Diretamente Enterradas (DPE);

Protegido com Armadura em Fita de Aço Corrugado, para Instalações em Dutos (ARD);

Protegido com Armadura em Fita de Aço Corrugado, para Instalações Diretamente Enterradas (ARE);

Dielétrico e Proteção contra Roedores para Instalações Diretamente Enterradas (DER);

Dielétrico e Proteção contra Roedores para Instalações em Dutos (DDR).

Esta nomenclatura é definida da seguinte maneira:

O primeiro “D” indica cabo Dielétrico e o segundo indica instalação em Duto;

“AR” indica Armadura;

“R” indica anti-roedor;

“E” indica Enterrado.

Tipo de Núcleo:

Núcleo Seco (S);

Núcleo Geleado (G).

Grau de Proteção do Cabo frente à chamas:

COG – Cabo Óptico Geral;

COR – Cabo Óptico “Riser”;

COP – Cabo Óptico “Plenum”;

LSZH – Cabo Óptico com Baixa Emissão de Fumaça (Low Smoke and Zero Halogen)

Além, obviamente, do número de fibras no cabo que sempre estará presente, ou outras informações como Formação do Núcleo, Características Especiais, Tipo de Revestimento, Carga Máxima de Operação e Diâmetro do Cordão Óptico (quando for o caso). E, é importante dizer que cada cabo tem a sua composição própria, com elementos de proteção, tração, revestimentos, e etc, basta consultar os catálogos.

Situações comuns ao se definir o cabo óptico:

Instalação subterrânea: para se definir o tipo de cabo, observar onde a tubulação estará enterrada. Se há riscos de o cabo ficar imerso em água temporariamente ou constantemente. Se a área é passível de existência de roedores, como ratos e gambás.

Instalação diretamente enterrada: caso o seu projeto aponte necessidade de uma instalação sem tubulação enterrada, pode-se optar por um cabo diretamente enterrado. É simples, basta uma vala com profundidade razoável e terra por cima.

É interessante prever nas instalações subterrâneas uma fita identificadora acima da tubulação ou do cabo para identificação, evitando assim, acidentes em caso de uma escavação.

Instalação aérea: neste caso identificar se o cabo será sustentado via cabo de aço mensageiro (espinamento) ou se será autossustentado. Se for autossustentado, observar o lance do vão entre os postes. Há cabos com capacidade de carga para vãos com 80, 120, 200, 400 m e além.

Instalação anti-roedores: usado em ambientes que possuem incidência constante de roedores.

Estes cabos possuem uma proteção metálica ou de fibra de vidro (PFV) ao torno das fibras, as quais protegem as fibras dos dentes ferozes dos roedores. No caso da proteção metálica é uma barreira de difícil transposição, e no caso da proteção de PFV, estas ferem a boca do roedor inibindo a ação destes.

Instalações internas: atentar se o cabo percorrerá ambientes com temperaturas muito elevadas ou muito baixas. É interessante ressaltar também se o cabo será utilizado para interligar andares (backbones) ou racks em uma sala técnica ou Data Center. Ambos são cabos internos, porém diferentes. Dentre outras situações, como forros, piso elevado, curvas, etc.

Instalações internas / externas: os fabricantes desenvolveram cabos com capacidade de instalação para ambas as situações no mesmo cabo, obviamente, resguardando-se alguns aspectos específicos. Fique atento ao especificar este cabo.

OPGW (Optical Ground Wire): não poderia deixar de falar sobre este cabo. Para transmissões em longas distâncias, com capacidade elevada de comunicação de dados, usado como para-raios nas linhas de transmissão de energia interligando cidades, estados e países este cabo é constituído em alumínio com o seu centro preenchido com fibras ópticas. Estes cabos são instalados no ponto mais alto das torres de transmissão.

Tipos de Cabos (Loose / Tight / Groove / Ribbon)

Cabos tipo Tight

Neste tipo de estrutura, as fibras recebem um revestimento secundário de nylon ou poliéster. As fibras após receberem este revestimento, são agrupadas

juntas com um elemento de tração que irá dar-lhe resistência mecânica, sobre este conjunto é aplicado um revestimento externo que irá proteger o cabo contra danos físicos.

### Cabos tipo Groove

Em uma estrutura tipo GROOVE as fibras ópticas são acomodadas soltas em uma estrutura interna do tipo ESTRELA. Esta estrutura apresenta ainda um elemento de tração ou elemento tensor incorporada em seu interior, a função básica deste elemento é de dar resistência mecânica ao conjunto. Uma estrutura deste tipo permite um número muito maior de fibras por cabo.

### Cabos tipo Ribbon

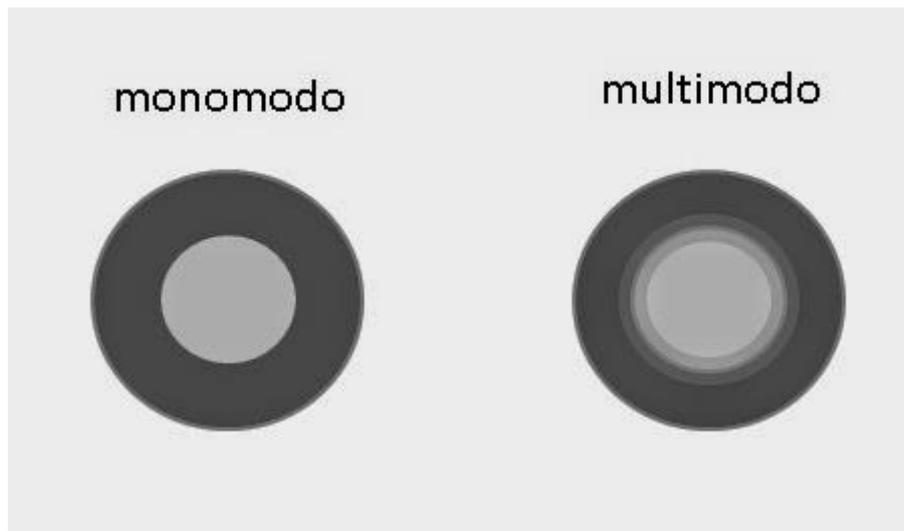
Este tipo de estrutura é derivada da estrutura tipo GROOVE, nestes cabos as fibras ópticas são agrupadas horizontalmente e envolvidas por uma camada de plástico, tornando-se um conjunto compacto. Estes conjuntos são alojados nas ranhuras das estruturas estelares do cabo tipo groove. Essa configuração é utilizada em aplicações em que é necessário um número muito grande de fibras ópticas (4.000 fibras).

## **Diferença entre fibra monomodo e multimodo**

A fibra ótica é uma tecnologia muito utilizada em redes, porém pouca gente entende como ela realmente funciona. Ao invés de falar de leis da física, ótica, difração, quero tentar explicar como a fibra ótica funciona de maneira mais prática e, com isso, ajudar você a compreender a diferença entre fibra monomodo e multimodo.

A diferença entre a fibra monomodo e multimodo é a variação de densidade que ocorre entre essas duas camadas de material. Se você cortasse uma fibra e colocasse no microscópio, teria uma imagem como essa abaixo. Nas duas temos um núcleo (menor densidade) e uma borda (maior densidade) do mesmo material. A fibra monomodo muda de densidade rapidamente, quase que em um degrau alto, já a multimodo passa lentamente de uma densidade para outra.

Ou seja, a fibra monomodo é mais bem feita.



### **Conectores de Fibra Óptica**

Há vários tipos de conectores ópticos no mercado, cada um voltado a uma aplicação. Basicamente, os conectores são constituídos de um ferrolho com uma face polida, onde é feito o alinhamento da fibra, e de uma carcaça provida de uma capa plástica.

Os diversos tipos de conectores variam nos formatos e na forma de fixação (encaixe, rosca). Os conectores são todos machos, ou seja, os ferrolhos são estruturas cilíndricas ou cônicas, dependendo do tipo de conector, que são inseridos em adaptadores ópticos.

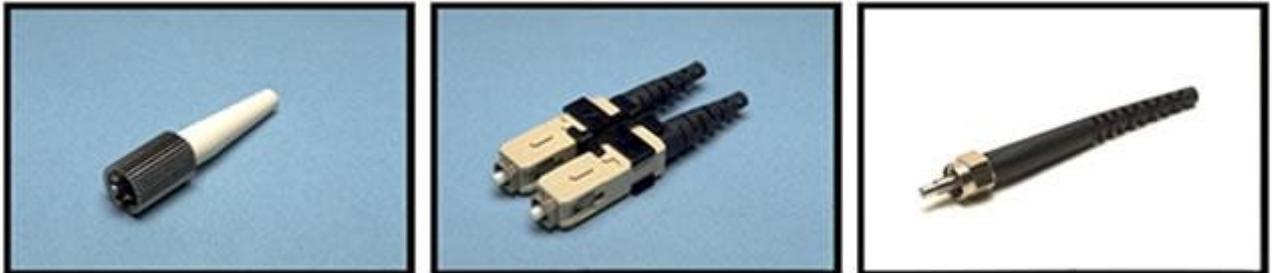
Os conectores utilizam acoplamentos frontais ou lenticulares, sendo que existem três tipos de acoplamentos frontais: quando a superfície de saída é maior que a de entrada, quando a superfície de saída é igual à de entrada e quando a superfície de saída é menor que a de entrada. E existem acoplamentos lenticulares do tipo simétrico e assimétrico.

Os requisitos dos conectores são a montagem simples, uma forma construtiva estável, pequenas atenuações e proteção das faces das fibras e os fatores que influenciam em sua qualidade são o alinhamento, a montagem e a

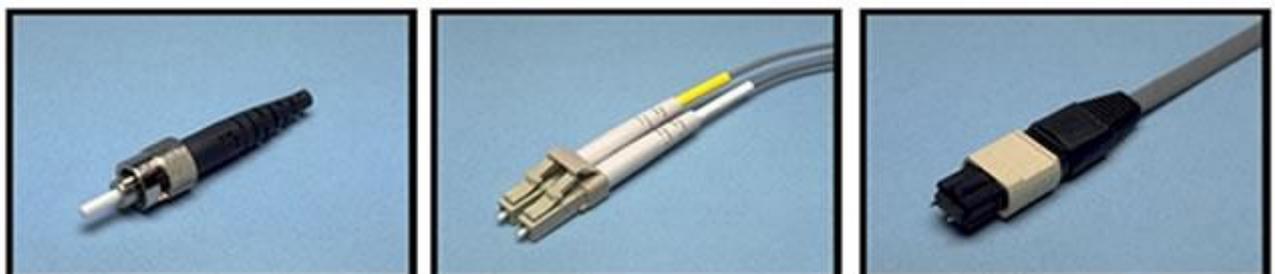
características de transmissão das fibras. Lembrando que existem conectores para fibra única e para várias fibras (múltiplo).

Com relação à forma que se realiza o alinhamento podemos ter vários tipos de estruturas sendo que os mais comuns são os circulares e os tipo V-GROOVE. Os tipos circulares são recomendados para conexões duradouras enquanto que os V-GROOVE para situações provisórias de conexões de fibras nuas (sem revestimento).

D4 / SC Duplex / SMA



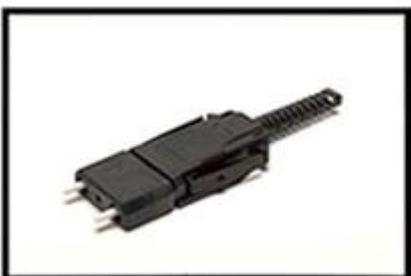
ST / LC / MTP



MTRJ / VOLITION / E2000



ESCON / FC / FDD



BICONIC / SC



**Cabeamento Óptico para LANs**

Cabo óptico com Fibra Monomodo recomendado para tráfego de voz, dados e imagens, com distribuição em campus, entre prédios, que exijam interligações ópticas externas com grande flexibilidade. Indicado para instalações externas suscetíveis a alagamentos parciais temporários, com infraestrutura de eletrodutos e caixas de passagem subterrâneas, ou diretamente enterrado.

Constituído de fibras ópticas dentro de tubo termoplástico, preenchido por composto para evitar a penetração de umidade. Esse tubo e os elementos de tração dielétricos são recobertos com uma capa interna. Sobre a capa interna é aplicada uma fita de aço corrugado e sobre esta fita, um revestimento de material termoplástico.

Modelo: OPTIC-LAN-AR (CFOA-AREU)

Certificado na ANATEL

Normas aplicáveis: ABNT NBR 15110 - 'Cabo óptico com núcleo dielétrico e proteção metálica para aplicação enterrada' e ABNT NBR 15108 - 'Cabo óptico com núcleo dielétrico e proteção metálica para aplicação em linhas de dutos'

Cabo de fibras ópticas de distribuição

Ambiente de Instalação: Externo

Proteção Anti-UV

Proteção Contra Roedores: Metálica (Aço Corrugado)

Tipo de Núcleo: Seco

Tipo de fibra óptica: SM G.652 (monomodo)

Construção: Tubo Loose Único

Padrão de Cores dos Tubos: ABNT

Classe de Flamabilidade: Normal - NR (Não Retardante)

Metragem Padrão: 2000 metros

Número de fibras: 6

**ABNT NBR 15110**

Esta Norma especifica um sistema de cabeamento estruturado para uso nas dependências de um único ou um conjunto de edifícios comerciais em um campus, bem como para a infraestrutura de cabeamento estruturado de data centers. Ela cobre os cabeamentos metálico e óptico.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) torna públicas a homologação e a publicação das Normas Brasileiras e Normas Brasileiras Canceladas, listadas a seguir, que foram aprovadas por consenso das partes envolvidas.

## **Fusão de Fibras Ópticas**

As emendas são realizadas para a formação de um enlace óptico, seja na construção e manutenção da rede, derivação de trajetos, união de pigtail ou cabo e conexão de equipamentos, e podem ser realizadas por meio de emenda mecânica ou por fusão da fibra.

O método de fusão da fibra é o mais utilizado, pois gera uma menor perda de atenuação em relação ao método por emendas mecânicas, além de uma estrutura de soldagem mais eficaz e segura, garantindo assim a eficiência em toda a rede.

A fusão da fibra óptica é o procedimento de alinhamento e junção entre 2 fibras desconectadas por meio de um aquecimento, gerando um arco voltaico que ocasiona a união e o alinhamento núcleo/casca das partes.

Acompanhe abaixo os passos para realizar a fusão da fibra ideal.

## **Preparação da Fibra**

Tanto para a fusão mecânica, tanto para a automática os procedimentos iniciais são iguais.

1. Retire o revestimento no comprimento adequado
2. Limpe a fibra com produtos adequados.
3. Clive a fibra usando o processo apropriado.
4. Repita o mesmo processo para a outra fibra a ser fusionada.

## Fusão da Fibra

5. No caso da fusão feita automaticamente, basta ligar o aparelho, abrir a tampa (normalmente fica localizada na parte superior da máquina), inserir as fibras no motor de alinhamento e prendê-las.

6. Feche a tampa e por último aperte o botão para a fusão ser iniciada. Neste momento a fibra é automaticamente alinhada e submetida à um arco voltaico que eleva a temperatura nas faces das fibras, provocando o derretimento das fibras e a sua soldagem.

7. É necessário revestir o local da fusão com um tubete feito de resina, para oferecer resistência mecânica a fusão, protegendo contra quebras e fraturas. Inserir a parte com resina no dispositivo de aquecimento (forno).

8. Feche o dispositivo e apertar o botão indicado para iniciar. Esse procedimento leva aproximadamente 2 minutos, mas varia de acordo com aparelho utilizado.

9. Retire a Fibra e verifique se o Tubete está devidamente moldado a Fibra.

Depois da fusão ser finalizada, aconselhamos avaliar as fusões.

Algumas falhas que não afetam a transmissão óptica são aceitáveis

Para assegurar que a fusão foi realizada com sucesso, sempre teste usando um equipamento calibrado, de preferência um OTDR.



## Preparando a Fibra

Antes de começar o processo é necessário preparar a fibra.

> Decapar o cabo da fibra e a capa da fibra com as ferramentas apropriadas.

> Fazer limpeza da fibra, é recomendável passar um papel ou pano com álcool para evitar ruídos na hora de fazer a fusão.

> Clivar fibra com um clivador de alta precisão, utilizamos o clivador FC-6S da marca Sumitomo.

## Fusão da Fibra

As máquinas de fusão que estão no mercado atualmente fazem o processo de alinhamento das fibras e fusão de forma totalmente automática, nós utilizamos a Máquina T36 da Orientek, recomendável para quem quer um aparelho de ponta com bom custo-benefício e qualidade.

> Para iniciar o processo de fusão basta ligar o aparelho, abrir a tampa (geralmente localizada na parte superior da máquina)

> Inserir as fibras no motor de alinhamento e prende-las.

> Fechar a tampa e por último apertar o botão para iniciar a fusão. Neste momento a fibra é automaticamente alinhada e submetida à um arco voltaico que eleva a temperatura nas faces das fibras, o que provoca o derretimento das fibras e a sua soldagem.

> A máquina demonstra o processo de alinhamento e fusão graficamente através do monitor.

### **Revestindo a fibra**

Após a fusão a fibra deve ser revestida por uma resina (tubete) que tem a função de oferecer resistência mecânica à emenda, protegendo-a contra quebras e fraturas. Esse processo é também bem simples veja abaixo:

> Alinhar a resina na parte decapada da fibra.

> Inserir a parte com resina no dispositivo de aquecimento (forno)

> Fechar a portinha e apertar o botão indicado para iniciar, o aquecimento faz com que a resina se molde à fibra.

Esse procedimento leva aproximadamente 2 minutos de variando de acordo com aparelho utilizado.

> Retire a fibra e verifique se o tubete está devidamente moldado à fibra.

Feito todo o processo de fusão e aquecimento do revestimento sua fibra está pronta para usar, todo o processo leva menos de 10 minutos para ser feito, lembrando que essa é a forma mais simples de fusão, existem processos mais complexos como a fusão de fibras multi-modo por exemplo.

## Fontes Ópticas

As principais fontes ópticas utilizadas em comunicações ópticas são o LED (light emitting diode) e o LD (Laser diode que funciona segundo o princípio LASER - light amplification by stimulated emission of radiation) – são dispositivos de semicondutor baseados em heterojunções;

Principais características:

– Potência óptica acoplada à fibra

Potência óptica:  
• LED:  $P_{opt}$  de 10 a 100  $\mu\text{W}$   
• LD:  $P_{opt}$  de 1 a 5 mW

– Comprimento de onda de emissão

– Perdas de acoplamento

– Custo e fiabilidade

– Largura espectral do sinal injectado na fibra,

$\Delta\lambda_S$  ou  $\Delta\nu_S$   $\left\{ \begin{array}{l} \Delta\lambda_M \\ \Delta\lambda_F \end{array} \right.$  Largura de banda do sinal modulado (da modulação)

Largura espectral da fonte óptica na ausência de modulação

## Tipos de Fontes Ópticas

Para sistemas ópticos, encontramos dois tipos de fontes ópticas que são freqüentemente utilizadas:

- ✓ LED
- ✓ e LASER.

Cada um destes dois tipos de fontes oferecem certas vantagens e desvantagens, e diferenciam-se entre si sob diversos aspectos:

- Potência luminosa: os lasers oferecem maior potência óptica se comparados com os leds.

LED : (-7 a -14dBm)

LASER : (1dBm)

- Largura espectral: os lasers tem largura espectral menor que os leds, o que proporciona menor dispersão material.

- Tipos e velocidades de modulação: os lasers tem velocidade maior que os leds, mas necessitam de circuitos complexos para manter uma boa linearidade.

- Acoplamento com a fibra óptica: o feixe de luz emitido pelo laser é mais concentrado que o emitido pelo led, permitindo uma eficiência de acoplamento maior.

- Variações com temperatura: os lasers são mais sensíveis que os leds à temperatura.

- Vida útil e degradação: os leds tem vida útil maior que os lasers (aproximadamente 10 vezes mais), além de ter degradação bem definida.

- Custos: os lasers são mais caros que os leds, pois a dificuldade de fabricação é maior.

- Ruídos: os lasers apresentam menos ruídos que os leds. Ambos podem ser fabricados do mesmo material, de acordo com o comprimento de onda desejado:

\* AlGaAs (arseneto de alumínio e gálio) para 850 nm.

\* InGaAsP (arseneto fosfeto de índio e gálio) para 1300 e 1550 nm.

Através das características de ambos os elementos, vemos que o laser é o que nos fornece uma maior potência luminosa e uma menor largura espectral, razão pela qual é amplamente empregado nos circuitos ópticos. Desta forma, faremos um breve entendimento sobre os conceitos básicos do laser, bem como o seu funcionamento como fonte óptica.

## **Laser**

Para entendermos o funcionamento de um laser, vamos tomar um laser a gás (HeNe) de maneira didática onde os números usados são ilusórios para maior visualização dos fenômenos.

Um átomo é composto de um núcleo e de elétrons que permanecem girando em torno do mesmo em órbitas bem definidas.

Quanto mais afastado do núcleo gira o elétron, menor a sua energia.

Quando um elétron ganha energia ele muda de sua órbita para uma órbita mais interna, sendo este um estado não natural para o átomo mas sim forçado.

Como esse estado não é natural, o átomo por qualquer distúrbio tende a voltar a seu estado natural, liberando a energia recebida em forma de ondas eletromagnéticas de comprimento de onda definido em função das órbitas do átomo.

Existem duas condições básicas para que o fenômeno laser aconteça:

- Inversão de população
- Alta concentração de luz

Inversão de população é o estado em que uma grande quantidade de átomos ficam com elétrons carregados de energia, girando em órbitas mais internas.

É como se o átomo fosse engatilhado para o disparo de ondas eletromagnéticas (os fótons). Esse estado é conseguido através de altas tensões de polarização fornecidas ao laser (200 à 300V).

A alta concentração de luz é a perturbação necessária para que o átomo dispare, ou seja, volte a sua condição natural, liberando portanto, a energia armazenada em forma de ondas eletromagnéticas. Se tivermos uma quantidade de átomos suficientes engatilhados e se a concentração de luz for suficiente teremos um efeito multiplicativo onde o fóton gerado gera outros fótons, obtendo-se assim o fenômeno laser (emissão de radiação estimulada amplificada pela luz).

As características típicas de um laser são:

- luz coerente
- altas potências
- monocromaticidade
- diagrama de irradiação concentrado
- altas tensões de polarização
- fluxo de luz não proporcional à corrente

- vida útil baixa (10000 horas)
- sensível a variações de temperatura
- alto custo
- próprio para sinais digitais
- altas velocidades, ou seja, grande banda de passagem (1 Ghz ou mais)

Os lasers usados em sistemas ópticos são feitos de materiais semicondutores, os quais geram comprimentos de onda apropriados para transmissão (janelas de baixa atenuação). A cavidade onde ocorre o fenômeno laser é obtida através da diferença entre os índices de refração das várias camadas, da diferença de intensidade de campo elétrico e dos espelhos (face polida) do cristal semicondutor.

Existem dois tipos de lasers quanto ao tipo de fabricação:

- Lasers cujo guia de onda (cavidade ressonante) é induzida por corrente, chamados lasers GLD (gainguide laser diode).
- Lasers cujo guia de onda é incorporado pela variação de índice de refração, chamados lasers ILD (index guide laser diode).

As suas principais diferenças são:

a) Corrente de acionamento

GLD: 50 à 120 mA

ILD: 10 à 60 mA

b) Astigmatismo

GLD: forte

ILD: muito fraco

c) Sensibilidade

GLD: baixa

ILD: alta

d) Técnica de fabricação

GLD: simples

ILD: complexa

Os lasers são geralmente montados em módulos que tem a função básica de garantir um perfeito funcionamento e alinhamento em condições de operação, pois são componentes herméticos ou selados.

Divisões da Óptica

Óptica Física: estuda os fenômenos ópticos que exigem uma teoria sobre a natureza das ondas eletromagnéticas.

Óptica Geométrica: estuda os fenômenos ópticos em que apresentam interesse as trajetórias seguidas pela luz. Fundamenta-se na noção de raio de luz e nas leis que regulamentam seu comportamento. O estudo em nível de Ensino Médio restringe-se apenas a esta parte da óptica.

## **Conceitos básicos**

Raios de luz

São a representação geométrica da trajetória da luz, indicando sua direção e o sentido da sua propagação. Por exemplo, em uma fonte puntiforme são emitidos infinitos raios de luz, embora apenas alguns deles cheguem a um observador.

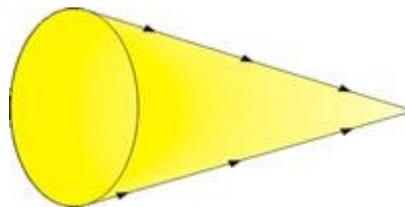
Representa-se um raio de luz por um segmento de reta orientado no sentido da propagação.



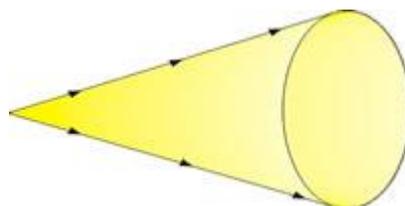
Feixe de luz

É um conjunto de infinitos raios de luz; um feixe luminoso pode ser:

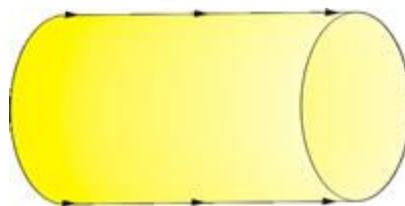
Cônico convergente: os raios de luz convergem para um ponto;



Cônico divergente: os raios de luz divergem a partir de um ponto;



Cilíndrico paralelo: os raios de luz são paralelos entre si.



Fontes de luz

Tudo o que pode ser detectado por nossos olhos, e por outros instrumentos de fixação de imagens como câmeras fotográficas, é a luz de corpos luminosos que é refletida de forma difusa pelos corpos que nos cercam.

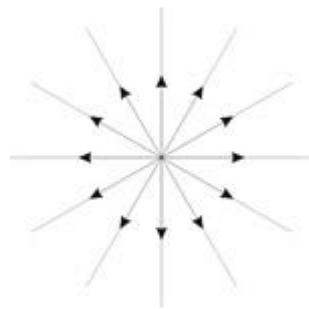
Fonte de luz são todos os corpos dos quais se podem receber luz, podendo ser fontes primárias ou secundárias.

Fontes primárias: Também chamadas de corpos luminosos, são corpos que emitem luz própria, como por exemplo, o Sol, as estrelas, a chama de uma vela, uma lâmpada acesa,...

Fontes secundárias: Também chamadas de corpos iluminados, são os corpos que enviam a luz que recebem de outras fontes, como por exemplo, a Lua, os planetas, as nuvens, os objetos visíveis que não têm luz própria,...

Quanto às suas dimensões, uma fonte pode ser classificada como:

Pontual ou puntiforme: uma fonte sem dimensões consideráveis que emite infinitos raios de luz.



Extensa: uma fonte com dimensões consideráveis em relação ao ambiente.

### **Meios de propagação da luz**

Os diferentes meios materiais comportam-se de forma diferente ao serem atravessados pelos raios de luz, por isso são classificados em:

Meio transparente

É um meio óptico que permite a propagação regular da luz, ou seja, o observador vê um objeto com nitidez através do meio. Exemplos: ar, vidro comum, papel celofane, etc...

Meio translúcido

É um meio óptico que permite apenas uma propagação irregular da luz, ou seja, o observador vê o objeto através do meio, mas sem nitidez.

Meio opaco

É um meio óptico que não permite que a luz se propague, ou seja, não é possível ver um objeto através do meio.

Estudo das fontes ópticas para comunicações

- Tópicos de física de semicondutores
- Díodos emissores de luz (LEDs)
- Díodos laser semicondutores

Fontes Ópticas: LEDs

Estrutura de “Light Emitting Diodes”

– Elevada radiância e eficiência quântica conseguida através do uso de uma hetero-estrutura dupla (“double heterojunction”).

As camadas adjacentes com banda proibida maior confinam os portadores (elevada eficiência quântica)

As diferenças de índice de refração das camadas adjacentes confinam o campo óptico (baixa absorção da radiação emitida)

Atenuação e Dispersão em Fibras Ópticas

A atenuação é o motivo pelo qual a fibra óptica ganhou a importância que tem nas telecomunicações. Ela define a distância máxima (alcance) que um sistema de transmissão óptico pode ter entre emissor e receptor, e pode ser medida de acordo com a seguinte fórmula:

$$a = 10 * ( \log(P_i/P_o) ) * ( 1 / L ),$$

onde  $P_i$  é a potência na entrada,  $P_o$  é a potência na saída e  $L$  é o comprimento da fibra.

As atenuações em fibras ópticas são causadas, basicamente, por 4 razões:

- Absorção

Como nenhum material é perfeitamente transparente, sempre ocorre uma absorção parcial de luz quando esta é forçada a atravessar um meio (absorção intrínseca). Numa fibra, além da absorção do material que compõe seu núcleo, pode haver variações de densidade, imperfeições na fabricação (absorção por defeitos estruturais), impurezas (absorção extrínseca) e outros fatores que aumentam ainda mais as perdas por absorção.

Diversas impurezas podem contaminar uma fibra. O principal motivo de atenuações em alguns tipos de fibra é a contaminação por íons metálicos, que pode gerar perdas superiores a 1 dB/km, mas que atualmente já é controlada através de tecnologias utilizadas na fabricação de semicondutores.

Há também a contaminação por íons hidroxila ( $\text{OH}^-$ ), causada por água dissolvida no vidro (também chamada de atenuação por pico de água, Water Peak Atenuation, WPA), que, por sua relevância nas tecnologias pioneiras de fibra óptica, definiram intervalos de frequências onde essa atenuação era mínima, as chamadas janelas ópticas ou janelas de transmissão. As janelas ópticas são as regiões onde não há picos de atenuação devido ao íon  $\text{OH}^-$ .

Embora, graças ao avanço das tecnologias, essa barreira já tenha sido superada, as janelas ópticas continuam a servir como referência para os sistemas ópticos, sendo cada uma delas associada a um tipo de aplicação específico.

Existem 3 janelas ópticas, ao redor de 850nm, 1300nm e 1550nm, sendo que a última foi subdividida em duas menores (Banda C e Banda L) visando o melhor aproveitamento dessa região de baixas atenuações. A primeira é utilizada para sistemas a curta distância, de baixo custo e utilizando fontes e detectores simples.

A segunda, por sua vez, permite enormes capacidades de transmissão, sendo utilizada geralmente pelas fibras comerciais. Finalmente, a terceira é utilizada por fibras de sílica, por constituir uma região de atenuação mínima para esse material. Nessa janela já se fabricam fibras monomodo de atenuações da ordem de 0,2dB/km, o que já é praticamente o limite teórico para tal comprimento de onda.

O avanço da tecnologia de fabricação das fibras monomodo, como já citado, eliminou a contaminação por íons de hidroxila, permitindo a utilização de um maior número de camadas.

### Espalhamento

Espalhamento é o fenômeno de transferência de potência de um dos modos guiados pela guia para si mesmo ou para outros modos. Há diversos tipos de espalhamentos, lineares e não lineares, mas não adentrarei neles. O principal é o espalhamento de Rayleigh, causado por variações aleatórias na densidade do material da fibra, advindas do processo de fabricação. Outros espalhamentos são causados por imperfeições na estrutura cilíndrica da fibra, vibrações moleculares térmicas e outros fatores, sempre causando perda na potência de luz transmitida.

### Curvaturas

Quando a luz na fibra óptica encontra curvas, sejam elas macroscópicas (curva de uma fibra numa quina, por exemplo) ou microscópicas (pequenas ondulações na interface entre a casca e o núcleo), alguns raios de luz podem formar um ângulo inferior ao ângulo crítico e saírem da fibra, causando perda de potência.



### Características do guia de onda

Na prática, a potência numa fibra óptica não está totalmente presa ao núcleo. Parte da potência pode viajar pela casca da fibra óptica, de forma que passa a sofrer com as atenuações do material do qual a casca é composta (maiores que as do núcleo), o que pode diminuir a capacidade de transmissão da fibra.

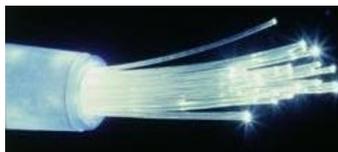
Além desses fatores, ainda há a dispersão, que é um fenômeno resultante da diferença de velocidades de propagação que causa o “espalhamento” de um sinal no tempo (NÃO tem a ver com o espalhamento descrito acima, apesar do uso da mesma palavra), o que limita a taxa de transmissão através das fibras e colabora com sua atenuação.

Como na fibra de índice degrau o índice de refração do núcleo é constante, a velocidade de propagação do feixe de luz também é constante e, assim, quanto maior a distância percorrida, maior o tempo gasto para se chegar ao outro extremo da fibra.

Na fibra multimodo, cada um dos modos tem uma trajetória diferente, e, portanto, percorrem distâncias diferentes. Isso pode fazer com que as informações cheguem ao receptor em momentos distintos. Esse fenômeno é uma das facetas de um tipo de distorção e atenuação no sinal de saída chamada de dispersão.

Deve-se ressaltar que este tipo de dispersão não ocorre apenas em fibras de índice gradual, mas também nas fibras de índice degrau. Nestas, no entanto, a variação gradual do índice de refração permite uma compensação da velocidade de propagação dos modos (raios) cujas trajetórias são mais longas.

A dispersão torna-se mais grave conforme a taxa de envio aumenta, já que bits enviados em seguida, por estarem "espalhados".



O funcionamento desses cabos ocorre de forma bem simples. Cada filamento que constitui o cabo de fibra óptica é basicamente formado por um núcleo central de vidro, por onde ocorre a transmissão da luz, que possui alto índice de refração e de uma casca envolvente, também feita de vidro, porém com índice de refração menor em relação ao núcleo. A transmissão da luz pela fibra óptica segue o princípio da reflexão total da luz. Em uma das extremidades do cabo óptico é lançado um feixe de luz que, pelas características ópticas da fibra, percorre todo o cabo por meio de sucessivas reflexões até chegar ao seu destino final.

Reflexão é quando a luz, propagando-se em um determinado meio, atinge uma superfície e retorna para o meio que estava se propagando.

Os feixes de luz que penetram no cabo óptico sofrem várias reflexões na superfície de separação entre os dois vidros que o formam e dessa maneira a luz caminha, podendo percorrer vários quilômetros de distância, uma vez que a energia nas reflexões não é calculável. Utilizadas como meio para transmissão de ondas eletromagnéticas, como a luz, por exemplo, elas são feitas em vidro porque esse material absorve menos essas ondas.

A transmissão de informações pela fibra óptica ocorre através de um aparelho especial denominado de infoduto, que possui um fotoemissor que faz a conversão da luz em sinais elétricos. A luz que é refletida no interior do cabo óptico pode ser transformada em sinal elétrico, sonoro ou até mesmo luminoso, dependendo da informação que é transmitida. As fibras ópticas são utilizadas principalmente nas telecomunicações, pois apresentam várias vantagens em relação ao uso dos antigos cabos metálicos, conheça as vantagens da utilização das fibras ópticas:

Tem maior capacidade para transportar informações;

A matéria prima para sua fabricação, a sílica, é muito mais abundante que os metais e possui baixo custo de produção;

Não sofrem com as interferências elétricas nem magnéticas, além de dificultar um possível grampeamento;

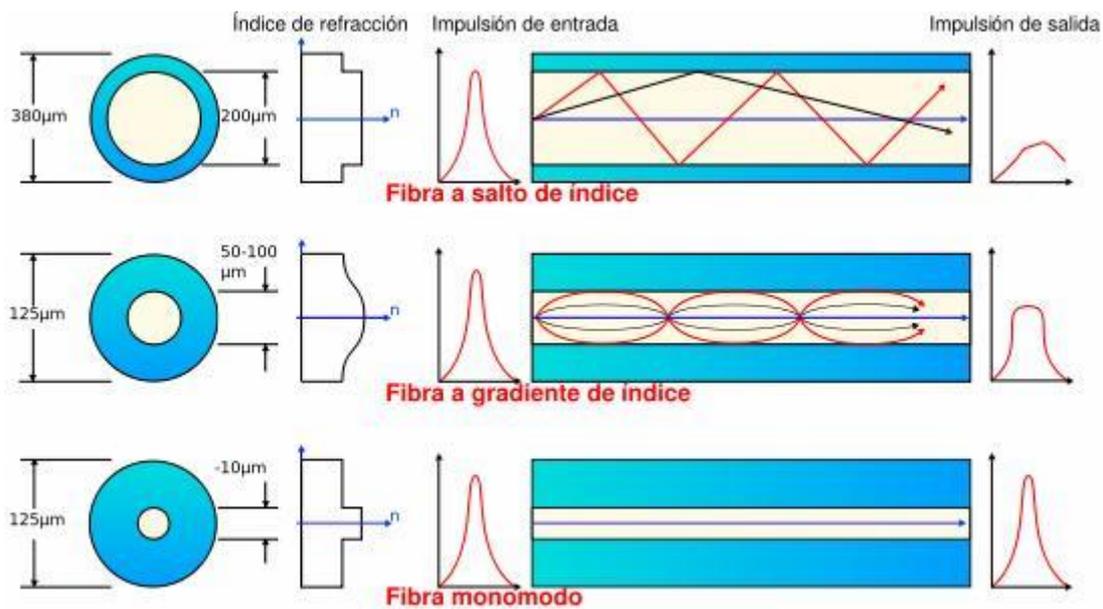
A comunicação é mais confiável, pois são imunes a falhas;

Ao contrário dos fios metálicos, os fios de vidro não enferrujam, não oxidam e não sofrem com a ação de agentes químicos.

Há três tipos de dispersão:

Dispersão Modal ou Intermodal.

É a dispersão que foi descrita nos parágrafos introdutórios desta seção. Ela ocorre nas fibras multimodo, tanto nas de índice gradual, quanto nas de índice degrau. Ressalta-se que nas últimas, sua atuação é mais significativa.



### Dispersão Material.

A dispersão material e a dispersão do guia de onda compõem um tipo de dispersão chamado de dispersão intramodal ou dispersão cromática.

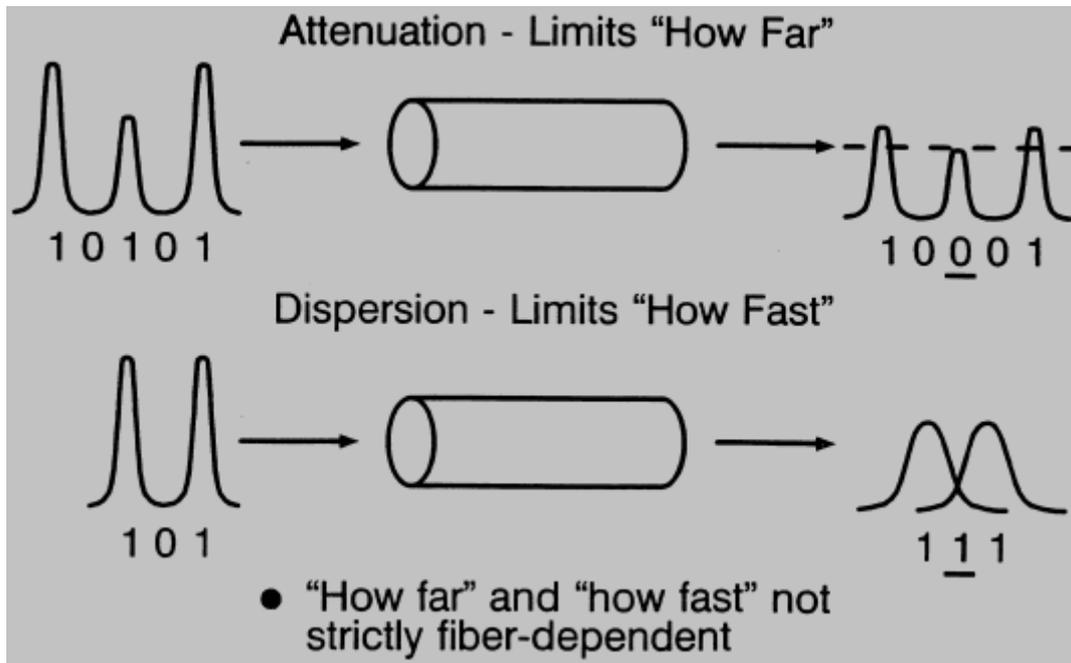
A dispersão material caracteriza-se pelos diferentes atrasos causados pelos vários índices de refração, que variam não-linearmente de acordo com os comprimentos de onda, causando a diferença de velocidades que caracteriza a dispersão.

### Dispersão do Guia de onda.

Este tipo de dispersão resulta da dependência do número  $V$  característico do guia de onda em relação a cada comprimento de onda da luz transmitida. Sabe-se que o atraso de um modo varia não-linearmente com o número  $V$ .

No caso de fibras multimodo, as dispersões que mais influenciam são a dispersão modal e a dispersão material. Na fibra monomodo, por outro lado, pesam mais a dispersão material e a dispersão do guia de onda.

Atualmente, a maior parte dessas barreiras já foi superada, sendo o fator limitante o custo para tal.



Perda por espalhamento é a dispersão de parte da luz guiada pelos vários modos de propagação em várias direções no interior da fibra. A figura abaixo representa este fenômeno. Sendo que as linhas: azul, laranja, rosa e roxo representam os vários modos e direções de propagação da luz no interior das fibras.



Os espalhamentos mais conhecidos são:

Rayleigh: Causado por variações na densidade do material da fibra, provenientes do processo de fabricação. Outros espalhamentos são causados por imperfeições na estrutura cilíndrica da fibra.

Esse é o espalhamento da luz na casca da fibra (parte verde indicada na figura acima).

Raman: Ocorre quando a potência do sinal luminoso irradiado na fibra óptica excita os seus elementos constituintes. E faz com que comecem a vibrar, alterando o modo de propagação da luz.

Mesmo motivo de o céu ser azul – pois a luz do sol excita as moléculas de nitrogênio da atmosfera, o que emite a cor azul.

### Comprimento de onda

Em física, comprimento de onda é a distância entre valores repetidos sucessivos num padrão de onda. É usualmente representado pela letra grega lambda ( $\lambda$ ).

Em uma onda senoidal, o comprimento de onda "é a distância (paralela à direção de propagação da onda) entre repetições da forma de onda". Pode, então, ser representada pela distância entre picos (máximos), vales (mínimos), ou duas vezes a distância entre nós.

No gráfico ao lado, o eixo x representa a distância e o eixo y representa alguma quantidade periódica, como por exemplo a pressão, no caso do som ou o campo elétrico para ondas eletromagnéticas ou a altura da água para uma onda no mar profundo. A altura no eixo y é também chamada de amplitude da onda.

O comprimento de onda  $\lambda$  tem uma relação inversa com a frequência  $f$ , a velocidade de repetição de qualquer fenômeno periódico. O comprimento de onda é igual à velocidade da onda dividida pela frequência da onda. Quando se lida com radiação electromagnética no vácuo, essa velocidade é igual à velocidade da luz 'c', para sinais (ondas) no ar, essa velocidade é a velocidade na qual a onda viaja.

Essa relação é dada por:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

em que:

$\lambda$  = comprimento de onda de uma [onda sonora](#) ou [onda electromagnética](#);

$c$  = velocidade da luz no vácuo = 299.792,458 km/s ~ 300.000 km/s = 300.000.000 m/s

$f$  = frequência da onda 1/s = Hz.

A velocidade de uma onda pode portanto ser calculada com a seguinte equação:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

em que:

$v$  = velocidade da onda.

$\lambda$  = comprimento de onda de uma [onda sonora](#) ou [onda electromagnética](#);

$T$  é o [período](#) da onda.

O inverso do período,  $1/T$ , é chamado de [frequência](#) da onda, ou frequência de onda:

$$f = \frac{1}{T}$$

e mede o número de ciclos (repetições) por segundo executados pela onda. É medida em hertz (ciclos/segundo).

Para caracterizar uma onda, portanto, é necessário conhecer apenas duas quantidades, a velocidade e o comprimento de onda ou a frequência e a velocidade, já que a terceira quantidade pode ser determinada da equação acima, que podemos reescrever como:

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

### Ondas em tubos sonoros

Para tubos com uma extremidade aberta e a outra fechada, teremos um antinodo na extremidade fechada. Assim as oscilações em um tubo com uma extremidade aberta e a outra fechada se assemelha com uma corda com uma extremidade fixa e a outra livre. Seguindo a mesma interpretação, em um tubo com ambas as extremidades abertas, há um nodo em cada extremidade. Estas configurações fazem com que as ondas estacionárias em um tubo de ambas as extremidades abertas se assemelhe as de uma corda com ambas as extremidades fixas.

### Teoria das cores



Um prisma triangular dispersando a luz branca

A sensação visual de cores provocada nos seres humanos está relacionada ao comprimento de onda da radiação, sendo que o maior comprimento de onda provoca a sensação de vermelho, e o menor, violeta.

Cada luz colorida possui uma velocidade de propagação diferente em meios materiais. Sabemos que a luz branca é na verdade a superposição das infinitas cores do espectro visível, e de acordo com a Lei de Snell-Descartes, cada cor será refratada sob determinado ângulo. Isso fica evidente quando um raio de luz branca atravessa um prisma de vidro, por exemplo.

## Cor e comprimento de onda

A tabela a seguir mostra, aproximadamente, os comprimentos de onda relacionados às principais cores do espectro visível.

Cor	Comprimento de onda
vermelho	~ 625-740 nm
laranja	~ 590-625 nm
amarelo	~ 565-590 nm
verde	~ 500-565 nm
ciano	~ 485-500 nm
azul	~ 440-485 nm
violeta	~ 380-440 nm

## Comprimento de onda angular

Relação entre comprimento de onda, comprimento de onda angular e outras propriedades de ondas. ( $\tau$  é uma expressão alternativa para  $2\pi$ .)

O comprimento de onda angular é uma grandeza relacionada ao comprimento de onda (também conhecida como comprimento de onda reduzida), geralmente simbolizada por  $\lambda$  (lambda com barra). Corresponde ao comprimento de onda "regular", "reduzido" por um fator de  $2\pi$  ( $\lambda = \lambda/2\pi$ ). Geralmente, é encontrado em mecânica quântica, onde se usa em combinação com a constante reduzida de Planck (simbolizada por  $\hbar$ , h com barra) e com a frequência angular (simbolizada pela letra grega  $\omega$ ) ou com o número de onda angular (simbolizado pela letra latina k).

Na física, dizemos que a onda se origina em meios elásticos como nas cordas, na superfície da água etc. Sendo assim, definimos uma onda como sendo um movimento oscilatório que se propaga num meio; sendo que nesses

movimentos apenas a energia é transferida, isto é, não há transporte de matéria.

Sabemos que existem dois tipos de ondas e elas são classificadas como ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas. Distinguimos uma onda mecânica de uma onda eletromagnética basicamente da seguinte forma:

- onda mecânica resulta de deformações provocadas em meios materiais, isto é, uma onda mecânica necessita de um meio material para se propagar.
  - onda eletromagnética é o resultado da vibração de cargas elétricas, isto é, onda eletromagnética não necessita de um meio material para se propagar.
- Portanto, uma onda eletromagnética se propaga no vácuo.

Para a propagação de uma onda, podemos usar o mesmo conceito para o cálculo da velocidade média:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Podemos deduzir a velocidade com que uma onda se propaga; para isso basta fazermos o quociente entre o espaço em que a onda percorre em função do tempo. Analisemos a figura acima, onde temos a propagação de uma onda. Nela podemos ver que enquanto o ponto C percorre um comprimento de onda, cada ponto da corda executa uma oscilação por completo.

Por esse motivo é que podemos dizer que o tempo gasto para percorrer um comprimento de onda é o próprio período T da onda. Desta forma, tomando como base a expressão acima, enquanto o ponto C percorre uma distância  $\Delta s = \lambda$ , o tempo gasto é  $\Delta t = T$ . Desta forma, a velocidade de propagação de uma onda é dada por:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Ou podemos escrever da seguinte forma, como  $T = 1/f$ , temos:

$$v = \lambda \cdot f$$

Caso a fonte produtora da onda seja harmônica simples, o período e a frequência serão constantes. Assim, podemos dizer que a velocidade de propagação de uma onda numa corda é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Na equação acima temos que:

- F é a tensão na corda
- $\mu$  é a densidade linear da corda

Vejamos o seguinte exemplo: Suponha que uma onda possui frequência de 8 Hz e esteja se propagando com velocidade igual a 200 m/s. Determine o comprimento de onda da onda.

Retirando os dados fornecidos pelo exercício, temos:  $f = 8$  Hz e  $v = 200$  m/s, aplicando a equação fundamental das ondas, temos:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$200 = \lambda \cdot 8$$

$$\lambda = \frac{200}{8} \Rightarrow \lambda = 25 \text{ m}$$

A Emenda óptica é a junção permanente ou temporária de dois ou mais segmentos de fibras. Serve para aumentar a extensão de um cabo óptico, fazer a mudança de tipo de cabo, conectar um equipamento ativo ou fazer manobras em um sistema de cabeamento estruturado.

Existem diferentes técnicas para fazer a emenda óptica: Emenda Óptica Mecânica, Emenda Óptica por Conectorização e a Emenda Por Fusão

Fusão de fibra óptica, emenda mecânica ou conectorização – Qual a melhor emenda óptica para você?

As maneiras de se fazer emendas de fibra óptica variam na complexidade e na qualidade da emenda, dessa forma sendo utilizadas em diferentes situações.

Todos os procedimentos exigem cuidado, atenção e preparação para sua realização.

Conheça agora os tipos de emendas disponíveis para fibra óptica:

usão de Fibra ou “Fusion Splicing” é o processo de fusão ou soldagem entre duas fibras,

praticamente todas as fusões de fibra são “single-mode”. Nas fibras multimodos o processo é mais complexo.

As máquinas de fusão, necessárias para essa operação, são na maioria dos casos automáticas, algumas com parâmetros de fusão pré-estabelecidos. Todas requerem a utilização do clivador para que o corte da fibra seja preciso, desta forma permitindo que a fibra seja fundida corretamente.

Na máquina de fusão as extremidades das fibras devem ser ajustadas em uma superfície móvel (v-groove), que são utilizadas para alinhar as fibras e ajustar a distância automaticamente. Durante o processo automatizado, o motor irá alinhar as fibras utilizando os seguintes métodos:

#### V-Groove fixo

Esse é um dos alinhamentos na máquina de fusão, também chamado de alinhamento pela casca. Nesse caso, o V-Groove se movimenta apenas para frente e para trás, aproximando as duas fibras para que a fusão ocorra. Seu sistema conta com dois motores para realizar essa tarefa e a máquina de fusão que funciona dessa forma, geralmente, é mais barata, sendo eficiente em fibras novas.

#### V-Groove ativo

É considerado um alinhamento que fica entre o alinhamento pela casca e o alinhamento pelo núcleo. A diferença entre o V-Groove ativo e o V-Groove fixo é que o ativo possui quatro motores, sendo que dois movimentam a fibra de para frente e para trás e outros dois de cima para baixo.

#### Alinhamento pelo núcleo

De todos os alinhamentos na máquina de fusão, esse é o mais complexo, e conta com a ajuda de seis motores: dois que movimentam a fibra de trás para frente, dois de cima para baixo e dois que realizam o alinhamento longitudinal da fibra. Seu uso é aconselhado em redes de fibras antigas ou que utilizem diferentes padrões de fabricação.

Após realizada a fusão, em qualquer uma das modalidades explicadas acima, a resistência mecânica no ponto de emenda é menor do que no restante da fibra, por esse motivo é recomendável utilizar o protetor de material termocontrátil no local onde foi realizada a emenda e assim garantir uma melhor qualidade e durabilidade da mesma.

#### Aplicações

Geralmente utilizado por empresas de telecom e provedores para construção e manutenção de redes de fibra óptica.

Prós: Proporciona a menor perda além de uma articulação mais forte e segura entre as duas fibras.

Contras: É necessário uma alto investimento para adquirir o equipamento.

A maior preocupação que deve haver no momento de estruturação da rede óptica, além de um bom projeto, é a qualidade e manuseio dos passivos que a compõe.

Dentro dos passivos podemos citar: Caixas de emenda, Splitters, Caixas Terminais Ópticos, Conectores, Fibra Óptica, Etc.

Além disso, as ferramentas utilizadas para o manuseio da fibra e sua fusão também é um fator a ser levado em consideração e, este ultimo (fusão), pelo simples fato de ser o principal ato de constituição de uma rede óptica, deve ser muito bem executado.

A transição de cobre para a tecnologia de fibra óptica significa a necessidade de novas ferramentas e habilidades. Além de adquirir algum conhecimento teórico, os instaladores devem melhorar suas habilidades manuais como o trabalho com fibras ópticas requer uma abordagem diferente, mais cuidadosa.

Similarmente a outros tipos de sistemas de cabos, o processo de instalação de um sistema de fibra óptica podem ser divididos em três fases principais:

#### Cabos de poedeiras

- ✓ instalação de conectores e componentes passivos
- ✓ instalação e configuração de dispositivos ativos

O caminho de cabos poedeiras é essencial para a atenuação dos sinais ópticos transmitidos. Cada cabo contém um ou mais tipos de fibras. O tipo de fibra determina o raio de curvatura mínimo, no entanto o instalador não se deve confundir o raio de curvatura mínimo de uma única fibra e do próprio cabo.

O raio mínimo de curvatura de um cabo é normalmente igual a 20x seu diâmetro. O raio mínimo de curvatura de uma única fibra depende do seu padrão, por exemplo:

30 mm para fibras G.652D

10 mm para fibras G.657A1

7.5 mm para fibras G.657A2

No caso de FTTH (Fiber To The Home) sistemas, o padrão recomendado é o G.657A2, com o menor raio de curvatura mínimo. Isto facilita muito o trabalho do instalador e minimiza os problemas associados com o aumento de atenuação de sinal causada por curvas acentuadas (ângulos de direito, etc.)

Durante a instalação de cabos não é permitido exceder a força de tracção máxima. Ao contrário, no caso de cabos coaxiais ou de par torcido, a localização do defeito de uma fibra não é fácil, a menos que o instalador tem um dispositivo caro - reflectividade.

A conexão e configuração de dispositivos ópticos activos não é difícil, em geral os procedimentos são semelhantes aos que têm lugar em redes LAN baseado em cabos UTP. No entanto, o instalador deve se lembrar sobre duas questões importantes:

1. IR luz laser é invisível ao olho humano, mas podem ser muito prejudiciais - todas as ligações devem ser feitas antes de todos os dispositivos estão ligados.
2. Dispositivos ópticos e conectores exigem elevados padrões de limpeza - toda a sujeira vai aumentar a atenuação do enlace óptico.

A maioria dos problemas vividos pelos instaladores inexperientes são encontrados durante a conexão de fibras ópticas. Aqui estão algumas dicas práticas que são comuns para todas as técnicas de emenda (emenda de fusão, emenda mecânica, colagem e polimento). Esperamos que eles vão ajudar algumas pessoas a começar a aventura com a tecnologia de fibra óptica.

#### 1. Reserva Fibra e Fibras livres

Pode ser parte do instalador para pensar no futuro e informar o investidor/cliente que alguns comprimentos de cabos de reposição e várias fibras adicionais em cada cabo pode resolver muitos problemas no futuro. Uma ligação ponto-a-ponto requer duas fibras, ou com a utilização de tecnologia WDM - uma única fibra. Quando, por exemplo, é preciso quatro fibras, é razoável usar um cabo de 8 fibras do que o (cabos ópticos populares geralmente têm 2, 4, 8, 16, 24 ... fibras) "mínimos" de quatro fibras. Os cabos

de fibra óptica são baratas, mas o custo de re-instalação pode ser elevada e deve ser evitado, de modo que é muito melhor do que as fibras têm de reposição para as necessidades futuras ou simplesmente como uma cópia de segurança, no caso de uma falha de uma única fibra.

É altamente recomendável para deixar um comprimento adicional do cabo em um sobressalente rack de armazenamento do cabo - geralmente cerca de 10 metros mais ou menos. A atenuação adicional é insignificante em comparação com aquele causado por ligações e junções. No futuro, a reserva do cabo pode resolver os problemas causados por situações inesperadas (nova localização de um servidor, a necessidade de mudar o cabo do caminho, etc.) Ter uma reserva de cabo, o instalador pode fazer alterações sem custos adicionais que seriam necessários no caso de colocar novo cabo.

### Quadros de distribuição e caixas

Como mencionado anteriormente, os cabos e as fibras apresentam respectivos raios de curvatura mínimo. A solução mais fácil e rápida para garantir cabo / fibra interconexões e rescisões é usar quadros de distribuição adequados e caixas com bandejas para os cabos e fibras. Eles forçam o correto posicionamento dos cabos e fibras e evitar danos acidentais às fibras nas interligações e terminações.



Vista da caixa TB-02H com pigtail L3551, adaptador L4211 e emenda mecânica L5550

Componentes de instalação:

bandejas - componentes de armários e quadros de distribuição

quadros de distribuição - geralmente utilizados em sistemas de rack de 19"

caixas - usados em sistemas menores ou para terminações de linha, pontos de ramificação, em postos etc



Caixa	Caixa	Bandeja
Distribuição	ULTIMODE	Emendas
ULTIMODE	MT-548	ULTIMODE
TB-04B	L5148	P-6
L5404		L5506

### 3. Descarnar o cabo de fibra óptica

As camadas de proteção de cabos ópticos pode ser retirado com ferramentas típicas, como facas, cortadores, strippers. Claro, o instalador deve tomar muito cuidado com as fibras expostas. O cabo de todo com os revestimentos de protecção e de revestimento tem de ser inserido dentro do quadro ou caixa e ligada a ela - não está autorizado a utilizar para este fim, as fibras extraídas.

Se for um cabo exterior preenchido com gel, que é necessário para limpar as fibras com álcool isopropílico a partir do gel de protecção antes de inserir a extremidade do cabo dentro de uma caixa.

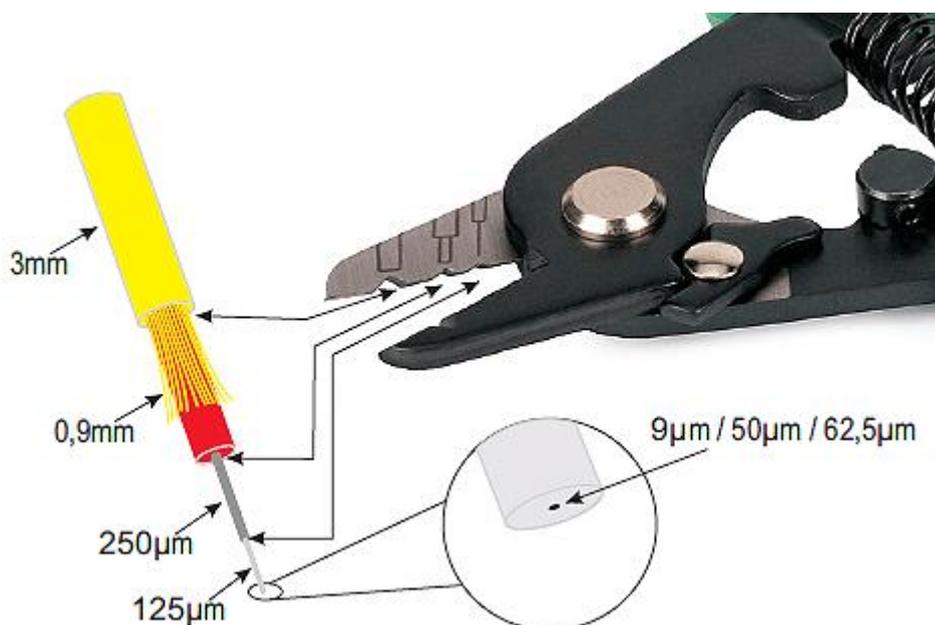
No caso dos cabos reforçados com fios de aramida, é necessário removê-lo. Esta operação requer tesouras especiais para cortar Kevlar. Estas ferramentas especialmente construídas com lâminas feitas de material endurecido garantir bons resultados e são duráveis. A utilização de facas ou tesouras comuns na maioria dos casos não irá proporcionar o efeito desejado e pode ser arriscada para as fibras ópticas (principalmente devido à força adicional necessária para separar o fio).

#### Preparação para a emenda

Esta fase do trabalho é a mais exigente. O local de trabalho deve ser mantido limpo e instalador, equipado com as ferramentas necessárias, tem que usá-los de forma precisa e eficaz.

O primeiro passo - preparar a extremidade da fibra

As fibras extraídas normalmente têm diâmetros de 0,9 milímetros (900  $\mu\text{m}$ ) ou 0,25 mm (250  $\mu\text{m}$ ). Eles consistem de múltiplas camadas que são (a partir do centro): núcleo, revestimento, tampão, revestimento protector. Dependendo do tipo de fibra, o núcleo tem diâmetro de 62,5 / 50 micrómetros (multimodo) ou 9 micrómetros (single-mode). O revestimento tem diâmetro de 125 micrómetros, e o tampão de 250 micrómetros. É o mais recente de revestimento em cabos cheios com gel, colorido de acordo com a norma GB13993.3-2001. No caso de outros cabos, o revestimento protector é geralmente 0,9 milímetros de espessura e apropriadamente colorido. As fibras deste tipo são usados nos cabos de distribuição, incluindo os cabos de fácil acesso com tubo solto.



Independentemente do método de splicing / ligação, a espessura final da fibra / s deve ser de 125 micrómetros, tanto no caso das fibras de modo único e multimodo. Portanto, a melhor escolha é uma ferramenta universal capaz de tomar excessivas camadas de fibras com diâmetros diferentes.

A stripper tem três aberturas. O primeiro tira 250 um tampão de revestimento de fibra óptica 125 mM. O segundo orifício de tira 900 mM tampão de revestimento baixo para o revestimento de 250 microns. A terceira abertura é usada para retirar 2-3 mm revestimentos para baixo para o revestimento de

tampão 900 mM. O comprimento da fibra stripped off-125 um deve ser escolhida dependendo do método de splicing e tipo de cutelo.

#### A segunda etapa - Limpeza da fibra

Após a preparação da extremidade da fibra, que é necessário limpá-lo a partir da terra e detritos deixados após os revestimentos retirados. É altamente recomendado o uso para esse fim o álcool isopropílico (IPA). Álcool etílico deixaria alguns depósitos. O mesmo se aplica para os toalhetes - deve ser aquelas livres de poeira.

Limpador solvente IPA e toalhetes livre de poeira também são usados para limpar a face do casquilho após polimento.

A sujidade do lado da fibra é movida para a sua extremidade, é por isso o primeiro passo é limpar a fibra, então a cortá-lo. A ordem inversa afetaria em deixar um pouco de terra na ponta da fibra e na deterioração significativa dos parâmetros de emenda.

#### A terceira etapa - descarnar a fibra

Adequadamente preparada e feita de fibras pode ser clivada. Para este efeito, não foram projetados especiais, cutelos de precisão. Com a clivagem é a etapa mais importante para a qualidade da tala e baixa atenuação da conexão.

Na verdade, a fibra cutelo é usado para arranhar a fibra e dobrá-lo, a fim de quebrá-lo ao longo do arranhão. É semelhante ao corte de vidro - a clivagem final é o resultado do esforço interno gerado durante a dobragem. Um mencionado acima, após a clivagem da fibra não deve ser limpo outra vez. Um erro comum cometido pelos usuários do F1-6000 cutelo está aplicando força excessiva sobre a lâmina. Isso leva a micro-rachaduras e superfície opaca.

#### Emendas da Fibra

Extremidades da fibra devidamente preparado pode ser emendado usando vários métodos, ou seja, de emenda de fusão, emenda mecânica, colagem e polimento.

Arco de emenda de fusão é realizada com máquinas especiais que fundem as extremidades da fibra em conjunto com um arco eléctrico. Este método assegura melhores resultados, mas o equipamento pode ser ainda demasiado caro para pequenas empresas de instalação e instaladores individuais.

Uniões mecânicas são feitas com a utilização de caixas de plástico especiais que posicionam as extremidades da fibra. O gel óptico que também é usado nos dispositivos reduz os efeitos de cortes imprecisos e uma possível diferença entre as faces terminais das fibras.

Em cada um dos métodos, o comprimento da fibra nua deve satisfazer as especificações da máquina de emenda de fusão ou emenda mecânica. Caso contrário, a ligação pode causar atenuação significativa que reduza o intervalo da ligação ou mesmo fará a transmissão de dados impossível.

Emendas da fibra são delicadas, por isso eles devem ser adequadamente protegidos. A melhor maneira é colocá-los em caixas dedicadas. A maioria das caixas de instalação interessantes não tem compartimentos especiais para emendas, mas é fácil de instalar no seu interior tabuleiros adicionais destinados a esta finalidade.

Usando emendas mecânicas, o instalador pode verificar a qualidade das ligações, com base em "fugas" de luz. O VFL650-5 L5934 localizador é projetado para testar os cabos e conexões de fibra óptica monomodo e multimodo com 2,5 milímetros ponteiros. Ele emite luz visível (650 nm) e sua potência de saída é suficiente para verificar até 5 km ligações de longa duração.

Usando o localizador visual de falhas, o instalador é capaz de detectar problemas típicos que normalmente são invisíveis. Defeitos mecânicos são frequentemente encontrados nas extremidades das fibras, e são o resultado da má manipulação do cabo durante a instalação.

## 5. Medidas de atenuação na fibra óptica

Após a conclusão de um sistema óptico que o instalador deve medir a atenuação de conexões ópticas. As medições de perda de energia em redes de fibra óptica realizados com medidores de potência óptica são possíveis apenas quando a fonte de luz está calibrado e estável. É inaceitável para medir a atenuação de um percurso óptico com a utilização de dispositivos activos, tais como módulos SFP, meios conversores, etc precisão insuficiente e estabilidade das fontes luminosas incorporados nestes dispositivos não permitem medições fiáveis, e a incerteza pode chegar a 1 dB ou mais.

As medições de atenuação de caminhos ópticos principalmente para permitir a verificação da qualidade do trabalho de instalação. Mas não é a única razão para tomar medidas. De um ponto de vista prático, o conhecimento de atenuação de caminhos ópticos podem ser necessários para determinar a necessidade de se utilizar atenuadores ópticos.

Dispositivos activos de fibra óptica são caracterizados por dois parâmetros principais, a alimentação do transmissor e de sensibilidade do receptor (no caso de um dispositivo de transceivers WDM é tanto o transmissor e receptor) de saída.

No caso de ligações de curta duração (por exemplo, em edifícios), os dispositivos com elevada potência de saída pode drivear ou mesmo destruir o equipamento receptor. A medida precisa da atenuação do percurso óptico permite que o instalador para prever se e que tipo de atenuador deve ser usado num dado caso.