

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

FELIPE MOREIRA BRAGA

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO
SISTEMA DE GERÊNCIA DE REDES ÓPTICAS

Porto Alegre
(2011)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

SISTEMA DE GERÊNCIA DE REDES ÓPTICAS

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Álvaro Augusto Almeida de Salles

Porto Alegre
(2011)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

FELIPE MOREIRA BRAGA
SISTEMA DE GERÊNCIA DE REDES ÓPTICAS

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Álvaro Augusto Almeida de Salles, UFRGS

Doutor pela University of London – Londres, Inglaterra

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Álvaro Augusto Almeida de Salles, UFRGS

Doutor pela University of London – Londres, Inglaterra

Prof. Msc. Ramon Carlos Poisl, UFRGS

Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Marcelo Scheer Lopes, OI S.A.

Especialista pela Fundação Getúlio Vargas - Brasil

Porto Alegre, (julho/2011).

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, em especial pela dedicação e pelo apoio em todos os momentos difíceis. Aos meus amigos, família, namorada e demais pessoas que me auxiliaram ao longo do curso.

AGRADECIMENTOS

Aos pais que sempre estiveram presentes auxiliando nas dificuldades e mostrando o caminho para as vitórias.

Aos colegas pelo seu auxílio nas tarefas desenvolvidas durante o curso e apoio na revisão deste trabalho.

À empresa OI, por todo o conhecimento que me foi passado no período de estágio e colaboração com este trabalho.

À Universidade, professores, funcionários, que acolheram a todos os alunos e sempre passaram bons valores.

À namorada Carolina, por saber aguardar os momentos de dedicação ao curso.

RESUMO

Este projeto de Diplomação tem o objetivo de analisar o funcionamento do Sistema de gerência de redes ópticas utilizado para controle de falhas na rede de fibras ópticas da operadora de telecomunicações OI. Para o tal, são necessários conhecimentos acerca das características de transmissões de dados via fibra óptica, bem como a tecnologia de multiplexação por comprimento de onda, WDM. Será ao longo deste trabalho comprovada a eficiência do sistema, bem como sua capacidade de reduzir o tempo necessário para o tratamento de ocorrências no sistema da empresa.

Palavras-chaves: Engenharia Elétrica. Fibra Óptica. WDM. SGRO. Redes ópticas.

ABSTRACT

This document aims to analyze the functioning of the Optical networks management system support used to control failures over the fiber optic network of the telecommunications company OI. To do this, is necessary knowledge about the characteristics of data transmissions through fiber optics and the wavelength multiplexing system, WDM. The efficiency of the system will be proven through its capacity to reduce the time required for treatment of occurrences in the company system.

Keywords: Electrical Engineering. Fiber optics. WDM. SGRO.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
3 CONCEITOS SOBRE FIBRAS ÓPTICAS	16
3.1 ELEMENTOS CONSTITUINTES	17
3.1.1 TRANSMISSOR ÓPTICO	17
3.1.2 RECEPTOR ÓPTICO	18
3.1.3 FIBRA ÓPTICA	19
3.2 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE FIBRAS ÓPTICAS	24
3.3 FATORES ATENUANTES.....	25
3.3.1 ABSORÇÃO	25
3.3.2 CURVATURAS	26
3.3.3 ESPALHAMENTO DE RAYLEIGH.....	26
4 SISTEMAS WDM	28
4.1 MULTIPLEXAÇÃO ÓPTICA.....	28
4.2 TIPOS DE WDM.....	31
4.2.1 CWDM (<i>Coarse wavelength division multiplexing</i>).....	31
4.2.2 DWDM (<i>Dense Wavelength Division Multiplexing</i>).....	31
4.3 EQUIPAMENTOS DWDM.....	33
4.3.1 MULTIPLEXADOR ÓPTICO	33
4.3.2 TRANSPONDER.....	34
4.3.3 AMPLIFICADOR ÓPTICO	34
4.3.4 OXC (<i>Optical Cross Connect</i>).....	35
4.3.5 OADM (<i>Optical Add and Drop Multiplexer</i>)	36
4.4 TOPOLOGIAS DE TRANSMISSÃO	36
4.4.1 REDES PONTO A PONTO	37
4.4.2 REDES EM ANEL	37
5 O SISTEMA DE GERÊNCIA DE REDES ÓPTICAS	39
5.1 MÓDULOS	41
5.1.1 MÓDULO CLIENTE.....	41
5.1.2 MÓDULO SERVIDOR.....	41
5.2 CADASTRO.....	42
5.3 MEDIDAS DE SUPERVISÃO	44
5.3.1 OPTICAL TIME-DOMAIN REFLECTOMETER.....	44
5.3.1.1 PERDAS EM EMENDAS OU CONECTORES.....	48
5.3.1.2 PERDAS POR EVENTOS REFLETIVOS SUCESSIVOS.....	50
5.3.1.3 PERDAS POR CURVATURA	50
5.3.1.4 ZONA MORTA	51
5.3.2 ALARMES E FALHAS	52
5.4 GRÁFICO DE ATENUAÇÃO.....	53
5.5 MEDIDAS WDM.....	53
5.6 DIAGRAMA UNIFILAR	54
5.7 DIAGRAMA DE TRANSMISSÃO	55
5.8 PROGRAMAÇÃO DE SUPERVISÃO.....	57
6 OPERAÇÃO DO SISTEMA DE GERÊNCIA DE REDES ÓPTICAS	59
6.1 TIPOS DE ALARME.....	59
6.2 DETECÇÃO DE FALHAS.....	61
6.3 PROGRAMAÇÃO DE MELHORIAS NA REDE.....	63
7 CONCLUSÃO.....	65

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
---	-----------

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 – Comparação Led x Laser com comprimento de onda 1310 nm.	18
Figura 3.2 – Fotodiodo Avalanche.	19
Figura 3.3 – Cabo de fibra óptica simples (um par TX e RX).....	20
Figura 3.4 – Cabo de fibra óptica composto (vários pares TX e RX num mesmo cabo). 20	
Figura 3.5 – Razão entre número de modos e número V em fibras multimodo índice gradual.	23
Figura 3.6 – Comparação das atenuações de diferentes meios de transmissão de dados.	24
Figura 4.1 - Sistema WDM.	29
Figura 4.2 – Espectro óptico e regiões de operação para CWDM e DWDM.....	33
Figura 4.3 – Rede WDM topologia anel.	38
Figura 5.1 – Arquitetura básica do SGRO.....	40
Figura 5.2 – Atenuações sofridas pelo pulso emitido pelo OTDR.....	45
Figura 5.3 – Medida de potência do enlace por um OTDR do SGRO.	48
Figura 5.4 – Atenuação devido à emenda.....	49
Figura 5.5 – Enlace com bandas de guarda.	52
Figura 5.6 – Demonstração de um gráfico de atenuação obtido no SGRO.....	53
Figura 5.7 – Medida de supervisão de enlace WDM.....	54
Figura 5.8 – Diagrama unifilar gerado no SGRO.	55
Figura 5.9 – Identificação dos componentes do diagrama unifilar.....	55
Figura 5.10 – Diagrama de transmissão gerado pelo SGRO.....	56
Figura 5.11 – Identificação dos componentes do diagrama de transmissão.	56
Figura 5.12 – Diagrama do sistema WDM.....	57
Figura 6.1 – Tipos de alarme.	60
Figura 6.2 – Características do ponto de rompimento.....	62
Figura 6.3 – Diagrama unifilar do enlace que apresentou o alarme.....	63
Figura 6.4 – Diagrama de transmissão de enlace nacional.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Janelas ópticas.....	32
--	-----------

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

DELET: Departamento de Engenharia Elétrica

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SGRO: Sistema de Gerência de Redes Ópticas

WDM: Wavelength-Division Multiplexing

DB/KM: Decibel por Quilômetro

MB/S: Megabit por Segundo

PIN: P-dopado, I-intrínseco, N-dopado

LED: Light-Emitting Diode

FDM: Frequency-Division Multiplexing

CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing

DWDM: Dense wavelength division multiplexing

OXC: Optical Cross Conect

OADM: Optical Add and Drop Multiplexer

SDH: Synchronous Digital Hierarchy

OADM: Optical Add and Drop Multiplexer

PRS: Ponto Remoto de Supervisão

OTDR: Optical Time-Domain Reflectometer

ITU-T: International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization

Sector

1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho será feito um estudo relacionado ao Sistema de gerência de redes ópticas (SGRO) utilizado na empresa OI juntamente com sua contratada RM Infraestrutura para supervisionar falhas nos cabos ou rompimentos dos mesmos que possam provocar paralisação parcial ou total das comunicações por fibra óptica. Estas interrupções podem ser responsáveis pela interrupção dos serviços prestados pela operadora, gerando assim perdas de receita e prejudicando a imagem da empresa perante seus clientes.

As redes de fibra óptica são hoje o principal meio de comunicação de dados das empresas do ramo de telecomunicações. Isto se deve à sua grande capacidade de transmissão de dados da fibra, baixíssima atenuação por quilômetro de comprimento, além de não sofrer interferência eletromagnética, uma vez que é constituída de material dielétrico. Estes fatores, mesmo que sistemas de comunicações ópticas sejam altamente confiáveis, exigem o devido cuidado para com falhas e interrupções de serviço que quando ocorrem, podem deixar milhares de clientes incomunicáveis. Desta maneira, é mais do que necessária a existência de uma ferramenta capaz de oferecer ao operador uma visão ampla e correta da operação destas redes, bem como a capacidade de gerenciá-la remotamente. Estas são algumas das características do sistema de gerência de redes ópticas que serão demonstradas e contextualizadas ao longo deste trabalho.

Além da caracterização do sistema, será demonstrada a aplicação deste sistema em funcionamento, desde o cadastro de rotas de transmissão e enlaces WDM, até sua operação perante falhas ou rompimentos, buscando através de testes de atenuação do sinal e reflexão do mesmo, identificar o exato ponto geográfico onde este problema está ocorrendo. Esta determinação do ponto de falha é essencial para auxiliar o pessoal de campo da empresa responsável pelo atendimento de alarmes. A precisão na definição do ponto de rompimento

poupa tempo e recursos do técnico para o deslocamento até o local. Isto otimiza o reparo a ser executado.

Este trabalho tem então como foco a explicação do sistema capaz de realizar tais tarefas, e para o tal, também apresenta os conceitos teóricos necessários para o entendimento do mesmo, porém sem que seja feita uma explicação totalmente detalhada destes pontos, por isso é apoiado nos livros textos de referência. Contudo, os tópicos importantes serão citados a partir destas fontes quando necessário para as devidas explicações.

2 ESTRUTURA DO TRABALHO

A organização do trabalho se dará da seguinte maneira:

No capítulo 3 será feita uma explicação teórica com base nas referências sobre os princípios de comunicações ópticas. Será abordada a fibra óptica, desde os elementos de modulação até seus diferentes modos de operação, bem como as vantagens da sua utilização.

O capítulo 4 será dedicado a técnicas de transmissão que utilizem fibras ópticas, a partir da tecnologia WDM, sendo demonstradas suas características e modelos. Este capítulo se faz necessário uma vez que o sistema de gerência de redes ópticas opera sobre redes ópticas WDM.

O capítulo de número 5 irá tratar da conceituação do sistema de gerência de redes ópticas. Este capítulo demonstrará os princípios básicos de operação do SGRO, sua estrutura de funcionamento e técnicas de gerenciamento.

O capítulo 6 vai demonstrar etapas da aplicação prática deste sistema no dia a dia de uma empresa de telecomunicações. Serão demonstradas diferentes situações e para cada uma delas o uso do SGRO se justificará efetivo para a solução do problema.

3 CONCEITOS SOBRE FIBRAS ÓPTICAS

Com a evolução dos sistemas de telecomunicação, ao longo dos anos novas tecnologias foram desenvolvidas de maneira a aperfeiçoar as transmissões de dados. No ano de 1956, foi utilizado pela primeira vez o termo fibra óptica, pelo Dr. N. S. Kapany no laboratório de Bell nos EUA. Nesta definição, foram desenvolvidos planos para a construção do primeiro laser que seria utilizado para telecomunicações. O laser é uma fonte luminosa com grande potência, capacidade de transmissão e elevada banda passante. A idéia seria utilizar a fibra óptica como um guia de onda em comunicações de longa distância em detrimento de cabos metálicos.

Com o passar dos anos, novos estudos foram sendo feitos e as barreiras para a utilização de um sistema de transmissão baseado em fibras ópticas foram surgindo. Inicialmente, o principal problema para sua utilização consistia na elevada atenuação em dB por quilômetro, que era da ordem de 1000 dB/km, quando a necessidade era de um valor inferior a 20 dB/km. Estes níveis altíssimos reduziam o comprimento de um enlace para distâncias muito curtas, da ordem de metros, sendo assim incapaz de atender as necessidades dos sistemas de transmissão de dados na época.

Em 1966, Kao e Hockman, demonstraram ser possível a utilização de fibras de vidro em sistemas de transmissão de longa distância. Eles mostravam que a atenuação sofrida pela fibra óptica não era proveniente do material de vidro utilizado, mas sim da elevada concentração de impurezas. Este estudo foi muito importante, concluindo que a purificação do material era o caminho para a utilização da fibra óptica nos sistemas de telecomunicações.

A seguir, novos estudos foram sendo realizados e atenuação por quilômetro sendo reduzida ao longo dos anos, até que em 1975 foi instalado o primeiro link de comunicação via fibra óptica a operar comercialmente na Inglaterra. Em 1976, um link implementado pela empresa Western Electric em Atlanta, EUA atingiu a velocidade de 44,7 Mb/s para voz e

dados em uma extensão territorial de 2,5 quilômetros. Nesta época, a utilização da fibra óptica tornou-se uma coisa real e até viável economicamente. No decorrer dos anos, novos enlaces foram constituídos e destaca-se a primeira rede óptica nacional ligando Washington a Cambridge, também nos EUA. Através de cabos submarinos foram surgindo também redes internacionais. Tudo isto se deve a redução da atenuação, sendo hoje utilizados níveis entre 0,2 e 0,4 dB por quilômetro e taxas de transmissão de dados cada vez maiores.

3.1 ELEMENTOS CONSTITUINTES

A definição básica de um sistema de transmissão óptico consiste em um elemento transmissor, um receptor e o cabo de fibra óptica, como mostra a figura 3.5.

3.1.1 TRANSMISSOR ÓPTICO

Trata-se do circuito responsável pela emissão do sinal óptico. É composto geralmente por um dispositivo emissor de luz, que converte o sinal elétrico em um sinal óptico. Este dispositivo pode ser um laser, ou um LED. Outro componente do transmissor óptico é um circuito responsável pela polarização elétrica e pelo comando da emissão de potência luminosa.

A utilização de um transmissor óptico a laser é superior à utilização do LED, uma vez que a potência óptica de radiação luminosa é muito maior nos lasers, bem como a largura espectral do laser é menor que a do LED. Estes fatores pesam a favor dos circuitos a laser, sendo estes mais utilizados, apesar de acarretar em uma maior complexidade do transmissor.

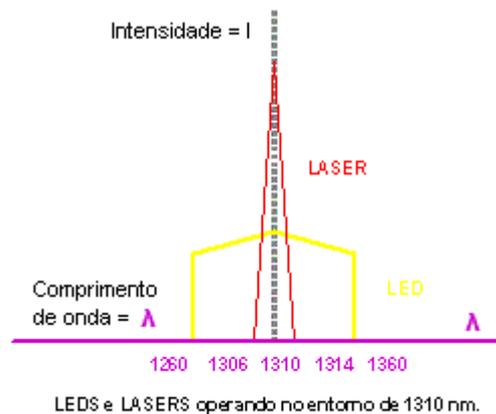


Figura 3.1 – Comparação Led x Laser com comprimento de onda 1310 nm.

3.1.2 RECEPTOR ÓPTICO

Consiste no dispositivo fotodetector que é responsável por converter o sinal luminoso recebido em corrente elétrica. O receptor é tanto melhor de acordo com a sua capacidade de operar nos menores níveis de potência óptica possíveis, realizando a conversão do sinal luminoso em sinal elétrico com a menor quantidade de erros e de ruído.

Nos sistemas de transmissão por fibras ópticas, os fotodetectores mais comumente utilizados nos circuitos receptores ópticos são os fotodiodos PIN e os fotodiodos Avalanche, sendo os receptores constituídos deste último mais complexo, apresentando um melhor desempenho.

Esta conversão de um sinal óptico em um sinal elétrico é realizada através da utilização da energia do fóton para remover elétrons da camada de valência de um semicondutor, gerando assim portadores elétricos e colocando-os em movimento. O movimento direcional de partículas elétricas consiste em uma corrente elétrica. A figura 3.2 mostra um fotodiodo avalanche utilizada em receptores ópticos.

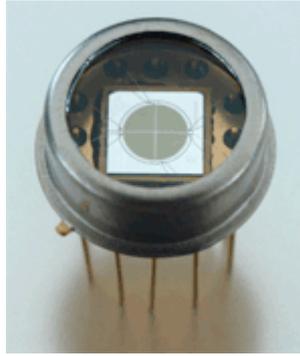


Figura 3.2 – Fotodiodo Avalanche.

3.1.3 FIBRA ÓPTICA

Trata-se do meio de transmissão propriamente dito dos sistemas de transmissão que utilizam sinais ópticos. Como dito anteriormente, é formada por um núcleo de material dielétrico, geralmente o vidro e por uma casca, também constituída por material dielétrico com um índice de refração pouco menor que o do núcleo. Esta diferença nos índices de refração é obtida através da utilização de materiais distintos ou de dopagens distintas de semicondutores na sílica e proporciona a reflexão total do sinal e conseqüente propagação total do sinal ao longo do comprimento da fibra.

De maneira a proteger o material, a casca é revestida por um material plástico responsável por evitar danos mecânicos. De acordo com a aplicação, um cabo óptico pode conter uma ou mais fibras ópticas. As figuras 3.3 e 3.4 demonstram esta diferença na constituição do cabo. Porém, em qualquer que seja a aplicação, as fibras sempre são constituídas de pares “Tx” (transmissão) e “Rx” (recepção).



Figura 3.3 – Cabo de fibra óptica simples (um par TX e RX).



Figura 3.4 – Cabo de fibra óptica composto (vários pares TX e RX num mesmo cabo).

As fibras ópticas dividem-se basicamente quanto a seus modos de propagação e assim são classificadas em monomodo e multimodo. As fibras denominadas monomodo apresentam apenas um modo de propagação possível, ou seja, um único caminho para a luz. Desta forma, o núcleo da fibra possui dimensões bastante reduzidas, aproximando-se do comprimento de onda da luz incidente. Este modo de propagação apresenta maior capacidade de transmissão que o multimodo, sem enfrentar problemas como a dispersão modal, sofrendo também uma menor atenuação do sinal. Esta característica das fibras monomodo de sofrer menos atenuação é ideal para enlaces de grandes comprimentos.

As fibras multimodo, por seu lado, apresentam vários modos de propagação e, de acordo com o perfil da variação de índices de refração da casca com relação ao núcleo,

classificam-se em: índice degrau e índice gradual [1]. O índice degrau é caracterizado por um núcleo com índice de refração uniforme e diferente do índice da casca. A refração ocorre entre o núcleo e a casca. Este é o perfil mais simples e barato para sua fabricação, porém seu elevado número de modos acarreta no fenômeno da dispersão modal, que faz com que a luz tenha vários caminhos dentro do núcleo, reduzindo sua banda de transmissão. Fibras multimodo com índice degrau são recomendadas apenas para enlaces de curtas distâncias. O índice gradual caracteriza-se por um núcleo com índice de refração variável, sendo maior na borda do que no centro do núcleo. Esta variação do índice de refração tende a equalizar as velocidades dos diversos modos em propagação. Esta compensação aumenta a banda passante do sistema, podendo atingir assim distâncias maiores que as fibras de índice degrau.

Para o entendimento do funcionamento do modo de transmissão de luz em uma fibra óptica, é importante desenvolver o conceito de abertura numérica. Este conceito estabelece um ângulo de incidência limite para os raios penetrando no núcleo da fibra óptica, acima do qual os raios não satisfazem as condições de reflexão interna total e, portanto, não são transmitidos. Este ângulo é conhecido como ângulo de aceitação da fibra, e é deduzido aplicando-se a lei de Snell nas condições de reflexão interna total, de acordo com [1]:

$$\theta_a = \text{sen}^{-1} \left[\frac{(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}}{n_0} \right] \quad (\text{Eq.3.1})$$

Onde n_1 é o índice de refração do meio 1 de incidência, ou seja, o núcleo da fibra óptica, n_2 é o índice de refração do meio 2, a casca, e n_0 é o índice de refração do meio onde a fibra óptica está imersa. A partir deste conceito de ângulo de aceitação é possível expressar a abertura numérica a partir de:

$$AN = n_0 \cdot \text{sen}\theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (\text{Eq.3.2})$$

Assim, é possível caracterizar a abertura numérica de uma fibra óptica e utilizá-la para medir sua capacidade de captar e emitir luz. Esta capacidade independe do diâmetro do núcleo da fibra óptica [1].

A partir do conceito de abertura numérica, é possível caracterizar a quantidade de modos de propagação existentes numa determinada fibra óptica. Este número pode ser obtido através do parâmetro característica da fibra, denominado frequência normalizada V , obtido da seguinte maneira:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (\text{Eq.3.3})$$

De maneira que a consiste no raio do núcleo da fibra e λ é o comprimento de onda da luz transmitida.

Para as fibras do tipo monomodo, existe um valor de V menor ou igual a 2,405, o qual se refere ao número V limite para transmissão do sinal luminoso em apenas um modo de propagação, o modo fundamental HE_{11} . Valores maiores que 2,405 passam a caracterizar maior quantidade de modos e desempenho inferior, característica das fibras ópticas do tipo multimodo. A figura 3.5 demonstra a relação entre o número de modos e o número V para fibras ópticas com perfil de índice tipo gradual:

Estes sistemas apresentam desempenho superior aos que utilizam modulação analógica, apresentando uma maior banda passante e maior alcance do enlace.

3.2 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE FIBRAS ÓPTICAS

Além de demonstrar seus princípios, é importante abordar as vantagens da utilização de fibras ópticas ao invés de outras tecnologias de transmissão para telecomunicações. Algumas destas vantagens são demonstradas a seguir:

- Elevada banda passante: os sinais ópticos são transmitidos em frequências da ordem de 10^{14} Hz. Estas elevadas frequências apresentam capacidades de transmissão muito maiores que as capacidades de outros tipos de sistemas de transmissão, como microondas e cabos coaxiais;
- Baixa atenuação: a fibra óptica apresenta índices de atenuação irrisórios se comparada com outros métodos de transmissão de informação. Esta atenuação pode chegar a níveis de 0,2 dB/km dependendo da janela de transmissão utilizada. A figura 3.6 demonstra uma comparação entre as atenuações na fibra óptica, no par trançado e no cabo coaxial:

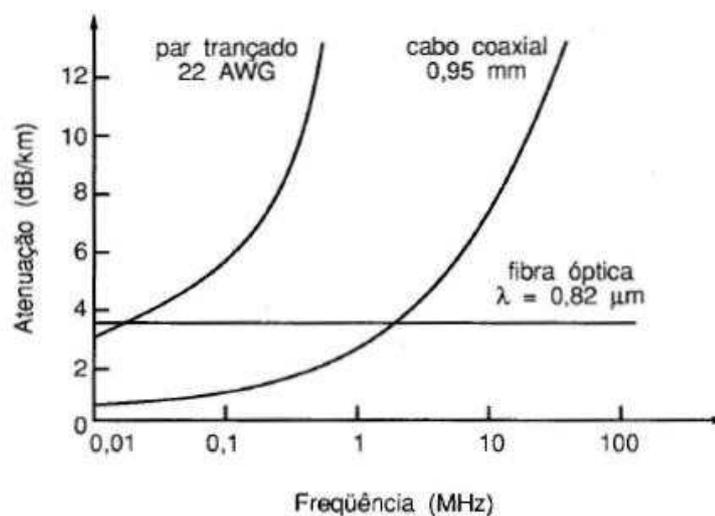


Figura 3.6 – Comparação das atenuações de diferentes meios de transmissão de dados.

- Imunidade a interferências e ruído: uma vez que é constituída de vidro, um material dielétrico, as fibras ópticas não sofrem interferências eletromagnéticas. Isto é uma enorme vantagem quando comparada com cabos coaxiais e até mesmo o par trançado.
- Baixo custo e volume: Considerando a capacidade de transmissão do sistema, o volume de cabo coaxial necessário para transmitir uma determinada quantidade de informação é muito maior do que o volume físico de fibras ópticas para a mesma tarefa, ou seja, a fibra óptica economiza espaço quando comparada a outras tecnologias que utilizem cabos. Hoje em dia, a evolução das pesquisas a respeito da fibra óptica torna o material cada vez mais barato e de fácil obtenção.

3.3 FATORES ATENUANTES

Nas transmissões de dados, a principal vantagem do uso de fibras ópticas é sua baixíssima atenuação por quilômetro em relação a outras tecnologias. Entretanto, existem alguns fatores que provocam perda de desempenho na fibra. Os principais são listados a seguir:

3.3.1 ABSORÇÃO

Este efeito ocorre no momento em que a luz ao se propagar penetra em um meio diferente do qual percorria anteriormente. Esta situação é chamada de absorção intrínseca. O próprio material que compõe o núcleo da fibra óptica possui um coeficiente de absorção que causa atenuações no sinal óptico. A presença de impurezas na fabricação ou durante a propagação do sinal que percorre a fibra é dita absorção extrínseca [2].

Outro fator importante a ser considerado é a absorção existente devido à presença do íon oxidrila OH^- , causada pela existência de água dissolvida no vidro e será abordada no capítulo seguinte, uma vez que possui importância na atribuição das janelas ópticas dos sistemas WDM.

3.3.2 CURVATURAS

Todo e qualquer desvio de percurso que a luz encontre em seu caminho pode ser responsável por perdas de potência. Nestes casos, alguns dos feixes luminosos podem realizar um desvio inferior ao ângulo crítico saindo da fibra, e desta maneira causando perdas. Este ângulo é responsável por um raio limite de curvatura e pode ser definido nas fibras monomodo da seguinte maneira [3]:

$$R = \frac{20\lambda}{\sqrt{n_1 - n_2}} \cdot \left[2,748 - 0,996 \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right) \right] \quad (\text{Eq.3.4})$$

Onde λ_c é o comprimento de onda de corte para este tipo de fibra.

3.3.3 ESPALHAMENTO DE RAYLEIGH

Trata-se de um caso especial de absorção intrínseca. O espalhamento de Rayleigh resume-se a um efeito linear decorrente de imperfeições de natureza aleatória na estrutura cristalina do material da fibra ao longo do processo de fabricação. A consequência destas imperfeições é a variação na densidade do material em distâncias muito pequenas em comparação com o comprimento de onda da luz transmitida causando irradiação da potência do sinal luminoso. A atenuação de Rayleigh apresenta a seguinte equação:

$$\alpha = \frac{C}{\lambda^4} \quad (\text{Eq.3.5})$$

Este fenômeno será abordado na explicação do funcionamento do aparelho OTDR.

4 SISTEMAS WDM

O SGRO trabalha sobre sistemas de transmissão WDM, e para o correto entendimento da operação do sistema, é necessária uma abordagem sobre os sistemas *WDM (wavelength-division multiplexing)*.

O padrão WDM consiste na utilização de sinais de diferentes comprimentos de onda se propagando em uma mesma fibra óptica através de multiplexação óptica. Isto implica na capacidade de aumento de banda sem a necessidade de alterar a estrutura da rede ou a instalação de novos equipamentos. Um sistema WDM tem como base a utilização de janelas de transmissão diferentes. Inicialmente, os primeiros testes de transmissão de dados através de vias ópticas operavam na região de comprimento de onda de 850 nm, com atenuação por volta de 2 dB/km e esta região ficou conhecida como a 1ª janela óptica. Mais tarde, com a utilização de lasers *InGaAsP (Indium, Gallium, Arsenide, Phosphide)*, que operavam no comprimento de onda de 1310 nm, onde o coeficiente de atenuação era mais favorável, da ordem de 0,5 dB/km. Esta região do espectro ficou conhecida como 2ª janela óptica. Posteriormente, também foram eficazes testes utilizando o comprimento de onda de 1550 nm atingindo atenuações da ordem de 0,2 dB/km, sendo esta região batizada de 3ª janela óptica. A conseqüente utilização de novas regiões com comprimentos de onda ainda maiores caracteriza os diferentes tipos de WDM e será abordada ao longo deste capítulo.

4.1 MULTIPLEXAÇÃO ÓPTICA

A tecnologia WDM exige a utilização de fibras ópticas monomodo. Neste tipo de fibra, se forem injetados dois sinais ópticos com comprimentos de onda diferentes, ou seja, janelas ópticas diferentes e se propagarão normalmente sem qualquer interação entre eles ao

longo da fibra. Este tipo de transmissão pode ser realizado tanto de maneira unidirecional, quanto de maneira bidirecional, ou seja, com os sinais se propagando em direções opostas.

Além de propagarem-se sobre uma mesma fibra óptica, diferentes taxas de bits ou tipos de modulação não interferem na eficiência da transmissão, aumentando assim as possibilidades do sistema, melhorando a eficácia do mesmo, bem como a ocupação do espectro.

O sistema WDM utiliza a técnica de modulação denominada *FDM (frequency-division multiplexing)*, que transmite múltiplos sinais sobre um mesmo meio de transmissão, separando-os através de uma modulação responsável por deslocar seus espectros de maneira a eliminar qualquer possibilidade de interferência entre os sinais. No caso do WDM, é mais conveniente utilizar como referência a divisão em comprimentos de onda ao invés de frequências como na multiplexação FDM, apesar se representarem a mesma coisa, adequando-se assim ao conceito de janelas ópticas. A partir destes conceitos, os sinais de diferentes comprimentos de onda na tecnologia WDM são concentrados em uma mesma fibra óptica através de um equipamento multiplexador óptico sem qualquer interferência entre si. Na outra ponta do enlace, um equipamento demultiplexador óptico é responsável por separar estes sinais ópticos em diferentes canais com a mesma concepção anterior à multiplexação inicial. A figura 6 ilustra este esquema de multiplexação WDM.

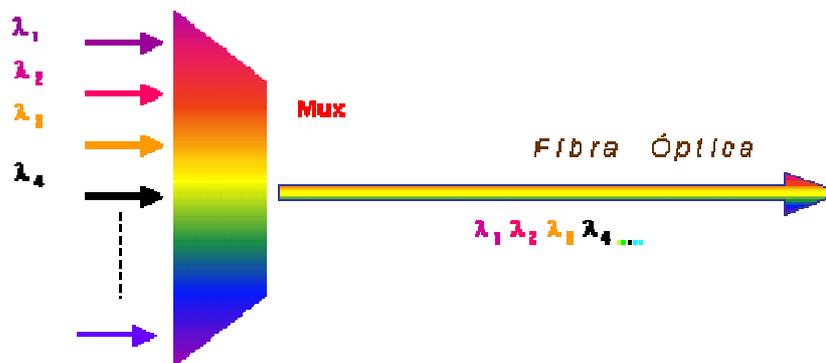


Figura 4.1 - Sistema WDM.

A limitação no número de sinais com diferentes comprimentos de onda a serem inseridos na fibra óptica é determinada pelo espaçamento entre os canais a ser utilizado neste enlace, isto é, a separação entre os sinais de acordo com a janela óptica utilizada. Este espaçamento é definido da seguinte maneira, a partir da relação entre comprimento de onda e frequência:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Desta equação, podemos calcular o espaçamento entre os comprimentos de onda de dois sinais diferentes ocupando uma mesma fibra óptica:

$$\Delta\lambda = \frac{c}{f_1} - \frac{c}{f_2} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Desenvolvendo a equação 4.2 obtemos:

$$\Delta\lambda = \frac{c(f_2 - f_1)}{f_1 \cdot f_2} \quad (\text{Eq. 4.2a})$$

$$\Delta\lambda = \frac{c(f_2 - f_1)}{\frac{c^2}{\lambda_1 \cdot \lambda_2}} \quad (\text{Eq. 4.2b})$$

Como temos λ_1 e λ_2 ambos da ordem de nanômetros, podemos considerar o produto $\lambda_1 \cdot \lambda_2$ como simplesmente λ^2 devido aos altos valores de f_1 , f_2 e c . Podemos também considerar a diferença das frequências como a variação da mesma. Assim obtemos uma equação final para o espaçamento entre os canais [4]:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2 \cdot \Delta f}{c} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

A partir desta equação, podemos definir de fato o espaçamento entre canais e desta forma caracterizar os diferentes tipos de tecnologias WDM.

4.2 TIPOS DE WDM

Atualmente, o sistema de transmissão óptica WDM é dividido em dois tipos, CWDM e DWDM. Esta divisão é feita de acordo com a janela óptica de operação de cada um dos sistemas, bem como o número de canais que podem trafegar em uma mesma fibra em cada um deles.

4.2.1 CWDM (*Coarse wavelength division multiplexing*)

Este tipo de sistema utiliza a faixa do espectro entre 1271 nm até 1611 nm com espaçamento entre canais de 20 nm, totalizando 18 canais disponíveis para serem modulados. Este espaçamento é considerado um valor alto, o que faz do CWDM um sistema menos robusto em comparação com o DWDM, sendo empregado em redes de pequeno porte e até algumas redes metropolitanas de comprimento relativamente pequeno.

Por se tratar de uma rede de menor custo, sua taxa de transferência de dados é limitada em 2,5 Gbit/s por canal, totalizando uma taxa máxima de 45 Gbit/s considerando a utilização máxima de todos os comprimentos de onda de um enlace CWDM.

4.2.2 DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*)

Este sistema opera na faixa de 1530 nm até 1625 nm. A operação dentro destes limites possibilita a utilização de amplificadores ópticos, tornando o DWDM o sistema ideal para utilização em enlaces de grandes comprimentos. O espaçamento entre os canais é definido em razões da frequência, variando de 200 GHz até 12,5 GHz, obtendo assim desde 50 até 800 canais diferentes com espaçamento da ordem de 0,1 nm. Estes espaçamentos cada vez

menores visam atender as necessidades cada vez maiores de elevadas taxas de transmissão com custos cada vez menores. Desta maneira, sistemas WDM operam com taxas de transmissão cada vez maiores, da ordem de 10 Gbit/s até 40 Gbit/s.

Conhecendo as características dos sistemas WDM ao longo do espectro, foram sendo definidas novas janelas ópticas. A tabela 1 demonstra estas zonas de operação definidas:

Banda	Significado	Espectro óptico	Largura de banda
O	Original	1260 a 1360 nm	100 nm
E	Expanded	1360 a 1460 nm	100 nm
S	Short	1460 a 1530 nm	70 nm
C	Conventional	1530 a 1565 nm	35 nm
L	Long	1565 a 1625 nm	60 nm

Tabela 1 – Janelas ópticas

Uma vez demonstradas as bandas de operação ao longo do espectro óptico, é possível relacioná-las com as tecnologias estudadas através da curva de atenuação da fibra óptica monomodo do padrão ITU-T 652 em vigor em relação ao comprimento de onda. Isto é visto na figura 4.2. Esta curva apresenta uma atenuação significativa por volta de 1380 nm, devendo-se a presença do íon oxidrila OH^- , que apresenta harmônicas de vibração nesta faixa na sílica, gerando uma perda considerável nesta faixa do espectro, sendo um caso de absorção extrínseca na fibra óptica.

A figura 4.2 também apresenta a mesma curva para as fibras ópticas monomodo mais recentes no padrão ITU-T 652C, as quais não apresentam esta dispersão significativa em 1380

nm, sendo assim mais eficientes e apresentando uma utilização uniforme de todo o espectro óptico para transmissão.

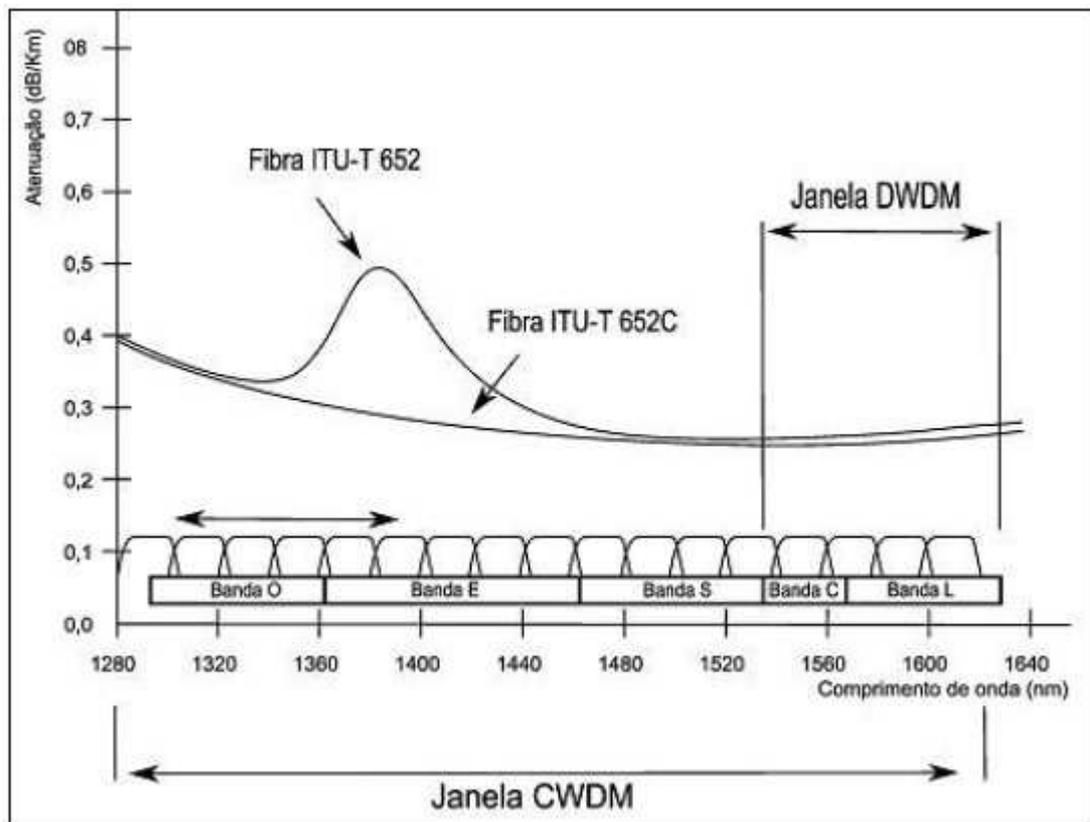


Figura 4.2 – Espectro óptico e regiões de operação para CWDM e DWDM.

4.3 EQUIPAMENTOS DWDM

Uma vez conhecidas as características dos sistemas WDM, é possível demonstrar os equipamentos essenciais ao funcionamento deste tipo de rede:

4.3.1 MULTIPLEXADOR ÓPTICO

Trata-se do equipamento responsável pela multiplexação descrita na seção 4.1, sendo responsável pela inserção ou retirada de um determinado número de comprimentos de onda.

Na ponta receptora do enlace, o equipamento responsável pela reconstrução dos sinais originais é o demultiplexador e realiza a função inversa do multiplexador.

Estes equipamentos são classificados quanto ao método utilizado para realizar sua função, seja esta multiplexar ou demultiplexar. Estes métodos podem ser dispersão ou interferência. Os modelos baseados em dispersão utilizam elementos responsáveis por dispersar a luz em comprimentos de onda com angulações diferentes. Isto pode ser feito através de prismas, filtros ou até mesmo através da difração da luz. Já os demultiplexadores baseados em interferências são responsáveis por minimizar a interferência entre os canais, além de maximizar a separação entre os mesmos de maneira a realizar a recomposição do sinal original.

4.3.2 TRANSPONDER

É a unidade responsável por adequar a frequência do sinal de entrada para as frequências padronizadas pelos sistemas DWDM e CWDM. Basicamente, o transponder recebe um sinal e o convertem em comprimentos de onda que respeitam a banda do espectro óptico desejada pelo sistema escolhido. Diz-se que o transponder converte um sinal “sem cor” em um sinal “colorido”.

Existem também transponders regenerativos, que são responsáveis por reconstruir o sinal óptico da rede.

4.3.3 AMPLIFICADOR ÓPTICO

São os equipamentos responsáveis pela amplificação de radiações luminosas sob a forma de fótons.

Este equipamento promove a amplificação óptica dos sinais de forma transparente, independentemente da modulação ou do protocolo utilizado [5]. Sua utilização em sistemas WDM aumenta o alcance do sinal, sem a necessidade de regeneradores, responsáveis por realizar a conversão óptico-elétrica para amplificar o sinal e após isso uma nova conversão eletro-óptica para reconstruir o sinal, porém com degradação significativa.

O ganho em dB dos amplificadores ópticos pode ser obtido com a relação entre potência de saída (P_o) e a potência de entrada (P_i):

$$G = 10 \cdot \log \left(\frac{P_o}{P_i} \right) \quad (\text{Eq. 4.4})$$

O amplificador óptico mais utilizado atualmente é o EDFA (*Erbium-Doped Fiber Amplifier*). O érbio caracteriza-se por emitir luz quando excitado. Esse amplificador recebe um sinal fraco e uma luz de comprimento de onda de 980 nm ou 1480 nm é injetada por um laser. Isso estimula os átomos do érbio a liberar a energia armazenada como luz de 1550 nm. Este processo é contínuo através da fibra e, por isso, o sinal aumenta fortemente. No entanto, as emissões espontâneas no EDFA também adicionam ruído ao sinal transmitido [6]. Esta quantidade de ruído em dB pode ser calculada a partir do quociente entre a relação sinal ruído na entrada (SNR_i) e na saída do amplificador (SNR_o), como mostra a equação 4.5:

$$N = 10 \cdot \log \left(\frac{SNR_i}{SNR_o} \right) \quad (\text{Eq. 4.5})$$

4.3.4 OXC (*Optical Cross Connect*)

Trata-se de um dispositivo atuante em redes WDM responsável pelo roteamento dos sinais ópticos, isto é, derivando os sinais de “n” portas de entrada e direcionando-os para “n” portas de saída com caminhos diferentes sem a necessidade de nova multiplexação. O OXC também é capaz de realizar o roteamento entre redes diferentes.

Este equipamento trabalha na camada óptica, não necessitando de qualquer conversão eletro-óptica para realizar sua função. A presença de um OXC nas redes ópticas reduz consideravelmente o número de equipamentos.

4.3.5 OADM (*Optical Add and Drop Multiplexer*)

Os primeiros sistemas WDM só podiam ter a composição do enlace, ou seja, seus comprimentos de onda alterados nas pontas do sistema através dos multiplexadores e demultiplexadores de entrada e saída. A partir do desenvolvimento dos chamados OADM, passou a ser possível a inserção e retirada de novos sinais ao longo do enlace, bem como a regeneração do sinal, bastando a inserção de um destes equipamentos no sistema.

Com este mecanismo, as operadoras de telecomunicações passaram a comercializar serviços nos pontos onde existiam OADM, devido à sua facilidade de operação.

Atualmente, o equipamento OADM trabalha com limitações no número de comprimentos de onda a serem manipulados. Isto se deve ao espaçamento entre os canais, das características construtivas do equipamento e também do fabricante do mesmo.

4.4 TOPOLOGIAS DE TRANSMISSÃO

Como visto anteriormente, a tecnologia WDM permite a transmissão de dados para curtas e longas distâncias, bastando a determinação do método a ser utilizado, seja este CWDM ou DWDM. Basicamente, existem duas topologias principais para sistemas WDM, ponto a ponto e anel. Estas variam quanto à complexidade da rede, comprimento do enlace, redundância e custo financeiro, sendo definida a utilização de uma ou outra de acordo com as necessidades do projeto a ser implementado.

4.4.1 REDES PONTO A PONTO

É a forma mais simples e barata de se implementar uma rede óptica. É utilizada para distâncias curtas, sendo recomendadas para sistemas CWDM devido à maior atenuação sofrida em seu espectro de propagação, não necessitando de amplificação do sinal ao longo do percurso. Em uma rede ponto a ponto podem ser inseridos OADM para alterações no enlace ou comercialização de serviços em pontos específicos.

Devido à existência de terminais com multiplexadores apenas nas pontas do enlace, sistemas ponto a ponto possuem apenas redundância propagando o mesmo sinal em fibras ópticas diferentes, sendo uma ociosa e acionada apenas na existência de uma queda na fibra principal. Este tipo de topologia não possui caminhos redundantes, o que faz com que sua confiabilidade seja inferior a um sistema com a topologia anel.

4.4.2 REDES EM ANEL

Esta topologia consiste por vários enlaces ponto a ponto em série, compondo um circuito fechado. Podem ser unidirecionais ou bidirecionais, isto é, contendo tráfego de informação em uma ou nas duas direções possíveis. A estrutura em anel bidirecional é a mais utilizada pelas operadoras de telecomunicações que necessitam de serviços confiáveis que não podem ficar off-line. Desta maneira, se uma estação da rede apresentar problemas, a transmissão é feita na direção oposta, isolando a interface defeituosa e garantindo a transmissão dos dados até o destino. Como nas redes ponto a ponto, a utilização de equipamentos OADM no caminho do enlace favorece a comercialização de serviços.

Em redes de comprimentos excessivamente grandes, existe a necessidade de regeneração de todos os comprimentos de onda em uma estação intermediária. Desta forma,

torna-se necessário aplicar um sistema chamado de duplo terminal, onde uma seção do equipamento finaliza o enlace entrante e a outra seção do equipamento inicia o enlace de saída. Tudo se passa como se fossem colocados dois enlaces WDM ponto a ponto em série, sendo que se não houver a necessidade de troca de tráfego na camada de aplicação nessa estação, não será necessário instalar nenhum equipamento para extração ou inserção de lambdas, sendo possível utilizar somente transponders regenerativos [6].

Com a evolução dos equipamentos WDM, estas redes já são providas de mecanismos ópticos de proteção, garantindo confiabilidade e segurança da rede diretamente na camada de aplicação sem a necessidade de equipamentos SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*). Assim, a arquitetura da rede fica reduzida a uma quantidade menor de equipamentos sem qualquer prejuízo da sua eficiência.

A figura 4.3 ilustra a capacidade de uma rede WDM em anel prover os mais diversos tipos de serviços em telecomunicações.

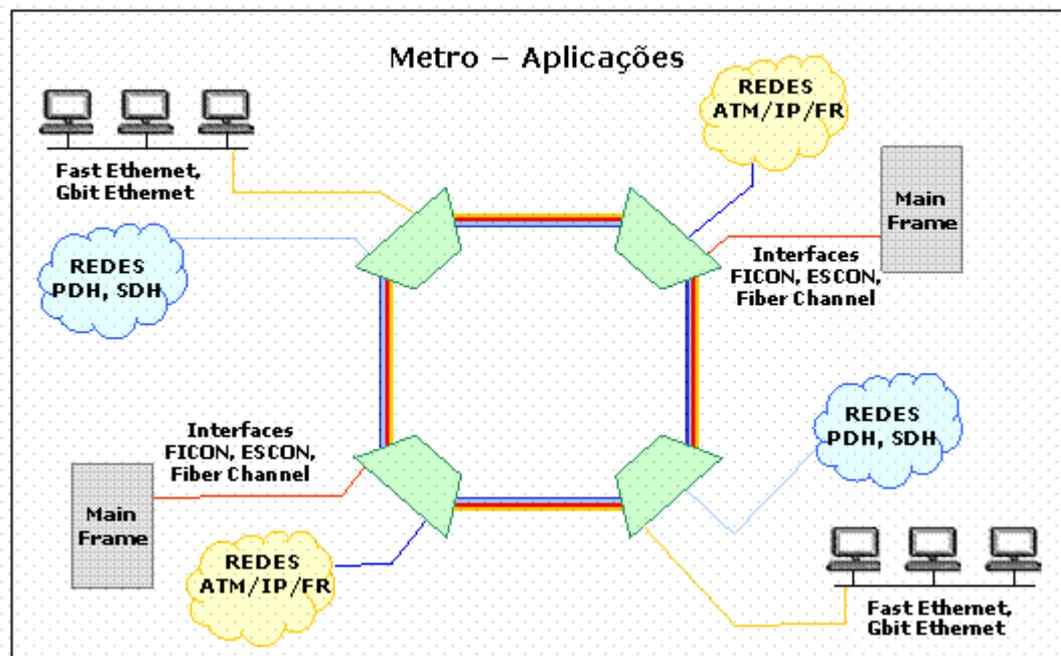


Figura 4.3 – Rede WDM topologia anel.

5 O SISTEMA DE GERÊNCIA DE REDES ÓPTICAS

A partir dos conhecimentos demonstrados nos capítulos anteriores deste trabalho é possível perceber que os sistemas de comunicação baseados em fibras ópticas, apesar de possuírem grande disponibilidade e grandes níveis de confiabilidade, também estão sujeitos a falhas devido a diversos fatores.

A incidência destas falhas e a demora para solução das mesmas, como dito anteriormente, prejudica a confiabilidade dos serviços das empresas de telecomunicações responsáveis por esses enlaces.

Com o objetivo de minimizar as perdas decorrentes do tempo de localização das falhas foi desenvolvido pelo CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações) o Sistema de Gerência de Redes Ópticas, conhecido como SGRO, que através de vários fatores a serem demonstrados é capaz de monitorar e identificar falhas ao longo de uma rede a qual seja gerenciada pelo sistema.

O sistema foi desenvolvido de maneira a operar de acordo com três premissas principais:

- Compatibilidade com os diferentes modelos de equipamentos ópticos e WDM oferecidos por diferentes fornecedores;
- Atendimento das necessidades de centralização das informações em pontos estratégicos da rede;
- Visibilidade total da rede óptica e da rede WDM em termos de cadastro e de status das rotas supervisionadas e dos enlaces WDM.

Para atender estas premissas, o sistema conta com características próprias que buscam facilitar o entendimento do operador perante o sistema. O SGRO opera de duas maneiras opostas, cliente e servidor, cada um com seu software característico. No modo cliente, é feita a interface operador/sistema bem como o acesso ao banco de dados do SGRO. Já os serviços

responsáveis por executar medidas e controlar os equipamentos ópticos da rede estão disponíveis no módulo servidor. O banco de dados é centralizado e utiliza o sistema ORACLE, que define níveis de permissão para acesso aos diferentes usuários de maneira a centralizar o controle dos dados garantindo sua segurança. Cada usuário possui um login e senha, ficando registradas no servidor suas atividades enquanto conectado ao sistema.

Quanto à rede óptica, sistema de transmissão e WDM, o sistema monitora on-line o status de cada ponto, bem como detecta e acompanha as atualizações nos alarmes de fibras, canais e dos equipamentos que compõem esta rede. Este serviço é baseado em uma rede TCP/IP, utilizando a infra-estrutura da rede de dados corporativa da empresa. Através de uma rede TCP/IP é possível definir endereços físicos para cada ponto de rede, realizando um mapeamento da mesma e possibilitando acesso remoto, bem como informações do status de cada um destes nós. A figura 5.1 demonstra a arquitetura básica do SGRO.



Figura 5.1 – Arquitetura básica do SGRO.

O SGRO apresenta como uma das suas funções de monitoramento da rede a capacidade de realizar medições de atenuação do sinal nas suas rotas cadastradas. Assim

como esta característica e as principais funções do SGRO, bem como suas peculiaridades são desenvolvidas ao longo deste capítulo.

5.1 MÓDULOS

Basicamente, a separação ocorre em módulo cliente e módulo servidor. Esta padronização se deve ao fato de evitar usuários diferentes com versões e até diagramas diferentes da mesma rede. As modificações nos elementos podem ser realizadas por usuários com permissões, porém uma vez realizadas, são inseridas no servidor que redistribui este novo desenho da rede para todos os outros clientes. Assim, todos trabalham sobre a mesma plataforma, eliminando as possibilidades de algum usuário encontrar-se desatualizado para com a composição atual da rede.

5.1.1 MÓDULO CLIENTE

A interface CLIENTE do SGRO é dividida nos seguintes componentes:

- Supervisão Óptica (SO) Cliente – módulo habilitado para visualização da planta;
- Centralizado de Supervisão Óptica (CSO) – módulo responsável pela visualização dos pontos remotos de supervisão (PRS);
- Centro de Operação e Manutenção (COM) – módulo utilizado para dispor ao usuário os PRS associados aos ambientes disponíveis a este usuário.

5.1.2 MÓDULO SERVIDOR

Assim como o módulo CLIENTE, também é subdividido da seguinte maneira:

- Servidor de Hardware (HWS) – responsável pelo controle dos equipamentos ópticos, aos quais as rotas de supervisão de uma determinada região estão conectadas;
- Servidor do Banco de Dados Oracle – Como mencionado anteriormente, é responsável por todo armazenamento e backup de todas as informações do SGRO;
- Servidor de Alarmes e Medidas – módulo responsável por executar medidas programadas para avaliar as condições de funcionamento de enlaces da rede.
- Servidor Central de Medidas – responsável por executar medidas em enlaces WDM e acompanhamento do status do equipamento MOSA (utilizado no monitoramento do sistema WDM, realizando a medida dos espectros nos equipamentos WDM);

5.2 CADASTRO

Consiste na criação perante o sistema dos elementos constituintes da rede óptica, ou também do cadastramento de elementos referentes ao monitoramento do funcionamento destes enlaces. O ato de informar ao programa novos elementos ou funções a ele delegadas faz do sistema extremamente eficaz no controle de adversidades inesperadas em uma rede óptica. No cadastro se define as características dos elementos constituintes do monitoramento, incluindo seus endereços lógicos (IP) para identificação de cada ponto constituinte da rede. Os principais elementos cadastráveis são demonstrados a seguir:

- Domínio – este tipo de cadastro refere-se aos elementos relacionados à administração do sistema, controle de acesso e equipamentos ópticos. Aqui se definem as cidades, estados e até os países por onde passa a fibra óptica (no caso de enlaces nacionais ou internacionais), bem como os pontos remotos de supervisão, que permitem aos usuários a utilização do sistema em seus computadores. Também estão classificados como domínio os equipamentos ópticos, servidores e a definição de macroáreas de rede, onde são definidas áreas onde determinadas empresas, geralmente terceirizadas realizam reparos e

manutenção na rede, e também macroáreas de transmissão, semelhantes às macroáreas de rede, porém voltadas para transmissão de dados.

- Diversos – nesta seção são agrupados os cadastros relacionados às informações técnicas e geográficas, essenciais a descrição da rota de supervisão. O cadastro dessas informações garante precisão da verificação de falhas no sistema de supervisão óptica, contribuindo para resolução de problemas da rede óptica com total precisão nos reparos. A utilização dessa modalidade de cadastro busca a obtenção das informações completas a respeito de aplicações de cabos (aéreos, submarinos, etc), comprimentos de onda utilizados no enlace, aplicação à qual está designado o cabo óptico, fabricante de determinado componente, interfaces disponíveis para acesso e configuração existentes em um determinado equipamento, quantidade máxima de comprimentos de onda a ser inseridos em um mesmo cabo, tipos de conector utilizado em determinada terminação óptica e o tipo de fibra utilizada no enlace (monomodo ou multimodo).
- Componentes do sistema – esta opção de cadastro agrupa o cadastro de componentes e informações utilizados na concepção de rotas de supervisão, transmissão e enlaces WDM. Desta maneira, compreende desde clientes atendidos direta ou indiretamente pela rede óptica, as estações onde estão instalados equipamentos de transmissão, WDM e demais elementos que fornecem condições para o funcionamento da rede de transmissão de dados. Compreende também a composição dos cabos ópticos e os trechos que estes percorrem, pontos de referência (estações, caixas de passagem, postes, etc.), associação de estações e equipamentos nela inseridos, designação da função de um conector de equipamento WDM para entrada, saída ou monitoração e os modelos de equipamentos WDM conforme listados no capítulo anterior deste documento.
- Definição da rede – esta é a modalidade de cadastro do SGRO dedicada à rotas de supervisão, transmissão e enlaces WDM. Neste item são definidas as associações entre cabos e estações, a ocupação de uma determinada fibra óptica, seja ela para supervisão, transmissão, WDM ou passagem. São também cadastradas as terminações das fibras ópticas em cada estação, demonstrando o ponto exato aonde chega uma fibra óptica, seja este uma caixa de passagem, ou algum equipamento específico. As rotas de supervisão são definidas como o caminho óptico percorrido pelos pulsos emitidos pelo equipamento OTDR (*Optical time-domain*

Reflectometer). Este equipamento será explicado futuramente. As rotas de transmissão também são cadastráveis e contam com os equipamentos e enlaces WDM.

5.3 MEDIDAS DE SUPERVISÃO

Uma das principais características do SGRO é a sua capacidade de registrar a atenuação sofrida por uma fibra óptica ao longo de um enlace através de uma rota de supervisão. Esta medida é realizada pelo equipamento OTDR. O equipamento realiza uma medida inicial denominada medida de referência, que é utilizada como parâmetro de comparação para as demais medidas a serem realizadas de maneira a disparar alarmes ou auxiliar na tomada de decisões a respeito de reparos ou modificações na estrutura do enlace óptico.

5.3.1 OPTICAL TIME-DOMAIN REFLECTOMETER

Como dito anteriormente, as rotas de supervisão são rotas utilizadas para medir as condições de atenuação do sinal óptico ao longo do enlace. O equipamento capaz de realizar tais medidas é o OTDR, que além da atenuação pode medir outros parâmetros da fibra óptica, tais como comprimento de onda, perdas por inserção de emendas, conectores ou curvaturas excessivas, dentre outras [7].

Este equipamento atua emitindo pulsos luminosos de duração variando entre $5ns$ e $10\mu s$ na fibra, e mede em relação ao tempo transcorrido após a emissão, o sinal óptico que retorna ao instrumento. A propagação dos pulsos luminosos ao longo da fibra encontra pontos de reflexão e espalhamento, de maneira a ocasionar que uma parte do sinal seja refletida na direção contrária ao sentido de propagação. Estes fenômenos se devem ao espalhamento de

Rayleigh e à reflexão de Fresnel. Em uma situação de rompimento de uma fibra óptica, a medida do tempo de retorno deste sinal que é refletido até o instrumento determina a localização e a magnitude da falha ocorrida.

O princípio de funcionamento do OTDR consiste em determinar a resposta impulsiva do espalhamento de Rayleigh ao longo da fibra supervisionada. A resposta da fibra é resultado de uma convolução juntamente com um pulso de largura finita, suavizando a resposta impulsiva. A figura 5.2 demonstra os possíveis efeitos atenuantes medidos por um OTDR.

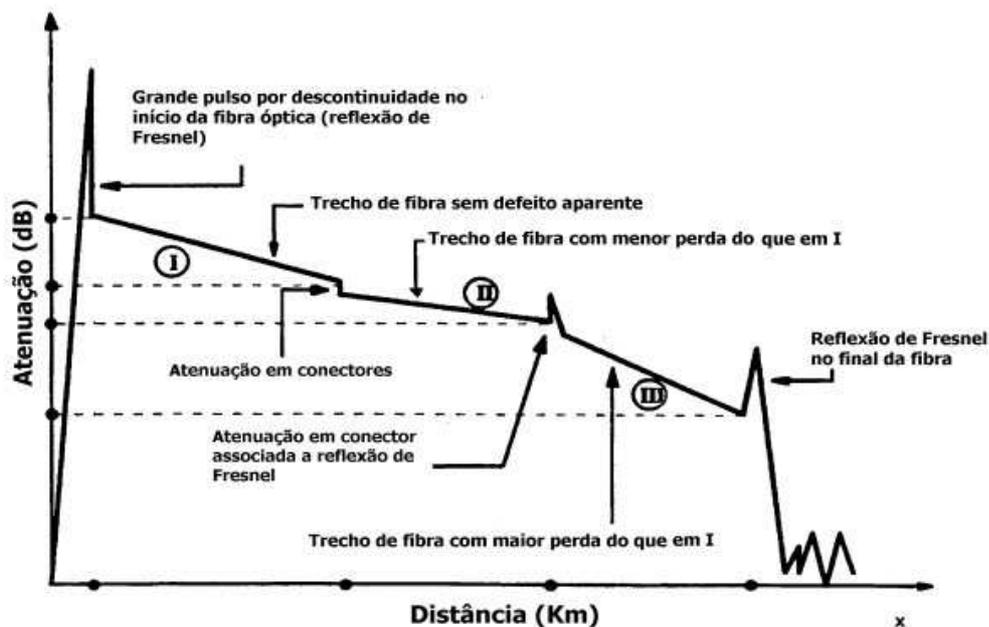


Figura 5.2 – Atenuações sofridas pelo pulso emitido pelo OTDR

Para obter uma relação correta entre a atenuação e a distância x de um enlace pode-se utilizar a razão entre a transmissão de potência entre a luz incidente P_0 e a potência transmitida $P(x)$, onde x é a distância percorrida pelo sinal. Esta é uma relação exponencialmente decrescente com um coeficiente de atenuação α definido em km^{-1} :

$$P(x) = P_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (\text{Eq. 5.1})$$

Como o coeficiente de atenuação das fibras ópticas geralmente é definido em dB/km, podemos redefinir esta equação da seguinte maneira:

$$P(x) = P_0 \cdot 10^{-\frac{\alpha_{dB}}{10} \cdot x} \quad (\text{Eq. 5.2})$$

Este coeficiente de atenuação α pode ser dividido em coeficiente de absorção α_a e coeficiente de espalhamento α_s a fim de facilitar a compreensão futura dos cálculos:

$$\alpha = \alpha_a + \alpha_s, \text{ com } \alpha_s \gg \alpha_a \geq 0 \quad (\text{Eq. 5.3})$$

Considerando um pulso luminoso se propagando em uma fibra óptica com duração τ , a medida que este pulso se propaga, a luz é espalhada de acordo com um elemento de fibra de comprimento W , de acordo com:

$$W = \tau \cdot v_g = \tau \cdot \frac{c}{n_g} \quad (\text{Eq. 5.4})$$

Onde v_g é a velocidade de grupo, c a velocidade da luz no vácuo e n_g o índice de grupo do vidro.

A taxa de variação dp_s da potência espalhada em relação à variação da posição x , dx é proporcional à potência do pulso $P(x)$ por um fator k :

$$\frac{dp_s}{dx} = k \cdot P(x) \quad (\text{Eq. 5.5})$$

Este fator k é definido como $k = S \cdot a_s$ e $a_s \approx \frac{1}{\lambda^4}$. S é definido como a fração de luz espalhada que é concentrada pelo núcleo da fibra e guiada de volta ao equipamento OTDR. Este coeficiente de retroespalhamento é definido por:

$$S = \left(\frac{NA}{n_0}\right)^2 \cdot \frac{1}{m} \quad (\text{Eq. 5.6})$$

Em que NA é a abertura numérica da fibra óptica, n_0 o índice de refração no núcleo da mesma e m refere-se ao perfil de índice refrativo da fibra, sendo igual a 4,55 para fibras monomodo.

O retroespalhamento causado por um pulso retangular pode ser determinado assumindo a extremidade do pulso numa posição $L = T \cdot v_g$. A luz espalhada é refletida e chegará ao OTDR no instante $t = 2 \cdot T$. Em um instante de tempo $t = T + \frac{\tau}{2}$, a extremidade anterior do pulso está em $L - \frac{W}{2}$. Nesta situação, a luz espalhada neste ponto precisa de um tempo $t = T - \frac{\tau}{2}$ para retornar ao OTDR de maneira a respeitar o tempo de retorno $t = 2 \cdot T$. A potência medida pelo OTDR com um tempo $t = 2 \cdot T$ é a soma integral do retroespalhamento entre os pontos $x = L - \frac{W}{2}$ e $x = L$. Desta forma, a potência de luz espalhada por intervalos infinitesimais dx do pulso inteiro, levando em consideração a atenuação da fibra óptica, em uma distância L , temos:

$$P_s(L) = \int_0^W S \cdot \alpha_s \cdot P_0 \cdot e^{(-2 \cdot \alpha \cdot (L + \frac{x}{2}))} \cdot dx \quad (\text{Eq. 5.7})$$

Resolvendo esta integral chega-se a:

$$P_s(L) = S \cdot \frac{\alpha_s}{\alpha} \cdot P_0 \cdot e^{-2 \cdot \alpha \cdot L} \cdot (1 - e^{-\alpha W}), \quad \text{para } L \geq \frac{W}{2} \quad (\text{Eq. 5.8})$$

Esta equação 5.8 é válida apenas para $t \geq \frac{\tau}{2}$. Analisando distâncias menores que $\frac{W}{2}$, deve-se substituir o limite inferior da integral por $W - 2 \cdot L$, de maneira a obter:

$$P_s(L) = \int_{W-2 \cdot L}^W S \cdot \alpha_s \cdot P_0 \cdot e^{(-2 \cdot \alpha \cdot (L + \frac{x}{2}))} \cdot dx \quad (\text{Eq. 5.9})$$

Obtendo:

$$P_s(L) = S \cdot \frac{\alpha_s}{\alpha} \cdot P_0 \cdot e^{-2 \cdot \alpha \cdot W} \cdot (1 - e^{-2 \alpha L}), \quad \text{para } 0 \leq L \leq \frac{W}{2} \quad (\text{Eq. 5.10})$$

Fazendo $L = \frac{W}{2}$, podemos obter o valor inicial da potência retroespalhada, ou seja, seu valor máximo da seguinte maneira:

$$P_i = P_s \cdot \frac{W}{2} = S \cdot \alpha_s \cdot P_0 \cdot W \quad (\text{Eq. 5.11})$$

Utilizando pequenos valores para a largura do pulso luminoso, com $\alpha W \ll 1$, a equação 5.8 pode ser simplificada da seguinte maneira:

$$\frac{1 - e^{-\alpha W}}{\alpha} = \frac{1}{\alpha} \cdot (1 - 1 + \alpha W) = W \quad (\text{Eq. 5.12})$$

Assim reescrevemos a equação 5.8 com a expressão final para a potência do sinal óptico ao longo do enlace:

$$P_s(L) = S \cdot \alpha_s \cdot W \cdot P_0 \cdot e^{-2\alpha L} \quad (\text{Eq. 5.13})$$

A partir deste desenvolvimento teórico, podemos estimar a potência do sinal captada pelo OTDR ao longo do enlace. No SGRO, isto é feito e demonstrado na figura 5.3:



Figura 5.3 – Medida de potência do enlace por um OTDR do SGRO.

No SGRO, com o cursor do mouse é possível obter informações de potência em dB e distância em km de um ponto de referência bastando clicar sobre o ponto desejado. Como mostra a figura 5.3, também é possível ver o momento em que foi realizada esta medida de referência e o usuário responsável por ela. O equipamento OTDR é capaz de detectar diferentes atenuações do sinal devido a fatores listados a seguir:

5.3.1.1 PERDAS EM EMENDAS OU CONECTORES

São as perdas ocasionadas de terminações da fibra óptica. A inserção de conectores acarreta uma significativa atenuação na potência do sinal. Geralmente, quando utilizadas

fibras com coeficientes de atenuação e de espalhamento diferentes, a curva de potência do sinal apresenta inclinações diferentes devido a estes fatores. Esta situação poderia gerar medições diferentes de potência no OTDR, porém este aparelho efetua o cálculo da potência a partir de diferenças nos sinais de retroespalhamento e não nos valores absolutos de potência, fornecendo neste caso sempre o valor correto da potência. A figura 5.4 demonstra esta situação:

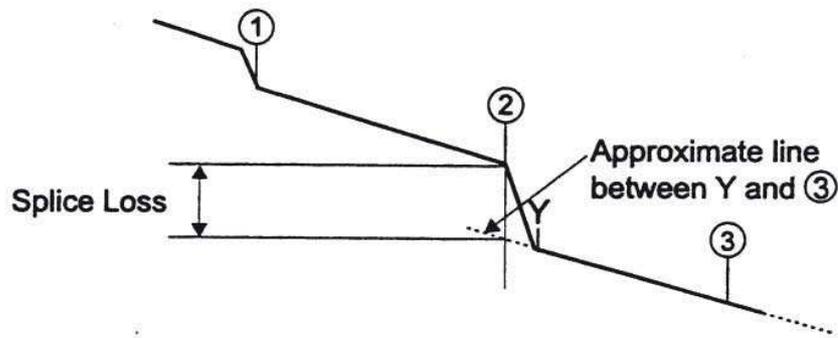


Figura 5.4 – Atenuação devido à emenda.

Assim, conhecendo os coeficientes de retroespalhamento α_s e os coeficientes de captura de retroespalhamento S das fibras nos dois lados da emenda, a atenuação verdadeira neste ponto de emenda será:

$$\alpha_e = 5 \cdot \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right) - \alpha_2 \cdot \frac{W}{2} - 5 \cdot \log\left(\frac{S_1 \cdot S_2}{S_2 \cdot \alpha_2}\right) \quad (\text{Eq. 5.14})$$

Onde P_1 e P_2 são os níveis do sinal nos lados esquerdo e direito da emenda respectivamente, α_2 refere-se ao coeficiente de atenuação da fibra do lado direito e W é a largura do pulso utilizada pelo OTDR. Os diferentes níveis de retroespalhamento das fibras nos dois lados da emenda ocasionam medidas de atenuação direcionais, ou seja, dependentes da direção em que está apontado o equipamento OTDR. No SGRO, este problema é

contornado através de medições de potência no final de cada emenda e então é feita a média dos resultados para obter o valor real.

5.3.1.2 PERDAS POR EVENTOS REFLETIVOS SUCESSIVOS

O equipamento OTDR é capaz de captar as reflexões sofridas pelo sinal óptico ao longo de um enlace. Estas reflexões podem ocorrer em pontos de ligação, sejam eles emendas ou conectores, ou em pontos de falha no cabo óptico. Estes eventos acarretam em pequenas alterações no índice de refração da fibra, acarretando na reflexão do sinal no ponto em questão. Este evento pode reduzir a eficiência de sistemas de alta velocidade. Ao acontecerem sucessivas reflexões, os sinais refletidos somam-se ao sinal na forma de ruído, deteriorando ainda mais o desempenho do sistema. Um evento refletivo pode ser percebido na figura 5.3 no fim do enlace, devido à presença de um conector.

5.3.1.3 PERDAS POR CURVATURA

As curvaturas induzidas no cabo óptico são responsáveis por atenuações na intensidade do sinal. Este fenômeno é relacionado ao comprimento de onda utilizado. Com o aumento deste comprimento de onda, o modo de propagação confina-se menos em um núcleo mais dopado. Assim, as perdas por radiação tendem a aumentar com curvaturas induzidas na fibra. Estas perdas são consideravelmente significativas, podendo atingir 40 dB em uma fibra com muitas curvaturas ao longo do seu comprimento.

5.3.1.4 ZONA MORTA

O equipamento OTDR funciona através da medição de atenuações em fibras ópticas através da emissão de um pulso de luz que é refletido, permitindo ao equipamento realizar os cálculos referentes à distância e atenuação. A definição da largura deste pulso emitido pelo aparelho reflete diretamente no fenômeno da zona morta. A variação na largura do pulso é necessária para medir atenuações em enlaces de diferentes comprimentos, ou seja, quanto maior o comprimento do enlace a ser medido, maior é a quantidade de luz que deve ser injetada pelo OTDR para obter medidas precisas para tal distância.

Quando este pulso é emitido pelo OTDR, a reflexão provocada pelo conector da fibra é geralmente maior que a reflexão da própria fibra. Este fenômeno resulta na saturação do sinal no OTDR. Nesta situação o equipamento fica “cego” e não consegue realizar nenhuma medida durante o tempo de duração do pulso luminoso emitido, caracterizando a zona morta.

Durante a zona morta, o equipamento OTDR não é capaz de medir a amplitude do sinal e conseqüentemente não é capaz de calcular a atenuação sofrida por esta fibra óptica. Assim, a utilização de um maior pulso luminoso pelo OTDR apresenta a vantagem de poder medir atenuações em maiores distâncias, porém apresenta uma zona morta mais longa, impossibilitando medidas muito próximas do PRS. Um pulso com largura de 100 ns gera uma zona morta de 20 metros, enquanto que um pulso de 10 μ s apresenta uma zona morta de 2000 metros.

O efeito da zona morta pode ser percebido na figura 5.3 no início do sinal de referência e também poderá ser mais bem notado no próximo capítulo, onde serão comparados sinais diferentes de referência e supervisão.

5.3.2 ALARMES E FALHAS

A utilização do equipamento OTDR é essencial ao funcionamento do SGRO. Através do OTDR, qualquer anormalidade na transmissão óptica pode ser percebida e rapidamente tratada. Uma função importante do SGRO é a definição de bandas de guarda, isto é, estabelecimento de zonas limite de atenuação no enlace que quando o OTDR calcula uma potência fora destes limites é disparado um alarme no sistema. Esta função é melhor compreendida através da figura 5.5:



Figura 5.5 – Enlace com bandas de guarda.

Quando há suspeita de rompimento de cabos ao longo de um enlace, uma medida de ruptura é realizada. Esta medida fornece um diagnóstico mais rápido e utiliza um tempo de laser muito menor que uma medida de referência simples com o objetivo de esclarecer detalhes sobre a suposta falha. Esta medida apresenta uma ampliação na banda de guarda caso algum ponto crítico seja encontrado.

Quando uma falha é encontrada, e um alarme ativado, todas as informações cadastradas dos elementos envolvidos neste evento são repassadas ao operador pelo sistema. Estas informações consistem desde os cabos envolvidos até a quantidade de comprimentos de onda do cabo. Conseqüentemente, são fornecidas ao operador as informações geográficas da falha incluindo a distância exata do ponto que acusou o alarme calculado pelo OTDR. Desta maneira as corretas providências podem ser tomadas, facilitando o trabalho das equipes de campo.

5.4 GRÁFICO DE ATENUAÇÃO

Outro recurso importante no SGRO, o gráfico de atenuação de medidas apresenta graficamente o nível de degradação sofrido pelos cabos ópticos envolvidos em um trecho de uma rota de supervisão. Estas medidas podem ser associadas a uma medida de referência atual ou também podem ser comparadas com alguma medida de referência antiga que utilize as mesmas configurações do OTDR.



Figura 5.6 – Demonstração de um gráfico de atenuação obtido no SGRO.

5.5 MEDIDAS WDM

Além de supervisionar a fibra óptica propriamente dita, o SGRO possui a função de monitorar a tecnologia WDM por trás destes enlaces. A aplicação chamada medida de enlace é responsável pelo registro dos espectros dos equipamentos WDM em um determinado enlace. Para este fim utiliza o equipamento denominado MOSA para medição. Este equipamento determina um espectro onde cada pico representa um dos comprimentos de onda

do WDM em questão. Como a supervisão óptica, este tipo de medida utiliza uma medida de referência como parâmetro para comparação com as demais medidas WDM que tenham necessidade de ser realizadas para verificar a situação dos espectros. Neste tipo de medida também pode ser definida uma banda de guarda, a qual quando superada gera um alarme. Esta banda de guarda define valores de potência (dB), relação sinal ruído (dB) e comprimento de onda (nm) para comparação.

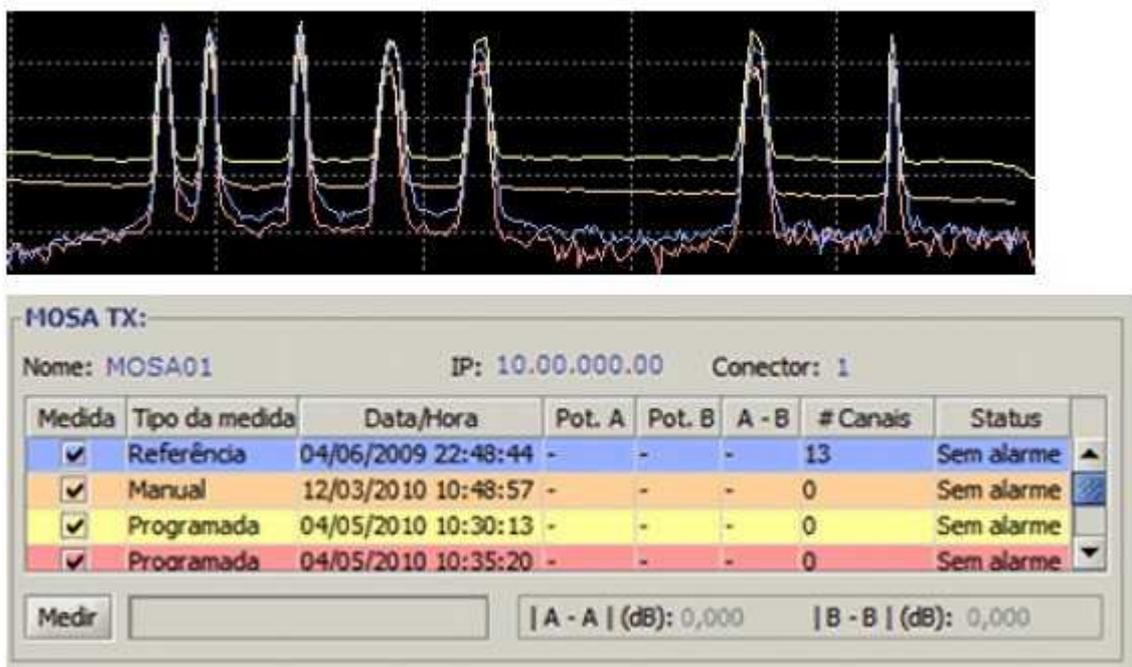


Figura 5.7 – Medida de supervisão de enlace WDM.

5.6 DIAGRAMA UNIFILAR

A utilização desta ferramenta permite a visualização completa de uma rota de supervisão. Através do diagrama unifilar é demonstrado a composição da rota através de ícones representando pontos de referência previamente inseridos na curva com a demonstração da distância exata de cada item até a estação de origem. Os cabos que ligam as estações também possuem seu comprimento listado novamente em metros. Cada item que

compõe o diagrama unifilar pode ser acessado de maneira a obter a composição de fibras e até comprimentos de onda que passam por este elemento. Esta é mais uma ferramenta de grande utilidade no momento em que ocorrem as falhas, uma vez que com o auxílio do diagrama unifilar pode-se estabelecer a posição exata deste defeito.

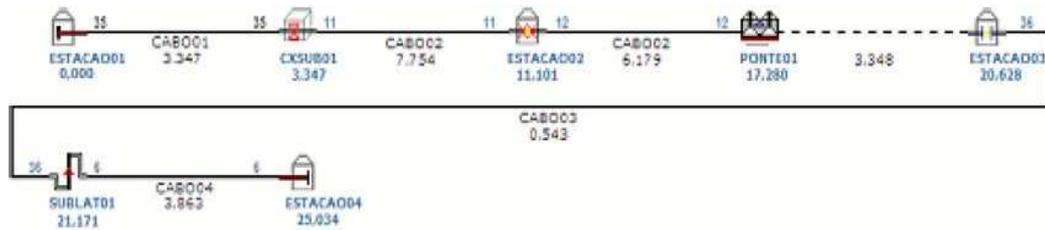


Figura 5.8 – Diagrama unifilar gerado no SGRO.

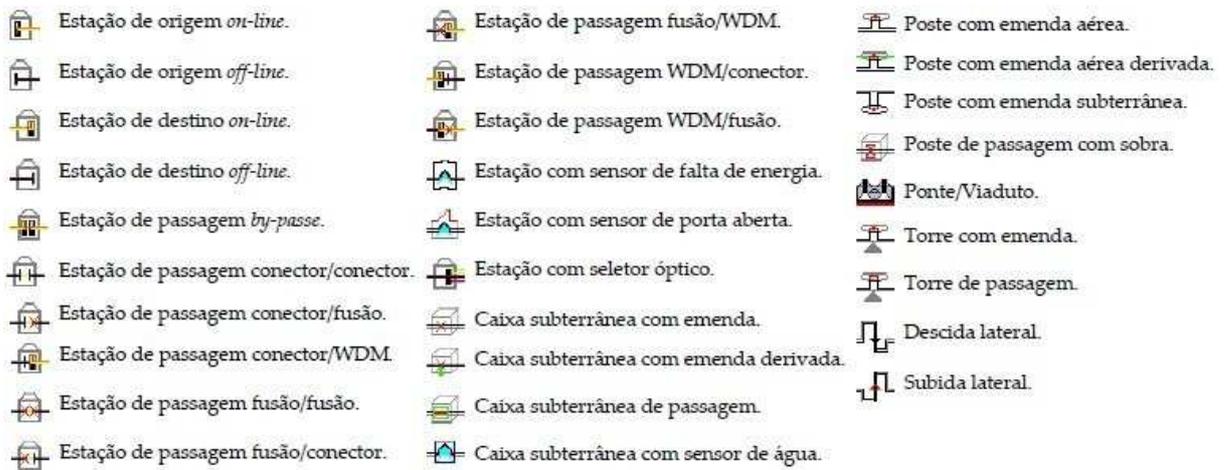


Figura 5.9 – Identificação dos componentes do diagrama unifilar.

5.7 DIAGRAMA DE TRANSMISSÃO

Esta é uma função do SGRO que permite ao usuário a visualização de uma rota de transmissão completa. O diagrama de transmissão abrange tanto a topologia ponto a ponto quanto a topologia em anel. Dele fazem parte estações de transmissão, com ou sem

equipamento WDM e estações de passagem. Assim como no diagrama unifilar, as informações dos componentes do diagrama podem ser obtidas ao clicar sobre o objeto.

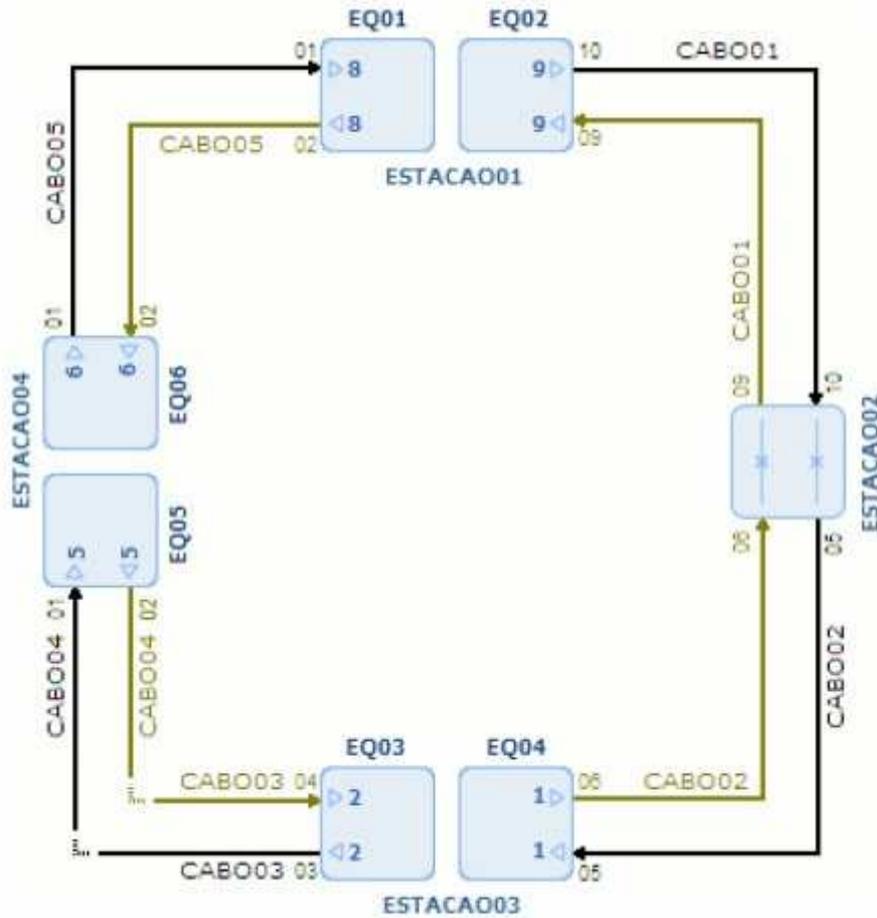


Figura 5.10 – Diagrama de transmissão gerado pelo SGRO.

-  Estação de origem com transmissão ou com WDM.
-  Estação de destino com transmissão ou com WDM.
-  Estação de passagem.
-  Estação intermediária com transmissão ou com WDM.
-  Estação com transmissão e enlace com WDM.

Figura 5.11 – Identificação dos componentes do diagrama de transmissão.

Os enlaces WDM são especialmente abordados no diagrama de transmissão, podendo ser expandidos de maneira a ser completamente visualizada sua composição, com todos os equipamentos que fazem parte deste WDM, bem como todas informações cadastradas a respeito destes componentes. Assim, pode-se enxergar o sistema WDM expandido da seguinte maneira:

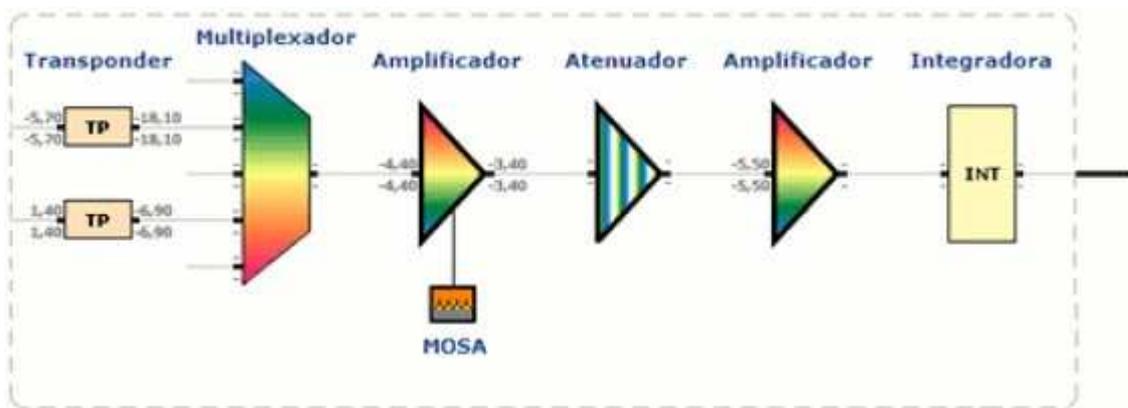


Figura 5.12 – Diagrama do sistema WDM.

5.8 PROGRAMAÇÃO DE SUPERVISÃO

A função de programação de supervisão tem como finalidade medir rotas de supervisão a fim de gerenciar o funcionamento das mesmas, em intervalos de tempo ou continuamente, de acordo com a necessidade de supervisão.

A programação funciona juntamente com o software servidor de medidas, o qual executa a programação requisitada ao servidor de hardware. O PRS é responsável por enviar pedidos de medidas de rotas de supervisão.

O servidor de medidas encontra-se instalado na mesma máquina que o servidor de hardware e, assim que recebe uma requisição de medição pelo PRS, responde ao remetente com uma mensagem informativa de que está aguardando os dados a serem medidos, bem

como suas datas, horas e locais, para não haver inconsistências entre as distintas máquinas Cliente/Servidor. Logo, o remetente envia a programação a ser executada ao servidor de alarmes e medidas.

A partir deste ponto, o servidor de medidas interage com o servidor de hardware, enviando requisição de medida das rotas programadas, no tempo estipulado e quantas vezes foram solicitadas. Após aguardar a resposta do servidor com todos os dados da curva, o servidor de medidas armazena todas as informações dos pedidos de medição no banco de dados, tornando instantaneamente acessíveis ao cliente todas as medidas já efetuadas.

A partir desta ferramenta, todo monitoramento do SGRO torna-se possível, garantindo a eficiência dos enlaces ópticos da empresa e atuando instantaneamente em qualquer falha que ocorra na sua rede.

6 OPERAÇÃO DO SISTEMA DE GERÊNCIA DE REDES ÓPTICAS

Uma vez demonstradas suas características, a partir deste ponto é demonstrada a aplicação do SGRO perante os principais eventos que ocorrem em uma rede óptica de uma grande empresa de telecomunicações. As ações tomadas utilizam as ferramentas demonstradas no capítulo anterior na solução dos problemas.

6.1 TIPOS DE ALARME

A partir de uma medida de referência, são estabelecidas as bandas de guarda com o objetivo de detectar falhas graves no sistema óptico. Paralelamente a utilização das bandas de guarda, são estabelecidos como padrão três tipos de alarme de acordo com o nível de atuação sofrido pelo sinal em uma medida de supervisão. São eles:

- Minoritário – alarme que ocorre em medidas de supervisão com atenuação com diferença maior que 1 dB e menores que 2,5 dB em relação à medida de referência;
- Majoritário – este tipo de alarme é acionado quando a atenuação de uma medida de supervisão difere entre 2,5 dB e 5 dB da medida de referência;
- Crítico – alarme mais importante que é disparado uma vez que uma medida de supervisão apresente atenuações com diferenças maiores que 5 dB em relação à medida de referência adotada.

Em alguns casos em que a medida de supervisão apresenta um desempenho superior à medida de referência, ou seja, o enlace apresente uma menor atenuação ao longo do seu percurso, é feita uma nova medida de referência, para utilizar estes novos dados de atenuação.

A seguir, na figura 6.1 será demonstrado um enlace no qual foram realizadas três medidas de supervisão diferentes para um mesmo enlace e estas apresentaram os parâmetros referentes aos três casos relatados anteriormente. O sinal na cor laranja, com uma atenuação de 1,171875 dB maior que a referência ocasionou um alarme minoritário. O sinal na cor azul, com atenuação de 3,562500 dB em relação a referência é um alarme majoritário. Neste caso, foi constatado pela equipe de campo que o cabo óptico havia sido amassado por uma retro-escavadeira, acarretando uma grande perda de desempenho do sistema. Coube a esta equipe realinhar o cabo e corrigir a fibra para que seu desempenho normal fosse restabelecido. Já a medida de cor amarela, foi a que acarretou em um alarme crítico, e neste caso ocorreu o rompimento do cabo óptico. Nota-se que no momento do rompimento, o sinal apresenta uma atenuação de mais de 13 dB em relação à medida de referência. O segmento distorcido após esta atenuação trata-se de ruído.

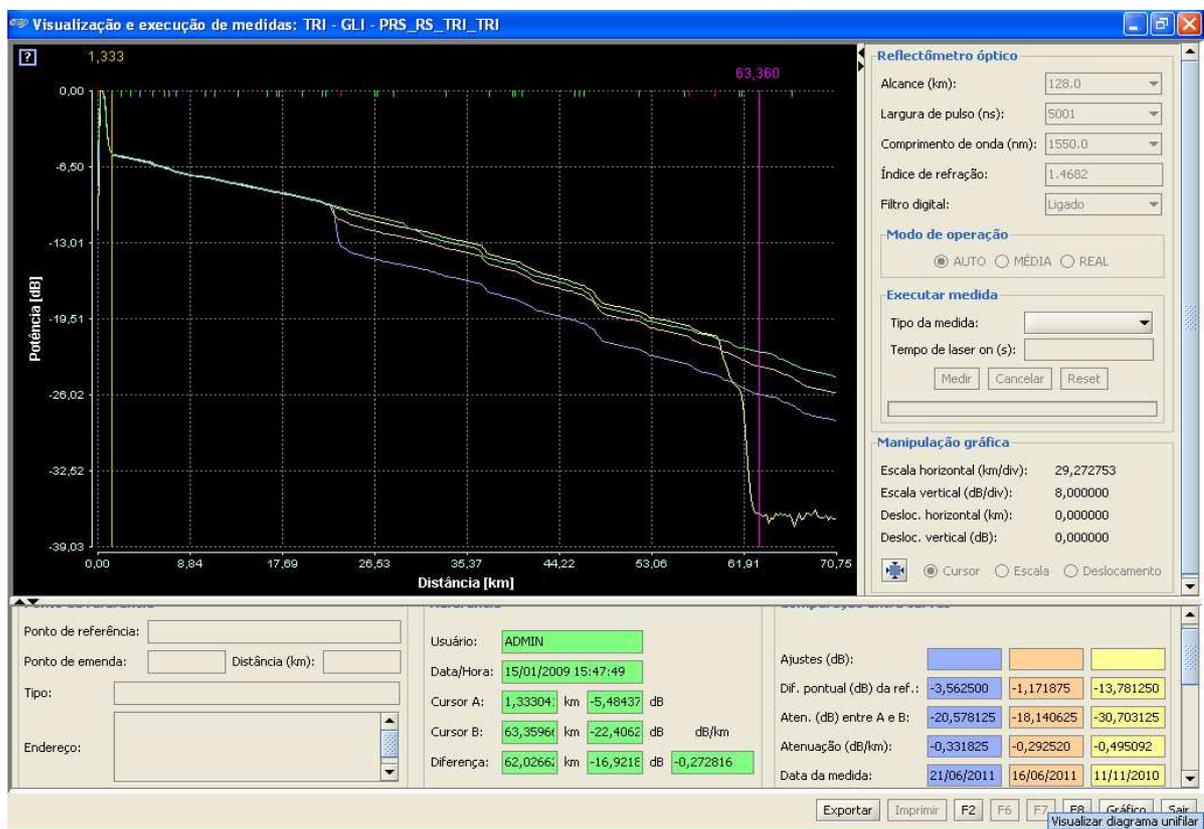


Figura 6.1 – Tipos de alarme.

Esta figura 6.1 também demonstra a interface com o usuário do SGRO para supervisão óptica. Nesta interface, podem-se alterar as configurações do OTDR, conferir distâncias em relação ao PRS onde inicia o enlace, conferir pontos de referência e também conferir os parâmetros da medida de referência em verde.

6.2 DETECÇÃO DE FALHAS

A partir do conhecimento dos parâmetros para classificação de alarmes, o SGRO combina a detecção de falhas à capacidade de demonstrar o exato ponto de rompimento ou falha em metros em relação ao PRS. A partir da definição das bandas de guarda, o alarme é acionado no momento em que a atenuação em dB supera este valor limite. Com o alarme acionado, basta ao operador do sistema posicionar o cursor no exato ponto onde a atenuação altera-se bruscamente e ele terá a correta distância entre o PRS e o ponto de rompimento.

No caso demonstrado a seguir pela figura 6.2, ocorreu um rompimento do cabo óptico e no momento em que o operador acessa este enlace, o sistema apresenta a interface responsável por identificar as falhas. Nesta são apresentadas diversas informações a respeito do ocorrido, como o tipo de alarme, atenuação em dB e principalmente a distância em relação ao PRS. Esta informação reduz consideravelmente o tempo necessário para a equipe de campo tratar este evento. Neste caso específico, conforme a figura 6.2, o rompimento ocorreu a 22983 metros do PRS. Uma vez que existam pontos de referência cadastrados no sistema, esta interface também demonstra as distâncias para estes locais. Estas informações são muito importantes, uma vez que como é visto, o ponto de referência anterior remete a um estabelecimento comercial localizado na estrada, bastando ao pessoal de campo percorrer 1143 metros deste ponto até o local onde ocorreu a falha no enlace.



Figura 6.2 – Características do ponto de rompimento.

Como pode ser visto, o rompimento ocorreu no litoral do Rio Grande do Sul, próximo à cidade de Tramandaí e o cabo era composto por 18 fibras ópticas.

A partir da detecção do ponto de falha, o operador pode utilizar outras ferramentas do SGRO para verificar os componentes da rede afetados por este rompimento. O diagrama unifilar deste enlace é apresentado na figura 6.3 e demonstra toda a composição deste segmento que vai do município de Tramandaí até a estação situada no município de Quintão. Por meio deste diagrama percebe-se que se trata de um enlace subterrâneo e que pode ter ocorrido o rompimento devido a uma retro-escavadeira ou até mesmo algum tipo de ato de vandalismo, que também é uma das causas mais comuns de alarmes.

PRS_RS_TRI_TRI

PRS TRI - QITO

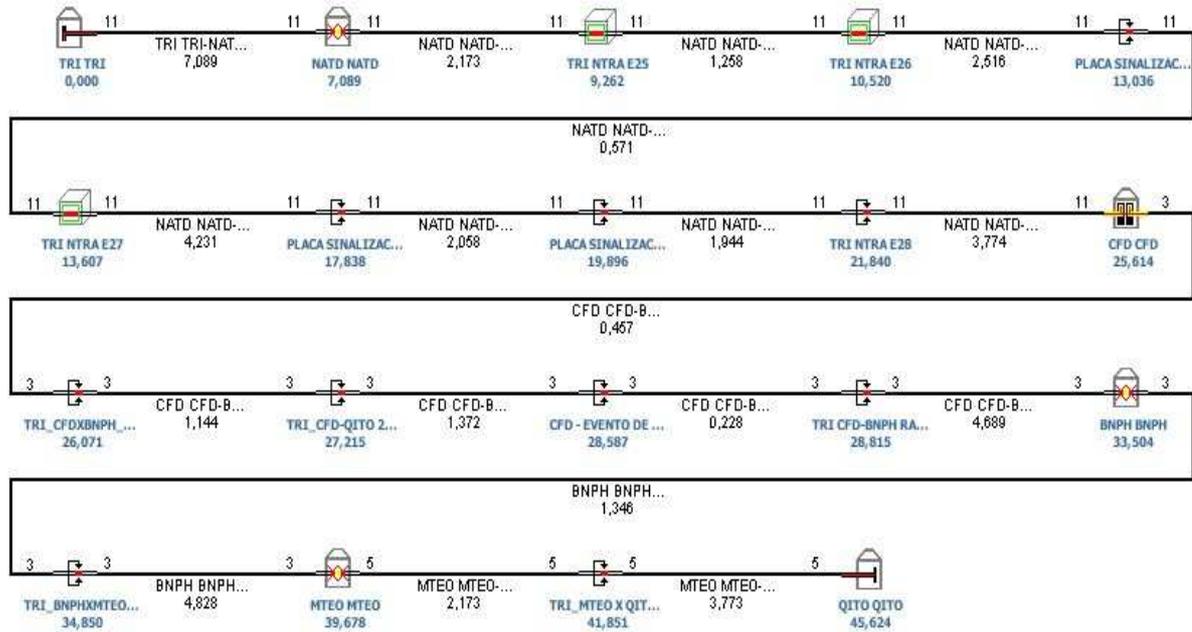


Figura 6.3 – Diagrama unifilar do enlace que apresentou o alarme.

6.3 PROGRAMAÇÃO DE MELHORIAS NA REDE

Paralelamente à supervisão dos enlaces ópticos na rede, o SGRO também é uma ferramenta útil no auxílio de projetos de expansão dos sistemas da empresa. A grande quantidade de dados cadastrados fornece uma visão bastante detalhada da rede da empresa e assim contribui no momento de tomada de decisões.

Através do diagrama de transmissão, é possível ter uma visão geral dos enlaces WDM da rede, onde em cada ponto é possível visualizar a composição bastando um clique. Desta maneira, é permitido ao operador enxergar a ocupação em comprimentos de onda dos equipamentos WDM, sabendo onde existe a possibilidade de adicionar mais sinais ou em caso de não haver esta possibilidade, inserir novos equipamentos. A figura 6.4 ilustra o diagrama de transmissão nacional com o enlace entre Curitiba e Porto Alegre.

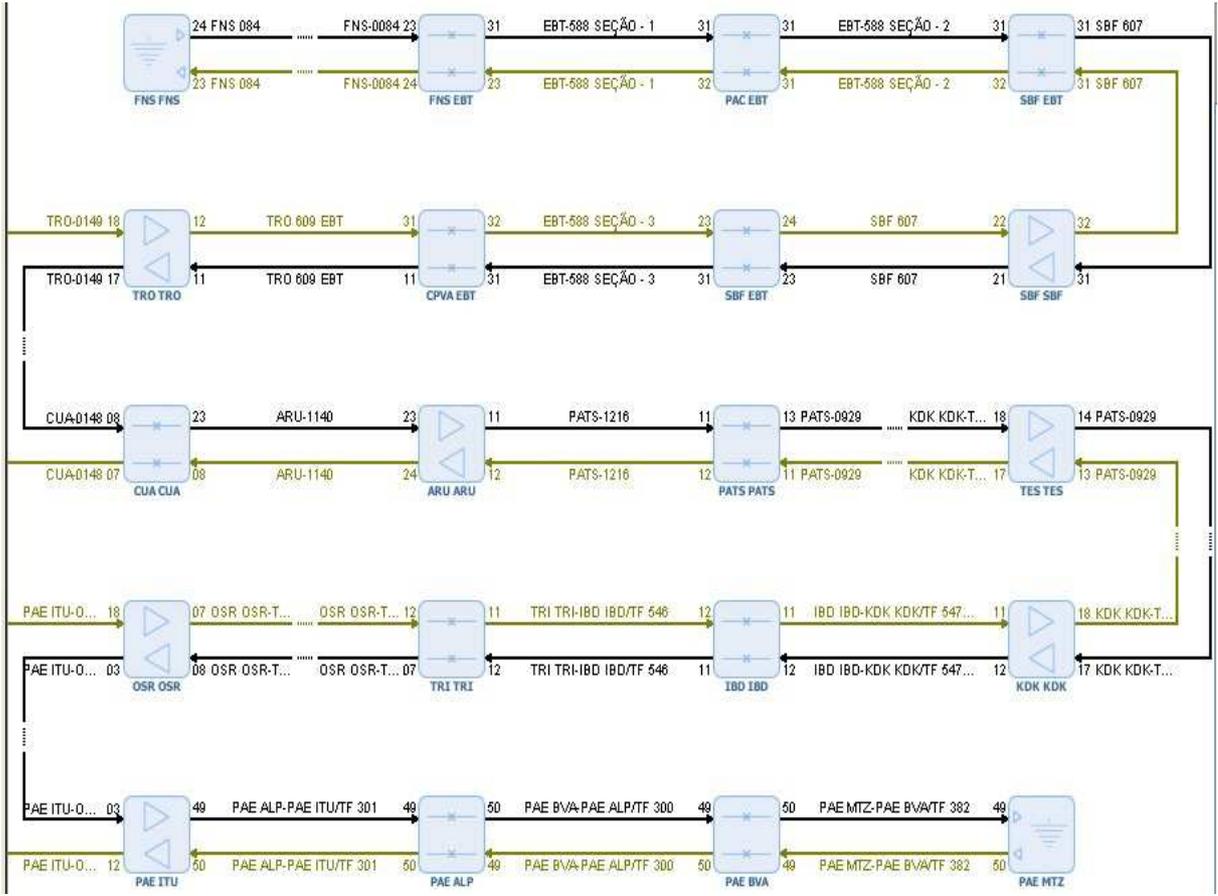


Figura 6.4 – Diagrama de transmissão de enlace nacional.

Com uma visão dinâmica da rede é possível tomar decisões referentes a alterações na estrutura da mesma com maior facilidade, otimizando o rendimento de cada ponto ou equipamento da rede.

7 CONCLUSÃO

A partir deste trabalho de diplomação, conclui-se a grande importância de um sistema capaz de identificar defeitos em redes ópticas de grande porte. Este tipo de detecção diminuiu consideravelmente o tempo de tratamento dos eventos de fibra óptica, sendo este tempo em alguns casos menor que a metade do tempo gasto em épocas em que o SGRO não fazia parte do sistema da operadora.

O fato de manter atualizado um cadastro com todos os dados referentes aos enlaces favorece qualquer tipo de decisão a ser tomada acerca do tipo de tratamento que deve ser utilizado em cada caso.

Outro ponto importante é o equipamento OTDR. Esta ferramenta é a mais importante do sistema, e poupa uma enorme quantidade de tempo nas equipes de campo, que sem as medidas precisas de um OTDR para auxiliar teriam que percorrer todo o percurso de um enlace com extrema atenção de maneira a encontrar a olho nu o ponto de rompimento. Isto nos dias de hoje é altamente inviável e afetaria muito a confiabilidade das empresas de telecomunicações, que com seus serviços off-line por grandes quantidades de tempo tem a confiabilidade de seus clientes afetada.

A aplicação dos conceitos estudados é perfeitamente realizada durante o trabalho diário com o SGRO, uma vez que sem o devido conhecimento por parte do operador, as ferramentas disponibilizadas pelo SGRO não seriam de grande efetividade. O conhecimento das características das fibras ópticas, bem como as peculiaridades e vantagens dos sistemas de transmissão WDM são essenciais para a correta utilização do sistema.

É importante ressaltar que o SGRO é um sistema que está em atualização constante. Frequentemente novas funcionalidades são adicionadas de maneira a aperfeiçoar ainda mais o tratamento de eventos de fibra óptica nas redes das grandes empresas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GIOZZA, William F.;CONFORTI, Evandro; WALDMAN, Hélio. Fibras ópticas - Tecnologia e Projeto de Sistemas. Rio de Janeiro: EMBRATEL; 1991.
- [2] http://www.gta.ufrj.br/grad/08_1/wdm1/Atenuaoelimitaesdasfibraspticas.html
- [3] Costa, Abel; Características de transmissão: atenuação e dispersão; FEUP – Faculdade de engenharia da universidade do Porto.
- [4] GOVIND, P. Agrawal; Fiber-Optic Communication Systems; WILEY INTER-SCIENCE.
- [5] <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialdwdm/default.asp>
- [6] <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrwdm/default.asp>
- [7] http://www.eaeie.org/theiere_bratislava/3.html