

CAPÍTULO 3

ROTEAMENTO DE DEMANDA E SISTEMA ÓPTICO

3.1. INTRODUÇÃO

Uma rede em anel é um conjunto de nós formando uma malha fechada, onde cada nó é conectado com o nó adjacente através de comunicação duplex.

Os equipamentos de multiplexação utilizados em arquitetura em anel são os ADM'S (*Add/drop Multiplexers*), que em cada nó retiram da banda de serviço os canais que se destinam ao nó (*drop*), inserem canais para outros nós (*add*) e transmitem adiante a banda, juntamente com os canais que têm outro destino (*pass through*).

A rede em anel é uma das topologias mais usadas em redes de transporte SDH, esta por ser uma rede de alta capacidade, é necessário que tenha confiabilidade, segurança e capacidade de auto-reconfiguração, afim de proteger os feixes que são transportados de um elemento de rede a outro, protegendo-os de uma possível falha no anel, restabelecendo assim a comunicação.

Os anéis que fazem auto-reconfiguração são chamados SHRs (*Self-Healing Ring*). Estes anéis têm redundância de banda e/ou de equipamentos de rede, suficientes para fazer reconfiguração, de tal maneira que os serviços sejam restabelecidos automaticamente após uma falha na rede (quebra de fibra ou falha de equipamento do nó).

As arquiteturas SHR'S podem ser divididas em duas categorias : unidirecionais (USHR) e bidirecionais (BSHR). O tipo de anel depende do caminho físico utilizado por uma comunicação duplex entre duas estações. No anel bidirecional, ambas as direções da transmissão duplex utilizam a mesma rota física; no anel unidirecional, as duas direções de um canal duplex utilizam caminhos opostos, conforme pode ser observado na figura 3.1.

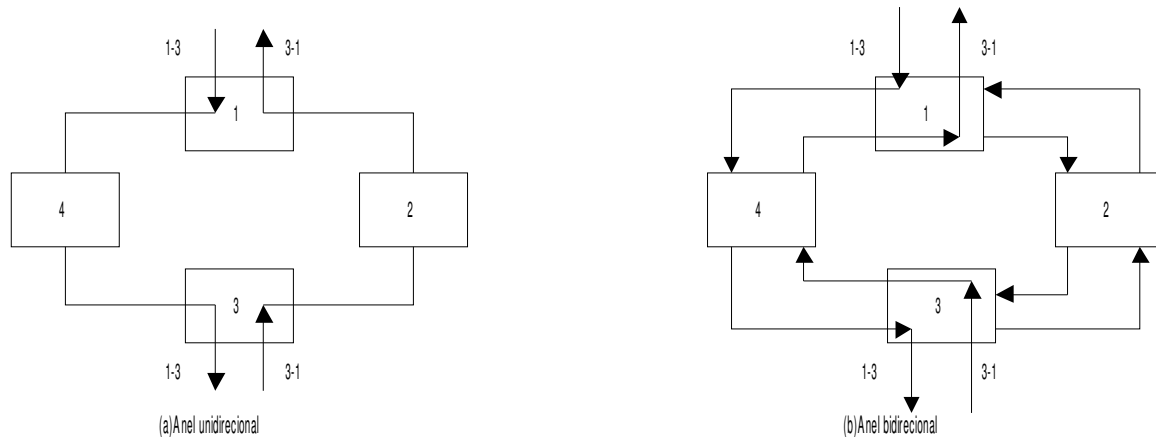


Figura 3.1: Figura dos anéis unidirecionais e bidirecionais.

Os anéis bidirecionais (BSHR) podem usar 2 a 4 fibras , nos anéis bidirecionais a duas fibras (BSHR/2) os canais de serviço e de proteção usam a mesma fibra , com a metade da banda de transmissão reservadas para proteção. Nos anéis bidirecionais a quatro fibras (BSHR/4) , um segundo anel de proteção , separado do primeiro, é usado para prover a proteção.

Na arquitetura BSHR/2 entre dois nós há uma fibra de transmissão e outra de recepção. Para que o anel tenha a capacidade de auto- regeneração , metade da largura da banda em cada fibra é dedicada para os canais de proteção.

Durante a operação normal o tráfego ocorre nos dois anéis interno externo pelo lado oeste utilizando metade da largura de banda cada um, conforme a figura 3.2. Quando ocorrer uma falha de fibra ou do equipamento, o tráfego é automaticamente comutado para a banda reserva da fibra no lado leste na direção oposta, evitando assim a interrupção dos serviços.

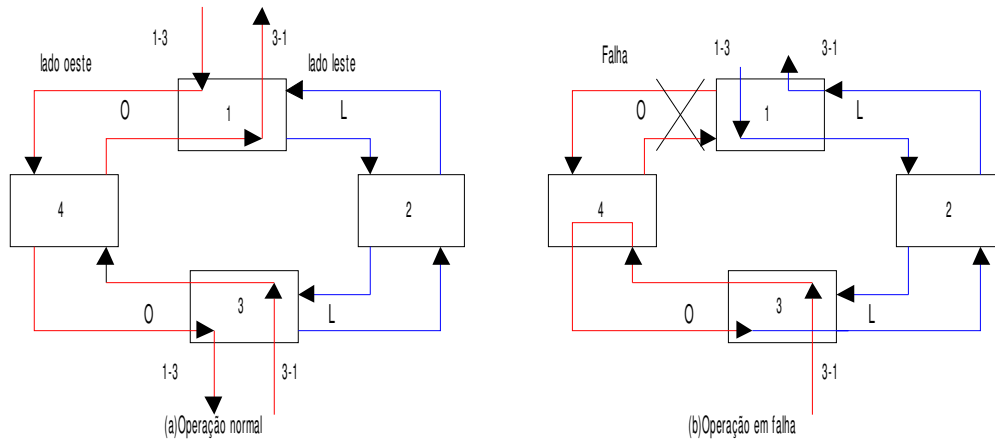


Figura 3.2: Arquitetura BSHR-2 em operação normal e em falha.

3.2. ROTEAMENTO DE DEMANDA E CÁLCULO DE CAPACIDADE PARA ANÉIS

O cálculo da capacidade de um anel SHR é feito baseado em uma matriz de demandas entre estações (pares de demandas). Para redes SDH, no Brasil, podem ser utilizadas como unidades de demanda para redes de transporte as taxas de E1 (2 Mbit/s) e E3 (34 Mbit/s).

A capacidade do anel é definida como sendo a maior demanda em um *link* do anel. A taxa de linha do anel é baseada na capacidade do anel.

A demanda por *link* de um anel USHR é a mesma, devido à sua regra de roteamento (a demanda de um nó para outro sempre segue a mesmo sentido). A capacidade total para tal anel é a soma de todas as unidades de demanda de todos os pares de demanda no anel.

A regra de roteamento para anéis BSHR é mais complexa. A demanda entre duas estações quaisquer pode ser roteada por dois caminhos possíveis no anel (no sentido horário ou no sentido anti-horário). Por exemplo, para o anel da figura 3.1, a demanda entre as estações 1 e 3 é roteada através do caminho 1-4-3, mas poderia ser roteada

também através do caminho 1-2-3, ou ainda, o nó 1 poderia dividir sua demanda em duas partes: uma roteada por 1-4-3 e a outra roteada por 1-2-3.

A capacidade de um anel BSHR é calculada com base em um algoritmo para roteamento de demandas dentro do anel. Abaixo é descrito um método heurístico para cálculo da capacidade do anel BSHR. O algoritmo considera que a demanda não pode ser dividida, ou seja, toda demanda de uma estação para outra segue o mesmo caminho.

Algoritmo para roteamento de demanda em BSHR

Dada uma matriz de demanda entre estações:

1. Organizar os pares de demanda (em uma lista) em ordem decrescente;
2. Selecionar pares de demanda que podem ser *links* do anel (um conjunto de *links* disjuntos) e retirar estes pares da lista;
3. Distribuir pelos *links* encontrados em (2) as demandas restantes na lista (1), nos dois sentidos (horário e anti-horário), e repetir o seguinte processo até que todos os pares de demandas tenham sido processados:
 - a) Compara-se a capacidade máxima por *link* quando a demanda é roteada no sentido horário e anti-horário. Roteia-se a demanda no sentido em que a capacidade máxima por *link* for menor;
 - b) Se a capacidade máxima por *link* for igual em ambas as direções, compara-se o número de *links* entre as estações de origem e destino e roteia-se a demanda na direção que tiver menos *links*;
 - c) Se o número de *links* for igual nas duas direções, roteia-se a demanda alternadamente nas duas direções.

3.3. INFORMAÇÕES PARA O PROJETO DE ENLACES ÓPTICOS

3.3.1. Generalidades

- a) objetivo é fornecer orientações que auxiliem o projeto de sistemas de transmissão óptica que utilizam fibras monomodo e operam nas janelas de comprimentos de onda de 1300 nm e 1500 nm.
- b) Apresenta-se uma metodologia para o cálculo do enlace. Escolheu-se a metodologia conhecida como cálculo de pior caso.
- c) Calculando-se os valores dos parâmetros ópticos, é necessário, para o projeto correto, que se prevejam degradações do desempenho do sistema devido a variações de fabricação, envelhecimento dos componentes ópticos, variações de temperatura, emendas adicionais no cabo (necessárias para repará-lo). Para se prever esta degradação, no cálculo do enlace costuma-se atribuir uma margem de segurança para o sistema, extraída da experiência prática e que é de, usualmente, 2 dB para o cabo e 2 dB para os equipamentos e componentes ópticos.
- d) No caso do SDH pretende-se que seja formado um ambiente com a chamada compatibilidade transversal (ambiente multifornecedor). Devido ao aumento considerável nas taxas de transmissão digitais, deseja-se um melhor domínio das características dos meios de transmissão propriamente ditos. Seguindo as recomendações do ITU-T para equipamentos SDH, é desejável que o fabricante forneça ou o projetista especifique os valores para os parâmetros do sistema como sendo valores de pior caso, considerados no fim da vida útil prevista e válidos dentro da faixa prevista de condições de operação. Neste caso a margem de segurança pode ser zero.

3.3.2. Definições para SDH de acordo com a recomendações do ITU-T

- a) Classificação das interfaces ópticas

Conforme tabela 3.1, para sistemas SDH reconhecem-se três categorias de aplicação:

- “*Intra-office*” - interfaces ópticas que correspondem às distâncias de interconexão menores que aproximadamente 2 Km.

- “*Short-haul inter-office*” - interfaces ópticas que correspondem às distâncias de interconexão de aproximadamente 15 Km.
- “*Long-haul inter-office*” - interfaces ópticas que se referem às distâncias de interconexão de aproximadamente 40 Km para a janela de 1310 nm, e de aproximadamente 60 Km para a janela de 1550 nm.

b) A tabela sintetiza o conjunto de códigos de aplicação, onde o código é formado da seguinte maneira:

- Aplicação- nível STM – Número do sufixo:

Nomenclatura das aplicações:

- I - “*intra office*”;
- S – “*short-haul*”;
- L – “*long-haul*”.

Número do sufixo:

1 – indica fontes com comprimento de onda nominal de 1310 nm para fibras do tipo I, os tipos de fibra óptica serão descritas a seguir;

2 - indica fontes com comprimento de onda nominal de 1550 nm, fibras do tipo I para aplicações do tipo “*short-haul*” e fibras dos tipos I e III, para aplicações “*long-haul*”;

3 - indica fontes com comprimento de onda nominal de 1550 nm, fibras do tipo II.

- Fibra tipo I (ITU-T G.652) – Fibra monomodo com dispersão zero otimizada para a janela de 1310 nm. Também é possível a sua utilização na região de 1550 nm, porém sem otimização;
- Fibra tipo II (ITU-T G.653) – Fibra monomodo com dispersão deslocada e otimizada para a janela de 1550 nm e com o coeficiente de dispersão que aumenta monotonicamente com o comprimento de onda;
- Fibra tipo III (ITU-T G.654) – Fibra monomodo com dispersão zero na janela de 1310 nm e atenuação otimizada na janela de 1550 nm.

3.3.3. Representação das interfaces ópticas

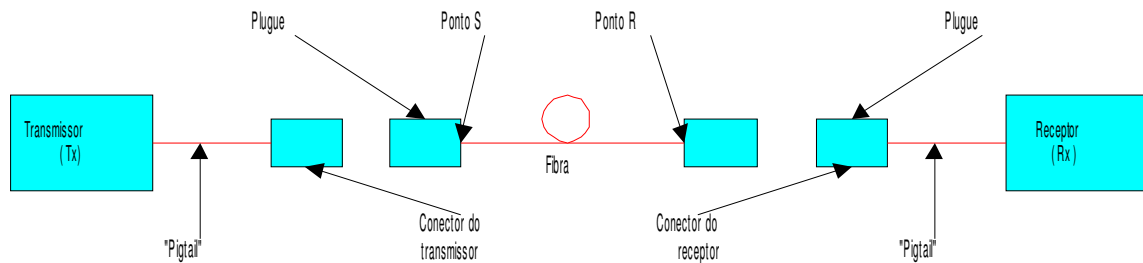


Figura 3.3: Interfaces do sistema óptico (Pontos S e R).

Para especificar os parâmetros ópticos de uma interface, ela pode ser representada como mostra a figura 3.3. O ponto S é um ponto de referência na fibra imediatamente após o conector óptico do transmissor. O ponto R é um ponto de referência na fibra imediatamente antes do conector óptico do receptor. O ponto S e R provêm uma separação do enlace óptico em três subseções: subseção do transmissor, do receptor e do caminho óptico.

Os parâmetros ópticos são especificados para o transmissor no ponto S, para o receptor no ponto R e para o caminho óptico entre os pontos S e R.

Todos os valores dos parâmetros especificados são de pior caso, considerados no fim da vida útil dos equipamentos, e devem ser válidos dentro da faixa prevista de condições de operação (faixa de temperatura, umidade, etc.). Estes parâmetros são especificados para uma taxa de erro de bit melhor do que 10^{-10} , para o caso de condições extremas de atenuação e dispersão no caminho óptico.

Não são especificadas margens de segurança de equipamento em separado, e assume-se que os transmissores, receptores e o cabo de fibra atendam as especificações da tabela 3.1.

3.3.4. Reflexões

Descontinuidades no índice de refração ao longo do caminho óptico podem causar reflexões. Se não forem controladas, estas reflexões podem degradar o desempenho do sistema através da interferência no funcionamento do laser ou através de múltiplas reflexões que causam ruído interferométrico no receptor . Em geral, as degradações causadas por reflexões aumentam com a taxa de transmissão, com a coerência da fonte óptica e com a dispersão da fibra.

O projeto de um sistema óptico deve prever requisitos mínimos para os valores de reflectância dos componentes individuais utilizados, e deve requerer também que o desempenho especificado para o sistema possua uma tolerância com relação à reflectância especificada para estes componentes.

O valor de -27 dB para a máxima reflectância do receptor especificado na norma, tem a intenção de assegurar valores aceitáveis de penalidade causada por múltiplas reflexões para todas as possíveis configurações de sistemas envolvendo múltiplos conectores e emendas.

O ORL (*optical return loss*) - perda por retorno óptico. É a razão (em dB) entre a potência óptica (P1) que incide numa interface do sistema e a potência óptica (P2) refletida da mesma interface. Esta medida inclui as contribuições de potência refletida em todos os componentes que estão adiante desta interface (incluindo a interface), sendo definida pôr:

$$ORL = 10 \log_{10} \left(\frac{P1}{P2} \right) dB \quad (3.1)$$

Os transmissores e receptores devem operar adequadamente na presença do pior caso das reflectâncias discretas, incluindo a reflectância do receptor, ORL do sistema e mínima atenuação no caminho óptico. Considera-se que a operação do sistema é adequada, se nas condições de pior caso de reflexões a penalidade de potência for menor que 1 dB.

As reflexões devidas ao caminho óptico são controladas especificando-se:

- a) ORL_{min} do cabo no ponto S, incluindo todos os conectores;

- b) máxima reflectância discreta entre os pontos S e R.

3.3.5. Transmissor

O transmissor óptico é definido de acordo com a característica do laser como:

- a) laser MLM - laser “*Multi-Longitudinal Mode*”. Possui vários modos longitudinais;
- b) laser SLM - laser “*Single-Longitudinal Mode*”. Possui um único modo longitudinal;
- c) laser FP - laser Fabry-Perot. É um laser do tipo MLM;
- d) laser DFP - laser “*Distributed-Feedback*”. É um laser do tipo SLM.

As características do transmissor de interesse para este projeto são: a faixa de comprimento de onda de operação, largura espectral, faixa de potência de transmissão acoplada e razão de extinção.

A seguir são listadas algumas características do transmissor:

- a) λ_{tnom} - Comprimento de onda central nominal. É o comprimento de onda central onde a potência óptica efetiva é aplicada;
- b) $\lambda_{\text{tmin}}, \lambda_{\text{tmax}}$ - Faixa do comprimento de onda central de operação. É definida como a faixa permitida de comprimento de onda do transmissor, em torno de λ_{tnom} , quando as variações devido à fabricação, envelhecimento, temperatura e reflexões forem de pior caso. Deve ser medido em condições de modulação plena;
- c) $\Delta\lambda_{\text{rms}}$ - Valor médio quadrático da largura espectral. Para LEDS e lasers MLM.
- d) $\Delta\lambda_{20}$ - Largura espectral medida a 20 dB abaixo do valor de pico do comprimento de onda central de uma fonte SLM em condições de modulação plena e na presença de reflexões de pior caso. Este parâmetro não se aplica para fontes MLM nem para LEDS;

- e) SSR_{\min} - “*Minimum Side-mode Suppression Ratio*” - SSR é definido como a razão (em dB) entre a potência óptica média no modo longitudinal principal (M1) de um laser SLM e a potência óptica média no modo lateral mais significativo (M2) medidas em condições de modulação plena e na presença de reflexões de pior caso:

$$SSR = 10 \log_{10} \left(\frac{M1}{M2} \right) dB \quad (3.2)$$

- f) P_T - Potência média do transmissor acoplada no ponto S, conforme figura 3.3;
- g) $P_{t_{\max}}$, $P_{t_{\min}}$ - Valores máximo e mínimo permitidos de potência média acoplada no ponto S para uma sequência de dados pseudoaleatória acoplada na fibra. Estes são os valores de pior caso que consideram os efeitos devido às variações de temperatura, envelhecimento, fabricação e operação com o valor mínimo de razão de extinção especificado;
- h) r_{\min} - Valor mínimo da razão de extinção re. É o valor mínimo aceitável da razão (em dB) da energia óptica média no nível lógico “1” $E_R(1)$ e a energia óptica média no nível lógico “0”, $E_R(0)$, medidas em condições de modulação plena e na presença de reflexões de pior caso.

$$re = 10 \log_{10} \left(\frac{E_R(1)}{E_R(0)} \right) dB \quad (3.3)$$

3.3.6. Receptor

As características do receptor de interesse para este projeto são: sensibilidade do receptor, potência de saturação, reflectância e a penalidade de potência permitida, consequência do efeito combinado de dispersão, reflexões e “*jitter*”:

a) P_R - Sensibilidade do receptor - É o valor de pior caso da potência óptica medida (dBm) na entrada do receptor (no ponto R), que é necessária para obter a TEB especificada pelo fabricante. Este valor de sensibilidade inclui as seguintes degradações de desempenho combinadas na forma de pior caso, devidas a:

- Variações de fabricação, temperatura e envelhecimento, incluindo-se qualquer degradação do conector óptico;
- Máxima penalidade de potência no transmissor devido ao uso do transmissor na condição de pior caso da razão de extinção (r_e);
- Máxima penalidade de potência no transmissor devido ao uso do transmissor em condições de pior caso dos tempos de subida e descida;
- Máxima penalidade de potência no transmissor devido à condição de pior caso para a perda de retorno óptico no ponto S.

Nota: A sensibilidade do receptor não inclui as penalidades de potência associadas com dispersão (espalhamento do pulso), reflexões, ou “*jitter*”.

b) P_{Rmin} , P_{Rmax} - Valores máximo e mínimo da potência média recebida, P_R (em dBm), no ponto R , conforme figura 3.3 para se obter uma taxa de erro de bit TEB= 10^{-10} . Estes valores consideram penalidades de potência causadas pela largura espectral da fonte, razão de extinção e características de formato do pulso, todos de pior caso, incluindo efeitos de envelhecimento e de variações de temperatura;

O valor mínimo aceitável da sensibilidade do receptor deve igualar os valores de P_{Rmin} especificado na tabela 3.1. É desejável que a potência de saturação do receptor seja maior ou igual ao valor de P_{Rmax} dado na tabela 3.1. Isto permite que se faça o cálculo de pior caso do enlace óptico sem o uso de atenuadores ópticos, mesmo no caso extremo de mínima atenuação e máxima potência de saída;

c) P_o - Penalidade de potência (em dB) devido ao caminho óptico, considerando todas as degradações ao longo do caminho óptico entre os pontos S e R (reflexões, “*jitter*”, interferência intersimbólica (ISI), ruído de partição modal e “*chirp*” do laser). O

receptor deve ser projetado para acomodar uma penalidade de potência por dispersão de pelo menos P_o para cada aplicação especificada;

d) R_{\max} - Potência de saturação. É o valor máximo da potência óptica média (dBm) na entrada do receptor (no ponto R), para o qual o receptor ainda mantém $TEB=10^{-10}$.

3.3.7. Caminho óptico

Os valores de atenuação na tabela 3.1 são de pior caso e incluem as perdas devido às emendas, conectores, atenuadores ou outros dispositivos ópticos, e quaisquer margens adicionais para o cabo , necessárias para cobrir futuras modificações no cabo instalado (por exemplo emendas adicionais), variações de desempenho do cabo devido a fatores ambientais, e quaisquer degradações dos conectores ou outros dispositivos ópticos existentes entre os pontos S e R.

As especificações de dispersão são obtidas através de considerações sobre o alargamento (ξ) permitido do pulso, como uma fração do período do bit:

$$\xi = 10^{-6} \times B \times D_{SR\max} \times \delta\lambda \quad (3.4)$$

B é a taxa de bit do sistema em Mbit/s.

DSR_{\max} é a máxima dispersão em ps/nm entre os pontos S e R.

$\delta\lambda$ é a largura espectral da fonte óptica em nm. Para lasers SLM, supondo-se espectro de emissão gaussiano, $\delta\lambda = \Delta \lambda_{20} / 6,07$.

Para uma dada penalidade de potência por dispersão, ξ tem um valor máximo. Especificar um valor para ξ permite que se calcule um valor de DSR_{\max} que é consistente com a largura espectral do transmissor especificada. Para as penalidades devidas à ISI, associadas com LEDS e lasers SLM, assume-se $\xi = 0,306$. Este valor é consistente com uma penalidade total de potência por dispersão de 1 dB, prevista para modelos analíticos e empíricos.

Para se determinar as características de dispersão global, utilizam-se as fórmulas abaixo, que fornecem uma aproximação para o coeficiente de dispersão cromática como função do comprimento de onda $D(\lambda)$. Os limites extremos $D1(\lambda)$ e $D2(\lambda)$ são dados por:

$$D1(\lambda) = \frac{S_{O_{\max}}}{4} \times \left(- \frac{\sigma_{\min}^4}{3} \right) \quad (3.5)$$

$$D2(\lambda) = \frac{S_{O_{\max}}}{4} \times \left(- \frac{\sigma_{\max}^4}{3} \right) \quad (3.6)$$

Em geral para sistemas monomodo operando em taxas abaixo de 500 Mbit/s, espera-se que a distância entre repetidores seja limitada por perdas e não por dispersão. Entretanto, em taxas de transmissão mais elevadas, esta distância pode ser limitada por dispersão, que surge devido ao efeito combinado de dispersão cromática, ruído de partição modal e “*chirp*” do laser. Então, é necessário verificar se o lance é limitado por dispersão ou não.

Considerando-se a variação da dispersão cromática da fibra dentro da faixa de comprimento de onda central do transmissor, a distância limitada por dispersão é dada por:

$$l_D = \frac{D_{SR_{\max}}}{D_{\max}} \quad (3.7)$$

A seguir são explicadas algumas características do caminho óptico (fibra óptica e cabo):

- a) SMF - “*Single-mode Fiber*” - Fibra monomodo cuja dispersão está otimizada está otimizada na janela de 1300 nm;
- b) SMF/DS - “*Dispersion Shifted*” - Fibra monomodo cuja dispersão está otimizada na janela de 1550 nm;

- c) D_{SRmax} - É a dispersão máxima (ps/nm) entre os pontos S e R que a fibra deve ter para que um determinado par transmissor-receptor possa alcançar o desempenho desejado ($TEB = 10^{-10}$);
- d) λ_{cc} - Comprimento de onda de corte do cabo. Este valor deve ser menor que o valor mínimo do comprimento de onda central do transmissor;
- e) $\lambda_{omin}, \lambda_{omax}$ - Valores mínimo e máximo dos comprimentos de onda onde a dispersão é zero;
- f) S_{omax} - Valor máximo da inclinação da curva de dispersão (ps/nm².Km); no comprimento de onda onde a dispersão é zero;
- g) D_{max} - Valor absoluto da dispersão cromática de pior caso (ps/nm.Km) dentro da faixa de comprimento de onda central do transmissor e dentro da variação da dispersão permitida nos diversos tipos de cabos;
- h) D - Comprimento total da fibra (Km). Este valor pode incluir um acréscimo adicional para eventuais reparos no cabo. É importante salientar que devido à maneira como os cabos são fabricados, o comprimento total da fibra pode ser maior que o comprimento total do cabo.
- i) N_{con} - Número de conectores recomendado pelo projetista do sistema para uma seção de regeneração.
- j) Le - Máxima perda permitida na emenda
- k) Lc - Valor de pior caso (em dB) da perda no conector.

3.3.8. Margem do sistema

A margem total do sistema é subdividida em duas contribuições principais:

Mc – Margem do cabo

Esta margem prevê modificações futuras na configuração do cabo (emendas adicionais, aumento do comprimento do cabo, etc.), variações no desempenho do cabo devido a fatores ambientais e degradações em conectores existentes entre os pontos S e R.

Me – Margem do equipamento

Esta margem prevê degradações no desempenho do equipamento (potência acoplada, sensibilidade do receptor, degradações em conectores do equipamento, etc.) devido ao envelhecimento e a fatores ambientais.

3.3.9. Fórmula – Balanço de potência

Para o cálculo das atenuações dos enlaces usa-se a fórmula abaixo, fórmula esta que foi usada no projeto SDH TRAMO-OESTE da ELETRONORTE:

$$Po - Pr = D \times \left(Lf + \frac{Le}{De} + \frac{Le}{Da} + Mc + Lt \right) + Nc \times Lc + Me + Dd \quad (3.8)$$

Onde:

Po - Potência óptica de transmissão

Pr - Sensibilidade do fotodetector

D - Comprimento da via óptica

Lf - Atenuação da fibra óptica por Km

Le - Atenuação da emenda óptica

Nc - Número de conectores ópticos

Lc - Atenuação do conector óptico

Me - Margem do equipamento devido ao envelhecimento

Dd - Penalidade por dispersão

De - Comprimento médio da bobina

Da - Distância entre emendas adicionais futuras

Mc - Margem do cabo por Km devido ao envelhecimento e variações da temperatura da fibra

Lt - Variação da atenuação da fibra devido a variação do comprimento de onda de emissão do laser com relação a 1550 nm ou 1310nm

3.3.10. Balanço do tempo de subida (*rise time budget*):

O tempo de subida global do sistema é dado por:

$$t_{sys}^2 = t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_{mat}^2 \quad (3.9)$$

onde:

t_{tx}^2 é a contribuição do fotoemissor do sistema

t_{rx}^2 é a contribuição do fotodetector do sistema

t_{mat}^2 é a contribuição da dispersão cromática e dispersão modal entre os pontos S e R.

Primeiro calcula-se a dispersão cromática através da equação:

$$t_{mat} = D \times L \times \quad (3.10)$$

D é a dispersão cromática máxima provocada pela fibra em ns/nm.Km

L é o comprimento da via óptica em Km

Depois calcula-se o tempo do sistema através da equação:

$$t_{sys\ ns} = \frac{700 \times ct}{B_{Mbps}} \quad (3.11)$$

onde: ct é o ciclo de trabalho do pulso emitido

B_{Mbps} é a taxa de linha em Mbit/s

Considera-se $t_{tx}^2 = t_{rx}^2$, então calcula-se a banda elétrica através da fórmula:

$$t_{rx\ ns} = \frac{350}{B_{rx\ MHz}} \quad (3.12)$$

onde B_{rxMHz} é a largura de banda elétrica do sistema em MHz.

Tabela 3.1: Dados do planejamento para interfaces ópticas conforme recomendação G.957 do ITU-T.

Comprimento de onda nominal	1310 nm	1310 nm	1550 nm
Classe de aplicação	S-4.1	L-4.1	L-4.2
Taxa de bits	622 080 Kbit/s	622 080 Kbit/s	622 080 Kbit/s
Características de fonte no ponto S e R			
Tipo de laser	MLM	MLM	SLM
Faixa de comprimento de onda $\lambda_{\text{tmax}} - \lambda_{\text{tmin}}$	1285 nm a 1330 nm	1294 a 1329 nm	1500 nm a 1570 nm
Largura máxima de faixa Δ_{RMS}	2,5 nm	1,7 nm	0,5 nm
Supressão dos modos laterais	-	-	>30 dB
$P_{\text{Tmax}} - P_{\text{Tmin}}$	-15 a -8 dBm	-3 a 0 dBm	-3 a 0 dBm
Relação mínima de extinção SSR_{min}	8,2 dB	10 dB	10 dB
Características da rota de fibra óptica entre os pontos S e R			
Perda por reflexão da fibra	>20dB	>20dB	>20dB
Dispersão cromática tolerada DSR_{max}	90 ps/nm	130 ps/nm	3500 ps/nm
Atenuação óptica permitida	0 até 18 dB	3 até 30 dB	10 até 32 dB
Características do receptor no ponto R			
Diodo receptor	Ge-APD	Ge-APD	III/V APD
Sensibilidade mínima de entrada- P_{Rmin}	-32,5 dBm	-32,5 dBm	-36 dBm
Potência óptica máxima de entrada- P_{Rmax}	-6 dBm	-6 dBm	-8 dBm
Reflexão máxima	20 dB	20 dB	20 dB
Perda por ruído e dispersão do transmissor- P_{O}	< 1 dB	< 1 dB	< 1 dB

