

- PRÁTICA -

FUNDAMENTOS GERAIS DE SISTEMAS ÓPTICOS

í N D I C E	PÁG.
01. GENERALIDADES	02
02. CAMPO DE APLICAÇÃO	02
03. REFERÊNCIAS	02
04. INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS ÓPTICOS	02
05. PRINCÍPIOS BÁSICOS	05
06. PROPRIEDADES DOS DIVERSOS TIPOS DE FIBRAS ÓPTICAS	12
07. MEDIÇÕES REALIZADAS EM SISTEMAS ÓPTICOS	15
08. CONFIGURAÇÃO DE UM SISTEMA DE TRANSMISSÃO OPTICO	15
09. OBSERVAÇÃO	17
10. APROVAÇÃO	17

01. GENERALIDADES

1.01 Esta Prática tem por objetivo, apresentar os fundamentos e conceitos básicos sobre os sistemas de transmissão ópticos.

02. CAMPO DE APLICAÇÃO

2.01 Este documento aplica-se a todas as Empresas do Sistema TELEBRÁS.

03. REFERÊNCIAS

3.01 FIBRAS ÓPTICAS - Tecnologia de Sistemas William F. Glizza, Evandro Conforti e Hélio Waldman - Makron Books MC Graw Hill.

3.02 BÁSICO DE COMUNICAÇÕES ÓPTICAS - Edição Experimental - EMBRATEL.

04. INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS ÓPTICOS

4.01 PRINCÍPIOS DE TRANSMISSÃO ÓPTICA - nos sistemas de transmissão óptica a mensagem a ser transmitida modula uma fonte óptica apropriada, cuja luz é acoplada a uma fibra óptica, que a conduz até o local de recepção. Neste, o sinal óptico é demodulado.

4.02 FIBRA ÓPTICA - Consiste de uma guia de onda cilíndrico formado por núcleo de material dielétrico (em geral, vidro de alta pureza), e por uma casca também de material dielétrico (vidro ou plástico) com índice de refração ligeiramente inferior ao núcleo, empregados como meio de transmissão para sinais óptico.

4.03 SISTEMA DE TRANSMISSÃO ÓPTICA - A figura 1, mostra a composição básica de um enlace de transmissão óptica unidirecional. O sinal elétrico passa por um circuito de condicionamento de sinal, o qual pode, por exemplo alterar a amplitude, a frequência ou (em casos de sinais digitais) a forma do sinal. O sinal condicionado é então levado ao conversor eletro-óptico, que são dispositivos semicondutores (led ou diodo laser) capazes de produzirem uma radiação luminosa conforme espectro da figura 2, a partir de estímulo elétrico. Esta radiação luminosa é então acoplada a fibra óptica, a qual à guia até ao conversor opto-eletrônico do receptor.

O conversor opto-eletrônico é constituído de dispositivo semi-condutor (DIODO APD ou PIN) capaz de produzir sinal elétrico através de estímulo óptico. Para o acoplamento dos conversores eletro-óptico e óptico-eletrônico à fibra óptica, são utilizados conectores especialmente desenvolvidos.

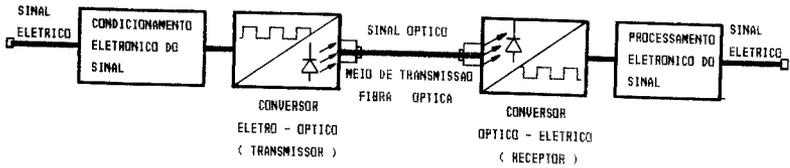


FIGURA 1

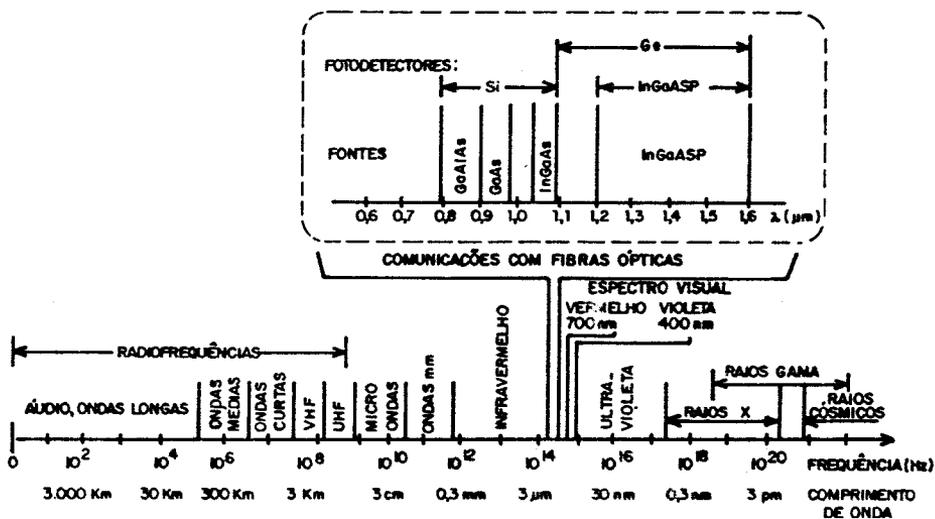


FIGURA 2

05. PRINCÍPIOS BÁSICOS

5.01 TRANSMISSÃO DE LUZ - Consiste da condução do feixe de luz do transmissor ao receptor, utilizando-se fibra óptica como meio de transmissão. Como mencionado no item 4.02, para a fibra óptica guiar a luz, é necessário que seja formada por duas camadas concentradas (núcleo e casca), conforme figura 3, com índices de refração diferentes, sendo o da casca ligeiramente menor que o do núcleo.

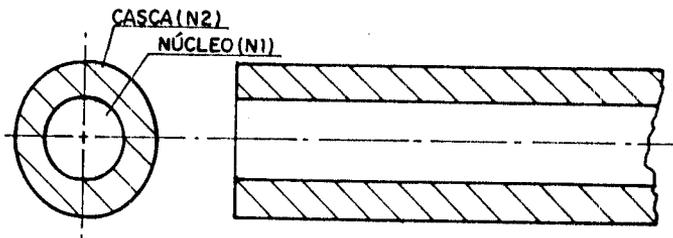


FIGURA 3

5.02 ÍNDICE DE REFRAÇÃO - O índice de refração é definido como a relação entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio de transmissão.

$$NI = \frac{C}{CI}$$

C = Velocidade da luz no vácuo

CI = Velocidade da luz no meio de transmissão

5.03 LEI DE REFRAÇÃO (LEI DE SNELL) - Se a luz passa de um meio com um índice de refração N1 para um outro com um índice de refração N2, ela muda de direção, se o ângulo de incidência for agudo, conforme figura 4.

$$\frac{\text{Sen } \alpha}{\text{Sen } \beta} = \frac{N2}{N1} = \frac{C1}{C2}$$

- Onde:
- N2 = índice de refração do meio 2
 - N1 = índice de refração do meio 1
 - C1 = Velocidade da luz no meio 1
 - C2 = Velocidade da luz no meio 2
 - α = Ângulo de incidência em relação a normal à superfícies de separação dos dois meios
 - β = Ângulo de transmissão em relação a normal à superfícies de separação dos dois meios

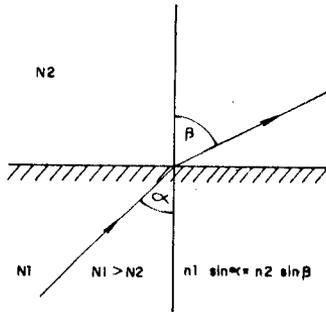


FIGURA 4

Aplicando a Lei de Refração, a fibra óptica para a situação de $N_1 > N_2$, tem-se três casos:

- a) Ângulo de Incidência menor que o ângulo crítico. Haverá mudança de direção da luz (refração), conforme figura 5, mas neste não haverá o guiamento da luz.

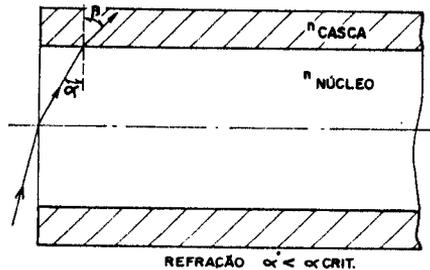


FIGURA 5

- b) Ângulo de Incidência da luz igual ao ângulo crítico (α_{crit}). Conforme mostrado na Figura 6, o ângulo $\beta = 90^\circ$ e $\sin \beta = 1$. Para esse caso crítico a lei de SNELL será:

$$\sin \alpha_{\text{crit}} = \frac{n(\text{casca})}{n(\text{núcleo})} \quad \sin \beta \rightarrow \sin \beta = 1$$

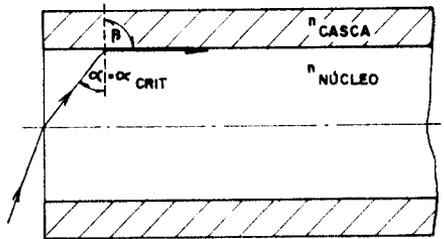


FIGURA 6

Caso Crítico: $\alpha = \alpha \text{ crítico} = \text{ARC sen } \frac{n(\text{casca})}{n(\text{núcleo})}$

Neste caso a luz caminha ao longo da linha divisória entre o núcleo e a casca, e também não ocorre o guiamento da luz.

O ângulo crítico ($\alpha \text{ crít.}$) depende, portanto, da diferença dos índices de refração do núcleo e da casca.

- c) Ângulo de Incidência maior que o ângulo crítico. A luz será refletida na interface entre o núcleo e a casca, caracterizando neste caso a "reflexão total", conforme figura 7. Neste caso ocorre o guiamento da luz e a transmissão óptica é viabilizada.

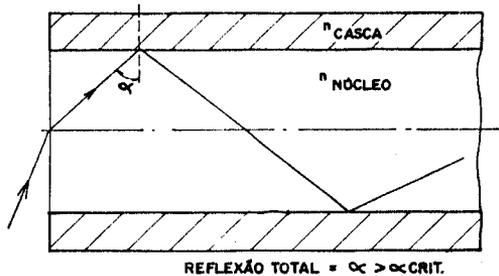


FIGURA 7

5.04 REFLEXÃO TOTAL - Enquanto o ângulo de incidência for maior que o crítico ($\alpha_{\text{crit.}}$) a luz é conduzida dentro do núcleo por reflexão total. Quanto maior o ângulo entre o feixe de luz e a superfície da face de entrada da fibra, tanto menor a distância a ser percorrida para chegar à outra extremidade.

Se feixes de luz com ângulos de incidência diferentes entrarem no núcleo, eles percorrerão individualmente distâncias diferentes e, portanto terão tempos de propagação diferentes, conforme figura 8

Um sinal de modulação sobreposto aos raios de luz chegará nestas condições e com tempos diferentes na outra extremidade da fibra óptica e será conseqüentemente distorcido quando aos raios individuais forem recombinados (superposição).

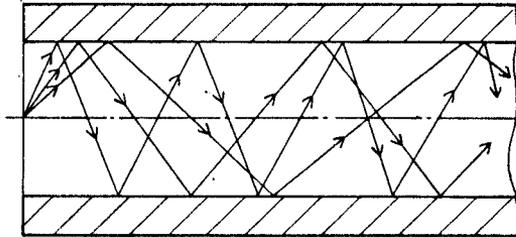


FIGURA 8

5.05 ABERTURA NUMÉRICA - Somente a luz que atinge uma determinada área da superfície da fibra óptica será acoplada para o interior da fibra. O ângulo máximo do cone de luz na entrada de uma fibra óptica, $2\theta_A$, chama-se "Ângulo de Aceitação", conforme Figura 9.

O seno deste ângulo chama-se "Abertura Numérica" (AN) da fibra óptica.

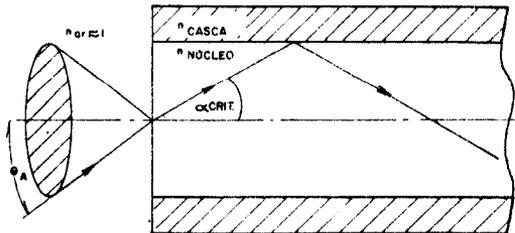


FIGURA 9

5.06 DISPERSÃO - A distorção do sinal em fibras ópticas chama-se "Dispersão".

A atenuação devido à dispersão dos sinais aumenta com o incremento da frequência dos sinais modulantes.

No domínio do tempo isso significa que pulsos curtos de luz são alargados quando passam por fibras ópticas. Este efeito é causado por vários tipos de dispersão.

- a) Dispersão modal (intermodal) - nas fibras chamadas "Multimodo", o diâmetro do núcleo situa-se na região de 50 e 100 μm , portanto, grande em comparação com o comprimento da onda de luz. Isso permite a geração de propagação de uma grande quantidade de ondas individuais ou "modos". Estes modos diferem na sua velocidade de propagação. Um pulso de luz, que ao entrar na fibra óptica gere vários modos ao mesmo tempo, será dividido em vários pulsos parciais que chegam ao fim da fibra em instantes diferentes. Isso significa que de fato há uma diferença de retardo de grupo para as diferentes ondas e o pulso de saída ficará dessa maneira mais largo que o de entrada correspondente, conforme figura 10.

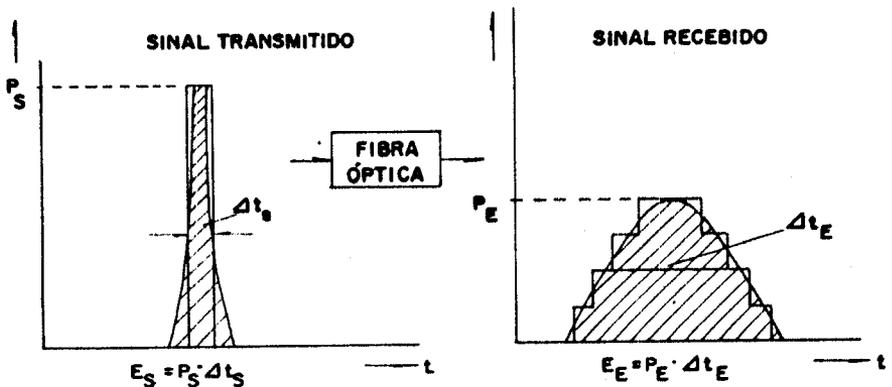


FIGURA 10

Nota:

Nas fibras "MONOMODO" a dispersão de modo praticamente não existe, pois o diâmetro do seu núcleo é de aproximadamente $9 \mu\text{m}$, o que possibilita a propagação de apenas um tipo de onda, paralelo ao eixo da fibra.

- b) Dispersão Material (Cromática ou Intramodal) - A dispersão de material depende da composição do material da fibra e da largura espectral da fonte luminosa. O alargamento pulso é função da variação do índice de refração do material com relação ao comprimento de onda de luz " $n(\lambda)$ ", fazendo com que os diversos componentes do aspecto da fonte luminosa viagem com velocidades diferentes. O alargamento do pulso devido à dispersão material é dado pela seguinte fórmula:

$$A = \frac{-\Delta\lambda}{c} \cdot \frac{d^2 n(\lambda)}{d\lambda^2} \quad [\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})]$$

Onde:

- A = Alargamento do pulso
 $\Delta\lambda$ = Largura espectral da fonte luminosa
c = Velocidade da luz no vácuo
n = índice de refração do núcleo

O gráfico da figura 11 mostra a relação entre a dispersão de material e o comprimento de onda no caso da sílica.

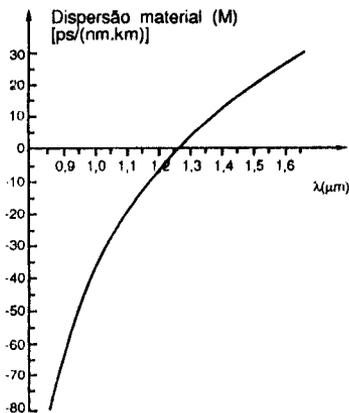


FIGURA 11

c) Dispersão de Guia de Onda - A dispersão de guia de onda é a medida da dependência das velocidades de grupo dos modos individuais, das dimensões da fibra óptica e do comprimento de onda da luz usada. Uma vez que as dimensões da fibra óptica são constantes, a relação entre comprimento de onda e as dimensões do guia de ondas somente muda se o comprimento de onda muda. Isso influencia todos os modos pelo fato de que a constante de propagação de cada modo é ligeiramente dependente do comprimento de onda. Este efeito é muito pequeno nas fibras ópticas, multimodo e é desconsiderado. Já nas fibras ópticas monomodo ele é muito importante, pois tem a propriedade de compensar a dispersão material em certos comprimentos de ondas. Visto que as fibras ópticas normalmente usadas são de geometria circular, a dispersão de guia de onda é a relação entre o diâmetro do núcleo e o comprimento de onda.

$$\text{Dispersão de Guia de Onda} = \frac{\text{Diâmetro do Núcleo (d)}}{\text{Comprimento de Onda (\lambda)}}$$

5.07 ATENUAÇÃO - Em fibras ópticas a atenuação varia em função do comprimento de onda da luz transmitida e é a somatória de várias perdas ligadas ao material empregado na fabricação da fibra e à estrutura do guia de onda por ela formado. O gráfico da figura 11 mostra a característica típica de atenuação de uma fibra de sílica.

O incremento da atenuação na região de comprimento de onda mais curto resulta de descontinuidades microscópicas na estrutura do material transparente.

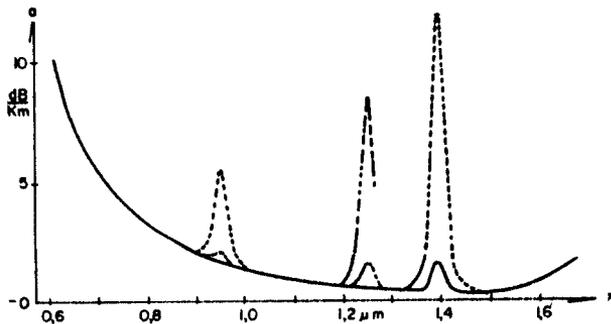


FIGURA 12

Este efeito chama-se "Espalhamento de Rayleigh". A atenuação aumenta nos comprimentos de onda mais longos.

O efeito do "Espalhamento de Rayleigh" determina o valor mínimo absoluto da atenuação em fibras ópticas.

6. PROPRIEDADES DE DIVERSOS TIPOS DE FIBRAS ÓPTICAS

6.01 FIBRAS DE ÍNDICE DEGRAU - é constituída de um núcleo de 50 a 100 de diâmetro, coberto por uma casca com índice de refração ligeiramente mais baixo. A luz é refletida na linha divisória entre o núcleo e a casca, e se propaga em reflexões sucessivas, no interior da fibra, conforme Figura 13.

A propagação multimodo neste tipo de fibra, limita a largura de banda (capacidade de transmissão). Por outro lado, na fibra de índice degrau, existe a facilidade de acoplamento entre fibras ou entre a fibra e transmissor/receptor.

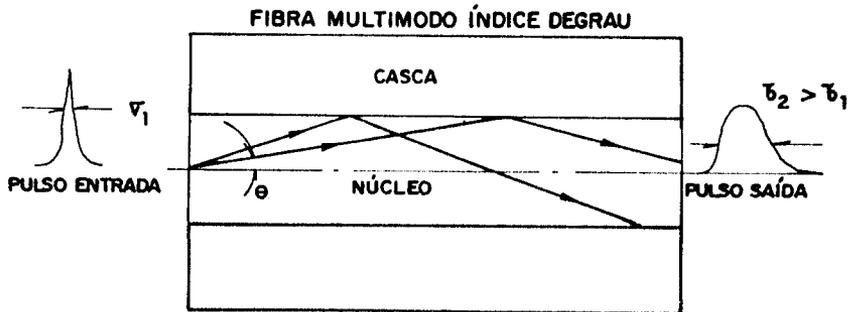


FIGURA 13

6.02 FIBRA DE ÍNDICE GRADUAL - Nesta fibra, o índice de refração entre o núcleo e a casca varia progressivamente. A luz não é mais conduzida por múltiplas reflexões totais, mas sim, retratada de volta para o centro da fibra, em forma de uma propagação ondulatória, conforme figura 14.

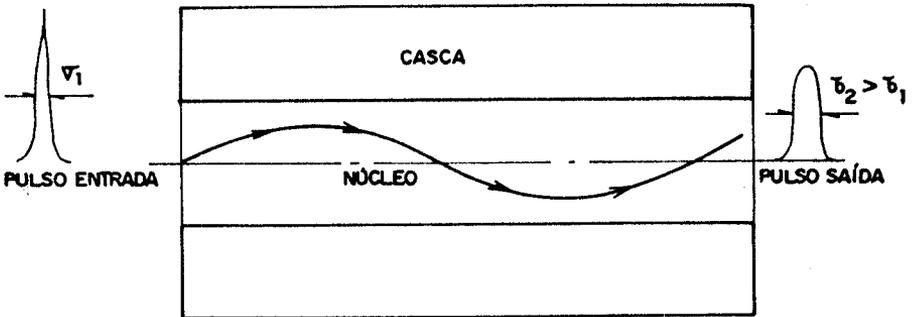


FIGURA 14

6.03 FIBRAS DO TIPO MONOMODO - As fibras MONOMODO possuem dimensões do núcleo menores e uma maior capacidade de transmissão, onde só existe um único modo de propagação, ou seja, em termos de geometria óptica, transmite apenas o raio axial.

Tem dimensões do núcleo muito pequenas, dificultando, portanto, a conectividade. Caracteriza-se entretanto, por uma capacidade de transmissão (largura de banda) bastante superior às fibras do tipo MULTIMODO.

6.04 COMPRIMENTO DE ONDAS OPERACIONAIS - A atenuação do sinal é um dos parâmetros mais importantes para cabos de telecomunicação. Para fibras ópticas este coeficiente depende muito do comprimento de ondas e apresenta três mínimos distintos. Estas regiões de baixo coeficiente de atenuação são chamadas de janelas de transmissão, conforme figura 15.

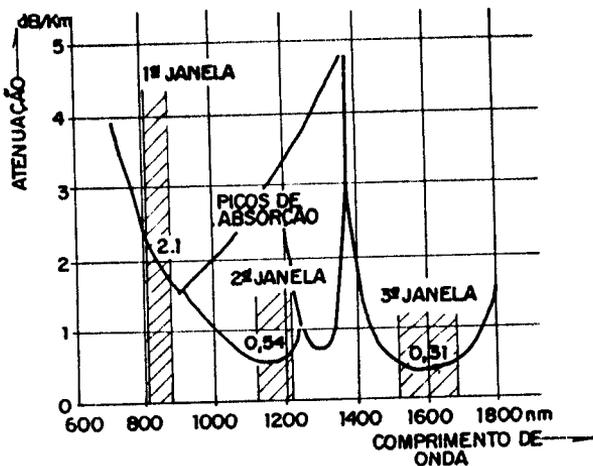


FIGURA 15

- a) 1ª JANELA - Esta janela situa-se na região infra-vermelha próxima, com um comprimento de onda de $0,85 \mu\text{m}$.
- b) 2ª JANELA - Esta situa-se na faixa de $1,3 \mu\text{m}$. Nela, as distorções do tempo de propagação causadas pelo próprio material são mínimas.
- c) 3ª JANELA - Situada na faixa de $1,55 \mu\text{m}$, esta janela apresenta o valor mais baixo de atenuação.

6.05 LARGURA DE BANDA - A largura de banda (capacidade de transmissão) de uma fibra óptica depende também do comprimento de onda. Isso pode ser otimizado para um determinado comprimento de onda por meio de uma escolha cuidadosa do perfil do índice de refração e pela dopagem do material durante a fabricação. A largura de banda é máxima na segunda janela, porque a dispersão do material, uma das causas da distorção, é mínima nesta região. O produto largura de banda x comprimento (MHZ x Km), determina a capacidade de transmissão da fibra.

Existe um tipo de fibra especial (dispersão deslocada), que praticamente elimina a dispersão na 3ª janela de transmissão. Isto faz com que aumente a largura de banda nesta janela.

7. MEDIÇÕES REALIZADAS EM SISTEMAS ÓPTICOS

7.01 MEDIÇÕES NAS INTERFACES ÓPTICAS

- Atenuação de fibras ópticas
- Distorções em fibras ópticas
- Potência óptica (transmissor e receptor)
- Controle de conexões (emendas e conectores)
- Localização de defeitos
- Sensibilidade e saturação do receptor
- Razão de extinção

7.02 MEDIÇÕES NAS INTERFACES ELÉTRICAS

- Taxas de erros
- Jitter
- máscara do pulso (diagrama de olho)
- Resposta de frequência do canal de serviço

7.03 Estas medições são feitas nas seguintes áreas:

- Desenvolvimento, produção e teste de fibras
- Desenvolvimento, produção e teste de componentes do sistema
- Instalação de cabos e instalação de sistemas de transmissão óptica.
- Ativação e testes de aceitação de sistemas
- Manutenção e localização de defeitos

8. CONFIGURAÇÃO DE UM SISTEMA DE TRANSMISSÃO ÓPTICO

8.01 Um sistema óptico é formado pelos seguintes componentes:

a) Elo - Equipamento de linha óptica:

- O Elo é o responsável pela conversão do sinal elétrico em sinal óptico no sentido de transmissão e vice-versa no sentido de recepção. O sinal óptico tem taxa de transmissão superior ao do sinal elétrico devido à inserção de pulsos de sincronismo, alarme e canal de serviço.

b) Rot - Repetidor óptico de trânsito

- Sua função é realizar a regeneração do sinal óptico quando o lance ultrapassa o espaçamento máximo permitido. Necessita de infra-estrutura adequada, como alimentação elétrica e climatização.

c) BEO - Bastidor de Emenda óptica

- Estrutura mecânica vertical, destinada a possibilitar a interligação do cabo óptico da rede externa com os Elo's, através do cordão óptico monofibra, via distribuidor intermediário óptico (DIO). No BEO as emendas das fibras do cabo com os cordões monofibra que vão para o DIO, são feitas pelo método de fusão.

d) DIO - Distribuidor Intermediário óptico.

- É uma estrutura mecânica vertical, destinada à interligação de cordões ópticos monofibra aos Elo's no DIO, a junção dos cordões monofibra é pelo processo mecânico (conectores). Tem como finalidade principal, proporcionar flexibilidade à operação do sistema.

8.02 Um exemplo de configuração do sistema é dada pela figura 16.

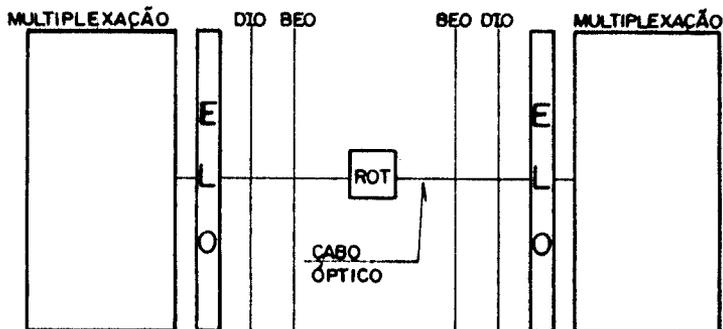


FIGURA 16

9. OBSERVAÇÕES

9.01 Quaisquer comentários, sugestões, críticas ou outro tipo de informação relacionada com o presente documento, devem ser dirigidas ao Departamento de Operações da TELEBRÁS.

10. APROVAÇÃO

10.01 Esta prática foi emitida e aprovada em 10/7/92, pelo Chefe do Departamento de Planejamento de Desenvolvimento Operacional, por delegação do Diretor de Coordenação de Operações e Serviços e entra em vigor em 10/7/92.