UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

RICARDO ELIAS CAETANO

**Análise e Síntese de Sistemas Multiplexados:
Uma Abordagem de Confiabilidade e Manutenabilidade Operacional**

São Paulo
2007

RICARDO ELIAS CAETANO

**Análise e Síntese de Sistemas Multiplexados:
Uma Abordagem de Confiabilidade e Manutenibilidade Operacional**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
Título de Doutor em Engenharia

Área de Concentração: Sistemas de Potência
Orientador: Prof. Dr. Cícero Couto de Moraes

São Paulo
2007

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 24 de abril de 2007.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Caetano, Ricardo Elias

Análise e síntese de sistemas multiplexados: uma abordagem de confiabilidade e manutenibilidade operacional / R.E. Caetano. -- ed.rev. -- São Paulo, 2007.

193 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.Teoria da confiabilidade 2.Fibra óptica 3.Manutenção preventiva 4.Redes de telecomunicações I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Ricardo Elias Caetano

Análise e Síntese de Sistemas Multiplexados: Uma Abordagem de Confiabilidade e Manutenibilidade Operacional

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
Título de Doutor.

Área de Concentração: Sistemas de Potência

Aprovado em:.....

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Aos meus pais, Alécio Caetano e Terezinha Marlene Caetano, pelo apoio, carinho e amor, presentes em todos os momentos de minha vida.

À minha querida esposa, Heloísa Vasconcellos Amaral Caetano, pelo incentivo, dedicação, compreensão e amor, dispensados na elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Cícero Couto de Moraes, pela impecável orientação e principalmente pela oportunidade de conviver e aprender com um ótimo profissional, pesquisador e uma excelente pessoa.

A todos os demais docentes do Departamento de Energia e Automação Elétricas (Poli-USP), que colaboraram para a minha formação científica.

Aos colegas profissionais da Empresa de Telecomunicações de São Paulo S/A (Telefônica), que colaboraram direta ou diretamente, com orientações, explicações e sugestões.

À secretária Luzia do Carmo Namiki, pelo acompanhamento e contribuição.

Aos demais funcionários do Departamento de Energia e Automação Elétricas (Poli-USP), pela amizade e colaboração.

Aos amigos desse Departamento, pelo espírito de colaboração e amizade.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para elaboração deste trabalho.

“Os homens me atribuem uma genialidade, mas toda a genialidade que tenho reside no seguinte: quando há um assunto em minha mente, estudo-o em profundidade. Penso nele dia e noite. Exploro-o em todos os seus aspectos. Minha mente fica impregnada dele. O resultado é o que muitas pessoas chamam de frutos da genialidade, enquanto, na verdade, são os frutos do estudo e do trabalho”.

Alexander Hamilton

RESUMO

CAETANO, R. E. **Análise e Síntese de Sistemas Multiplexados: Uma Abordagem de Confiabilidade e Manutenabilidade Operacional**. 2007. 193 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

O trabalho apresentado sob o título “Análise e Síntese de Sistemas Multiplexados: Uma Abordagem de Confiabilidade e Manutenabilidade Operacional” tem como objetivo propor um modelo prático para a manutenção, baseado na confiabilidade e manutenabilidade de componentes.

Os dados desse trabalho foram obtidos através de relatórios gerenciais da Empresa de Telecomunicações de São Paulo S/A, no período de janeiro/05 a junho/06, para as topologias de rede em anel e ponto a ponto da cidade de São Paulo, municípios da Grande São Paulo, Vale do Paraíba e Litoral do Estado de São Paulo. Com esses dados, foi utilizado o algoritmo de Weibull, cujo modelo probabilístico permite modelar vários tipos de resultados experimentais e operacionais.

Dessa forma, foram determinados a confiabilidade operacional, o Tempo Médio de Bom Funcionamento (MTTF), a manutenabilidade, o Tempo Médio de Reparo (MTTR) e a disponibilidade para os componentes da rede externa óptica e dos equipamentos de rede da topologia de rede em anel e ponto a ponto.

Observou-se que o equipamento de rede de Multiplexação Densa por Divisão do Comprimento de Onda (DWDM) apresenta uma confiabilidade operacional maior que a dos Equipamentos de Rede Tradicionais (ERT), independente da topologia de rede utilizada.

Comparando-se o custo de implantação de uma rede óptica com DWDM e ERT, a uma taxa de transmissão de 2,5 Gbps, pode ser verificado que o custo é aproximadamente sete vezes menor quando se utiliza a rede óptica com DWDM.

Por fim, foi feita uma comparação entre o custo total e médio da manutenção corretiva e preventiva para as topologias analisadas.

Assim, pode ser concluído que a tecnologia DWDM é a opção mais vantajosa em termos de confiabilidade e manutenibilidade em relação ao ERT.

Palavras-chave: Teoria da Confiabilidade. Fibra Óptica. Manutenção Preventiva. Rede de Telecomunicações.

ABSTRACT

CAETANO, R. E. **Analysis and Synthesis of Multiplexed Systems: An Approach of Reliability and Operational Maintainability**. 2007. 193 f. Thesis (Doctoral) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

The work presented under the heading "Analysis and Synthesis of Multiplexed Systems: An Approach of Reliability and Operational Maintainability" has as objective to consider a practical model for the maintenance, based on the reliability and maintainability of components.

The data of this work had been gotten through management reports of the Company of Telecommunications of São Paulo S/A, in the period of january/05 to june/06, for the in ring and point to point network topologies of the city of São Paulo, cities of the Great São Paulo, Valley of Paraíba and the coast of the State of São Paulo. With these data, it was used the algorithm of Weibull, whose probabilistic model allows to model many types of experimentals and operationals results.

Of this form, were determined the operational reliability, the Mean Time To Failure (MTTF), the maintainability, the Mean Time To Repair (MTTR) and the availability for the components of the fiber optic external network and the network equipments of the in ring and point-to-point network topology.

It was observed that the network equipment of Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) presents a greater operational reliability that the Traditionals Network Equipments (ERT), independent of the network topology used.

Comparing itself the cost of implantation of an fiber optic network with DWDM and ERT, to a rate of transmission of 2,5 Gbps, it could be verified that the cost is approximately seven times lesser when it is used the fiber optic network with DWDM.

Finally, a comparison between the total and average cost of the corrective and preventive maintenance for the analyzed topologies was made.

So, it can be concluded that the technology DWDM is the option most advantageous in terms of reliability and maintainability in relation to the ERT.

Keywords: Reliability Theory. Fiber Optic. Preventive Maintenance.
Telecommunications Network.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -	Fibra óptica.....	36
Figura 2.2 -	Espectro eletromagnético destacando-se a região da faixa de luz e dos valores usuais para os sistemas de comunicações por fibras ópticas.....	38
Figura 2.3 -	Fibra óptica monomodo comum – SM.....	40
Figura 2.4 -	Cabo óptico protegido por capa APL.....	42
Figura 2.5 -	Cabo óptico dielétrico enterrado.....	42
Figura 2.6 -	Cabo óptico dielétrico enterrado anti-roedor.....	42
Figura 2.7 -	Cabo óptico dielétrico duto.....	43
Figura 2.8 -	Cabo óptico dielétrico aéreo auto sustentado.....	44
Figura 2.9 -	ATF-U.....	49
Figura 2.10.a -	ATF-B/4.....	50
Figura 2.10.b -	ATF-B/2.....	50
Figura 2.11 -	Seção “Multiplex” e a Via para sistemas da Hierarquia Digital Síncrona.....	50
Figura 2.12 -	ATF-U PV.....	52
Figura 2.13 -	Exemplo de Proteção de Via.....	53
Figura 2.14 -	Sistema DWDM de n Comprimentos de Onda.....	56
Figura 2.15 -	Foto de um Equipamento DWDM - fabricante SIEMENS.....	61
Figura 2.16 -	Tipos de Topologias de Rede.....	62
Figura 2.17 -	Topologia de Rede Ponto a Ponto.....	63
Figura 2.18 -	Topologia de Rede Ponto a Ponto sem Cabo Aéreo.....	63
Figura 2.19 -	Topologia de Rede Ponto a Ponto com Cabo Aéreo.....	63
Figura 2.20 -	Topologia de Rede em Anel.....	64

Figura 2.21 -	Topologia de Rede em Anel sem Cabo Aéreo.....	65
Figura 2.22 -	Topologia de Rede em Anel com Cabo Aéreo.....	65
Figura 2.23 -	Topologia de Rede Física e Lógica.....	66
Figura 2.24 -	Proteção SNCP.....	68
Figura 2.25 -	Proteção MS-SPRing.....	70
Figura 2.26 -	Topologias de Rede Típicas.....	72
Figura 4.1 -	Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o ERT.....	98
Figura 4.2 -	Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o ERT.....	98
Figura 4.3 -	Curvas de densidade de probabilidade de falha dos componentes da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o ERT.....	99
Figura 4.4 -	Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o DWDM.....	102
Figura 4.5 -	Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o DWDM.....	102
Figura 4.6 -	Curvas de densidade de probabilidade de falha dos componentes da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o DWDM.....	103
Figura 4.7 -	Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o ERT.....	106
Figura 4.8 -	Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o ERT.....	106
Figura 4.9 -	Curvas de densidade de probabilidade de falha dos componentes da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o ERT.....	107
Figura 4.10 -	Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o DWDM.....	110
Figura 4.11 -	Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o DWDM.....	110

Figura 4.12 -	Curvas de densidade de probabilidade de falha dos componentes da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o DWDM.....	111
Figura 4.13 -	Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o ERT.....	114
Figura 4.14 -	Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o ERT.....	114
Figura 4.15 -	Curvas de densidade de probabilidade de falha dos componentes da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o ERT..	115
Figura 4.16 -	Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o DWDM.....	118
Figura 4.17 -	Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o DWDM.....	118
Figura 4.18 -	Curvas de densidade de probabilidade de falha dos componentes da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o DWDM.....	119
Figura 4.19 -	Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o ERT.....	122
Figura 4.20 -	Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o ERT.....	122
Figura 4.21 -	Curvas de densidade de probabilidade de falha dos componentes da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o ERT..	123
Figura 4.22 -	Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o DWDM.....	126
Figura 4.23 -	Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o DWDM.....	126
Figura 4.24 -	Curvas de densidade de probabilidade de falha dos componentes da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o DWDM.....	127
Figura B.1 -	Determinação dos pontos para linearização da curva.....	156
Figura B.2 -	Gráfico de Weibull para determinação dos parâmetros γ , η e β	157

Figura D.1 -	Gráfico de Weibull do Cabo Subterrâneo da Topologia em Anel.....	168
Figura D.2 -	Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha do Cabo Subterrâneo da Topologia em Anel.....	169
Figura D.3 -	Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha do Cabo Subterrâneo da Topologia em Anel.....	169
Figura D.4 -	Gráfico de Weibull do Cabo Aéreo da Topologia em Anel.....	170
Figura D.5 -	Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha do Cabo Aéreo da Topologia em Anel.....	170
Figura D.6 -	Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha do Cabo Aéreo da Topologia em Anel.....	171
Figura D.7 -	Gráfico de Weibull dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia em Anel.....	171
Figura D.8 -	Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia em Anel.....	172
Figura D.9 -	Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia em Anel.....	172
Figura D.10 -	Gráfico de Weibull do Equipamento de Rede DWDM da Topologia em Anel.....	173
Figura D.11 -	Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha do Equipamento de Rede DWDM da Topologia em Anel.....	173
Figura D.12 -	Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha do Equipamento de Rede DWDM da Topologia em Anel..	174
Figura D.13 -	Gráfico de Weibull do Cabo Subterrâneo da Topologia Ponto a Ponto.....	174
Figura D.14 -	Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha do Cabo Subterrâneo da Topologia Ponto a Ponto.....	175
Figura D.15 -	Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha do Cabo Subterrâneo da Topologia Ponto a Ponto.....	175
Figura D.16 -	Gráfico de Weibull do Cabo Aéreo da Topologia Ponto a Ponto.....	176
Figura D.17 -	Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha do Cabo Aéreo da Topologia Ponto a Ponto.....	176

Figura D.18 -	Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha do Cabo Aéreo da Topologia Ponto a Ponto.....	177
Figura D.19 -	Gráfico de Weibull dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia Ponto a Ponto.....	177
Figura D.20 -	Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia Ponto a Ponto.....	178
Figura D.21 -	Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia Ponto a Ponto.....	178
Figura D.22 -	Gráfico de Weibull do Equipamento de Rede DWDM da Topologia Ponto a Ponto.....	179
Figura D.23 -	Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha do Equipamento de Rede DWDM da Topologia Ponto a Ponto.....	179
Figura D.24 -	Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha do Equipamento de Rede DWDM da Topologia Ponto a Ponto.....	180
Figura E.1 -	Gráfico de Weibull do Cabo Subterrâneo da Topologia em Anel.....	182
Figura E.2 -	Curva de Manutenabilidade do Cabo Subterrâneo da Topologia em Anel.....	182
Figura E.3 -	Curvas de Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo do Cabo Subterrâneo da Topologia em Anel.....	183
Figura E.4 -	Gráfico de Weibull do Cabo Aéreo da Topologia em Anel.....	183
Figura E.5 -	Curva de Manutenabilidade do Cabo Aéreo da Topologia em Anel..	184
Figura E.6 -	Curvas de Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo do Cabo Aéreo da Topologia em Anel.....	184
Figura E.7 -	Gráfico de Weibull dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia em Anel.....	185
Figura E.8 -	Curva de Manutenabilidade dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia em Anel.....	185
Figura E.9 -	Curvas de Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia em Anel.....	186

Figura E.10 -	Gráfico de Weibull do Equipamento de Rede DWDM da Topologia em Anel.....	186
Figura E.11 -	Curva de Manutenibilidade do Equipamento de Rede DWDM da Topologia em Anel.....	187
Figura E.12 -	Curvas de Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo do Equipamento de Rede DWDM da Topologia em Anel.....	187
Figura E.13 -	Gráfico de Weibull do Cabo Subterrâneo da Topologia Ponto a Ponto.....	188
Figura E.14 -	Curva de Manutenibilidade do Cabo Subterrâneo da Topologia Ponto a Ponto.....	188
Figura E.15 -	Curvas de Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo do Cabo Subterrâneo da Topologia Ponto a Ponto.....	189
Figura E.16 -	Gráfico de Weibull do Cabo Aéreo da Topologia Ponto a Ponto.....	189
Figura E.17 -	Curva de Manutenibilidade do Cabo Aéreo da Topologia Ponto a Ponto.....	190
Figura E.18 -	Curvas de Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo do Cabo Aéreo da Topologia Ponto a Ponto.....	190
Figura E.19 -	Gráfico de Weibull dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia Ponto a Ponto.....	191
Figura E.20 -	Curva de Manutenibilidade dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia Ponto a Ponto.....	191
Figura E.21 -	Curvas de Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia Ponto a Ponto.....	192
Figura E.22 -	Gráfico de Weibull do Equipamento de Rede DWDM da Topologia Ponto a Ponto.....	192
Figura E.23 -	Curva de Manutenibilidade do Equipamento de Rede DWDM da Topologia Ponto a Ponto.....	193
Figura E.24 -	Curvas de Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo do Equipamento de Rede DWDM da Topologia Ponto a Ponto.....	193

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 -	Taxas de SDH.....	46
Tabela 2.2 -	Distribuição de Comprimentos de Onda – Banda C.....	58
Tabela 3.1 -	Os três parâmetros de Weibull para as topologias estudadas.....	79
Tabela 3.2 -	Tabela numérica para determinar MTTF e Desvio Padrão.....	83
Tabela 3.3 -	MTTF e Desvio Padrão dos componentes da Rede Externa Óptica e ER das topologias analisadas.....	83
Tabela 3.4 -	MTTF, Confiabilidade associada ao MTTF, Taxa Instantânea de Falha e período de vida nominal dos componentes da Rede Externa Óptica e ER da topologia em anel.....	85
Tabela 3.5 -	MTTF, Confiabilidade associada ao MTTF, Taxa Instantânea de Falha e período de vida nominal dos componentes da Rede Externa Óptica e ER da topologia ponto a ponto.....	85
Tabela 3.6 -	Os três parâmetros de Weibull para as topologias estudadas.....	87
Tabela 3.7 -	MTTR, Manutenibilidade associada ao MTTR, Taxa Instantânea de Reparo e Desvio Padrão dos componentes da Rede Externa Óptica e ER da topologia em anel.....	88
Tabela 3.8 -	MTTR, Manutenibilidade associada ao MTTR, Taxa Instantânea de Reparo e Desvio Padrão dos componentes da Rede Externa Óptica e ER da topologia ponto a ponto.....	89
Tabela 3.9 -	Disponibilidade dos componentes da Rede Externa Óptica e ER das topologias estudadas.....	90
Tabela 4.1 -	Porcentagem de ocupação da rede óptica da topologia em anel e ponto a ponto.....	92
Tabela 4.2 -	Valores numéricos das funções da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o ERT.....	97
Tabela 4.3 -	Valores numéricos das funções da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o DWDM.....	101
Tabela 4.4 -	Valores numéricos das funções da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o ERT.....	105
Tabela 4.5 -	Valores numéricos das funções da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o DWDM.....	109

Tabela 4.6 -	Valores numéricos das funções da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o ERT.....	113
Tabela 4.7 -	Valores numéricos das funções da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o DWDM.....	117
Tabela 4.8 -	Valores numéricos das funções da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o ERT.....	121
Tabela 4.9 -	Valores numéricos das funções da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o DWDM.....	125
Tabela 4.10 -	Confiabilidade das topologias analisadas neste trabalho.....	128
Tabela 4.11 -	MTTF das topologias analisadas neste trabalho.....	128
Tabela 4.12 -	Disponibilidade das topologias analisadas neste trabalho.....	129
Tabela 5.1 -	Faturamentos médios por hora, em unidades monetárias, das topologias estudadas.....	132
Tabela 5.2 -	Custos operacionais das topologias estudadas.....	133
Tabela 5.3 -	Taxas de mão-de-obra dos componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede.....	133
Tabela 5.4 -	Taxas de substituição e reparo dos componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede.....	134
Tabela 5.5 -	Tempos técnicos de reparo acumulados, total de eventos, total de componentes substituídos e reparados para a topologia em anel.....	137
Tabela 5.6 -	Tempos técnicos de reparo acumulados, total de eventos, total de componentes substituídos e reparados para a topologia ponto a ponto...	137
Tabela 5.7 -	Custo total da manutenção corretiva dos componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede da topologia em anel e ponto a ponto.....	138
Tabela 5.8 -	Custo total da manutenção corretiva anual, mensal, diário e por hora, para as topologias estudadas.....	138
Tabela 5.9 -	Custo médio de uma intervenção da manutenção corretiva para as topologias estudadas.....	138
Tabela 5.10 -	Tempo de interrupção de um sistema de telecomunicações, total de componentes substituídos e total de intervenções para a topologia em anel.....	141

Tabela 5.11 -	Tempo de interrupção de um sistema de telecomunicações, total de componentes substituídos e total de intervenções para a topologia ponto a ponto.....	141
Tabela 5.12 -	Custo total anual da manutenção preventiva dos componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede da topologia em anel e ponto a ponto.....	142
Tabela 5.13 -	Custo total da manutenção preventiva anual, mensal, diário e por hora, para as topologias analisadas.....	142
Tabela 5.14 -	Custo médio de uma intervenção da manutenção preventiva para as topologias estudadas.....	143
Tabela 5.15 -	Custo global da manutenção anual, mensal, diário e por hora, para as topologias estudadas.....	143
Tabela 5.16 -	Custo médio global de uma intervenção para as topologias estudadas...	144
Tabela A.1 -	Acompanhamento Mensal da Quantidade de Acessos Interrompidos e do Total de Acessos dos componentes da Rede Externa Óptica e Equipamentos de Rede da Topologia em Anel.....	153
Tabela A.2 -	Acompanhamento Mensal da Quantidade de Acessos Interrompidos e do Total de Acessos dos componentes da Rede Externa Óptica e Equipamentos de Rede da Topologia Ponto a Ponto.....	154
Tabela C.1 -	Acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento do Cabo Subterrâneo da Topologia em Anel.....	159
Tabela C.2 -	Acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento do Cabo Aéreo da Topologia em Anel.....	160
Tabela C.3 -	Acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia em Anel.....	161
Tabela C.4 -	Acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento do Equipamento de Rede DWDM da Topologia em Anel.....	162
Tabela C.5 -	Acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento do Cabo Subterrâneo da Topologia Ponto a Ponto.....	163
Tabela C.6 -	Acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento do Cabo Aéreo da Topologia Ponto a Ponto.....	164
Tabela C.7 -	Acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia Ponto a Ponto.....	165
Tabela C.8 -	Acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento do Equipamento de Rede DWDM da Topologia Ponto a Ponto.....	166

LISTA DE ABREVIATURAS

ADM	Multiplexador de Inserção ou Retirada
APD	Fotodiodo Avalanche
ATF	Anel Tolerante a Falha
ATF PS	Anel Tolerante a Falha com Proteção de Seção “Multiplex”
ATF PV	Anel Tolerante a Falha com Proteção de Via
ATF-B	Anel Tolerante a Falha Bidirecional
ATF-B PS	Anel Tolerante a Falha Bidirecional com Proteção de Seção “Multiplex”
ATF-B/2 PS	Anel Tolerante a Falha Bidirecional com Proteção de Seção “Multiplex” com 2 fibras ópticas
ATF-B/4 PS	Anel Tolerante a Falha Bidirecional com Proteção de Seção “Multiplex” com 4 fibras ópticas
ATF-U	Anel Tolerante a Falha Unidirecional
ATF-U PV	Anel Tolerante a Falha Unidirecional com Proteção de Via
ATM	Modo de Transferência Assíncrono
CA	Cabo Aéreo
CAP	Comutação Automática de Proteção
CS	Cabo Subterrâneo
DS	Fibra Óptica Monomodo com Dispersão Deslocada
DWDM	Multiplexação Densa por Divisão do Comprimento de Onda
ELO	Equipamento de Linha Óptica
ER	Equipamentos de Rede
ERT	Equipamentos de Rede Tradicionais
IP	Protocolo “Internet”
ISO	Organização Internacional de Padronização

ITU-T	International Telecommunication Union
LAN	Rede de Área Local
LASER	Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação
MS-SPRing	Seção de Multiplexação – Proteção em Anel Distribuída
NZD	Fibra Óptica Monomodo com Dispersão Deslocada Não Zero
OCI	Interface do Canal Óptico
OCLD	Detector LASER de Canal Óptico
OCM	Gerência do Canal Óptico
OD	Demultiplexador Óptico
OM	Multiplexador Óptico
OPGW	OPTical Ground Wire
OSC	Canal de Supervisão Óptico
OTR	Transponder Óptico
PCM	Modulação por Código de Pulso
PDH	Hierarquia Digital Plesiócrons
SDH	Hierarquia Digital Síncrona
SIA	Sinal Indicativo de Alarme
SLA	Acordo de Nível de Serviço
SM	Fibra Óptica Monomodo Comum
SNCP	Proteção de Conexão de Subrede
SP	Processador de Prateleira
STM	Módulo de Transporte Síncrono
TMN	Gerência de Rede de Telecomunicações
TSI	Time Slot Interchange

LISTA DE SÍMBOLOS

β	Parâmetros de Forma da Distribuição de Weibull
C_{Gm}	Custo Global da Manutenção (\$: unidades monetárias)
C_{mc}	Custo da Manutenção Corretiva (\$: unidades monetárias)
C_{mom}	Custo da Mão-de-Obra Requerida para Manutenção (\$: unidades monetárias)
C_{op}	Custo Operacional da Manutenção Corretiva ou Preventiva (\$: unidades monetárias)
C_p	Custo de Perda da Produção (\$: unidades monetárias)
C_R	Custo de Reparação (\$: unidades monetárias)
C_{Tmc}	Custo Total da Manutenção Corretiva (\$: unidades monetárias)
C_{Tmp}	Custo Total da Manutenção Preventiva (\$: unidades monetárias)
$\bar{C}_{Gm}$	Custo Médio Global de uma Intervenção (\$: unidades monetárias)
$\bar{C}_{mc}$	Custo Médio de uma Intervenção Corretiva (\$: unidades monetárias)
$\bar{C}_{mp}$	Custo Médio de uma Intervenção Preventiva (\$: unidades monetárias)
D	Disponibilidade Operacional (%)
D_T	Disponibilidade Operacional de uma determinada Topologia (%)
e	Valor Exponencial
$f(t)$	Função Densidade de Probabilidade de Falha (falhas/hora)
$f_T(t)$	Função Densidade de Probabilidade de Falha de uma determinada Topologia (falhas/hora)
$F(t)$	Função Partição de $f(t)$ = Probabilidade de Falha (%)
$F(i)$	Frequência Acumulada (%)
$F_T(t)$	Função Partição de $f(t)$ = Probabilidade de Falha de uma determinada Topologia (%)
$g(t)$	Função Densidade de Probabilidade de Reparo (reparos/hora)

Γ	Função Gama
γ	Parâmetros de Posição da Distribuição de Weibull (horas)
H	Números de Técnicos para a realização da Manutenção
η	Parâmetros de Escala da Distribuição de Weibull (horas)
λ	Comprimento de Onda (nm)
λ'	Taxa Média de Falha (falhas/hora)
$\lambda(t)$	Taxa Instantânea de Falha (falhas/hora)
$\lambda_{\text{comp}}(t)$	Taxa Instantânea de Falha do Componente (falhas/hora)
$\lambda_e(t)$	Taxa Instantânea de Falha Equivalente de um determinado Componente (falhas/hora)
$\lambda_T(t)$	Taxa Instantânea de Falha de uma determinada Topologia (falhas/hora)
m	Total de Intervenções Realizadas na Manutenção Preventiva
M(t)	Função Partição de $g(t)$ = Probabilidade de Reparo (%)
MTTF	(Mean Time To Failure): Tempo Médio de Bom Funcionamento (horas)
MTTR	(Mean Time To Repair): Tempo Médio de Reparo (horas)
μ	Taxa Média de Reparo (reparos/hora)
$\mu(t)$	Taxa Instantânea de Reparo (reparos/hora)
n	Número de Componentes Reservas
N	Total de Eventos
N_{rep}	Número de Componentes Reparados
N_{sub}	Número de Componentes Substituídos
N_T	Número de Componentes de uma determinada Topologia
R(t)	Função Confiabilidade = Probabilidade de Bom Funcionamento (%)
$R_e(t)$	Função Confiabilidade Equivalente de um determinado Componente = Probabilidade de Bom Funcionamento (%)

$R_T(t)$	Função Confiabilidade de uma determinada Topologia = Probabilidade de Bom Funcionamento (%)
σ	Desvio Padrão (horas)
t	Variável de Tempo (horas)
TA	Tempo de Interrupção de um Sistema de Telecomunicações (horas)
TA_{mp}	Tempo de Interrupção de um Sistema de Telecomunicações Atribuído à Manutenção Preventiva (horas)
TBF	(Time Between Failure): Tempo de Funcionamento entre Falhas (horas)
TTF	(Time To Failure): Tempo de Bom Funcionamento (horas)
TTR	(Time To Repair): Tempo de Reparo = Tempo Técnico de Reparo (horas)
τ_{mom}	Taxa de Mão-de-Obra Requerida (\$: unidades monetárias/hora)
τ_{op}	Taxa Operacional da Manutenção Corretiva ou Preventiva (\$: unidades monetárias)
τ_{rep}	Taxa de Reparo (\$: unidades monetárias)
τ_{sub}	Taxa de Substituição (\$: unidades monetárias)
v	Variância (horas)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	ESTADO DA ARTE	32
2	CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DA REDE ÓPTICA DO SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES	35
2.1	FIBRA ÓPTICA	36
2.1.1	VANTAGENS E DESVANTAGENS DA FIBRA ÓPTICA EM RELAÇÃO AO PAR METÁLICO	37
2.1.2	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA FIBRA ÓPTICA	38
2.1.3	FIBRA ÓPTICA MONOMODO	39
2.2	REDE EXTERNA ÓPTICA	41
2.2.1	CABO SUBTERRÂNEO (CS)	41
2.2.2	CABO AÉREO (CA)	43
2.3	EQUIPAMENTOS DE REDE	44
2.4	SDH	45
2.4.1	TAXAS	45
2.4.2	PROTEÇÃO EM REDES SDH	47
2.4.2.1	ANEL TOLERANTE A FALHA (ATF)	47
2.4.2.2	CLASSIFICAÇÃO DE ATF	48
2.4.2.3	COMPARAÇÕES ENTRE ATF	55
2.5	DWDM	56
2.5.1	EQUIPAMENTO DWDM	59
2.6	TOPOLOGIAS DE REDE	61
2.6.1	TIPOS DE TOPOLOGIAS DE REDE	61
2.6.1.1	TOPOLOGIA DE REDE PONTO A PONTO	62

2.6.1.2	TOPOLOGIA DE REDE EM ANEL	64
2.6.2	PROTEÇÃO DE REDES	66
2.6.2.1	REDE FÍSICA	67
2.6.2.2	EQUIPAMENTOS	67
2.6.2.3	PROTEÇÃO LÓGICA	67
2.6.3	TOPOLOGIAS TÍPICAS	72
3	CONFIABILIDADE, MANUTENABILIDADE E DISPONIBILIDADE OPERACIONAL DOS COMPONENTES DA REDE EXTERNA ÓPTICA E EQUIPAMENTOS DE REDE	76
3.1	DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE OPERACIONAL DOS COMPONENTES DA REDE EXTERNA ÓPTICA E EQUIPAMENTOS DE REDE DAS TOPOLOGIAS ANALISADAS	76
3.1.1	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE WEIBULL PARA A CONFIABILIDADE	77
3.1.2	DETERMINAÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE BOM FUNCIONAMENTO (MTTF) E DESVIO PADRÃO PARA A CONFIABILIDADE	80
3.1.3	DETERMINAÇÃO DA DURAÇÃO DE VIDA NOMINAL PARA A CONFIABILIDADE	83
3.2	DETERMINAÇÃO DA MANUTENABILIDADE OPERACIONAL DOS COMPONENTES DA REDE EXTERNA ÓPTICA E EQUIPAMENTOS DE REDE DAS TOPOLOGIAS ESTUDADAS	85
3.2.1	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE WEIBULL PARA A MANUTENABILIDADE	86
3.2.2	DETERMINAÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE REPARO (MTTR) E DESVIO PADRÃO PARA A MANUTENABILIDADE	88
3.3	DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE OPERACIONAL DOS COMPONENTES DA REDE EXTERNA ÓPTICA E EQUIPAMENTOS DE REDE DAS TOPOLOGIAS ESTUDADAS	89
4	ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DAS TOPOLOGIAS DE REDE ÓPTICA DO SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES	92
4.1	DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE E DO MTTF	93
4.1.1	TOPOLOGIA DE REDE EM ANEL SEM CABO AÉREO	96

4.1.1.1	EQUIPAMENTOS DE REDE TRADICIONAIS	97
4.1.1.2	EQUIPAMENTO DE REDE DWDM	100
4.1.2	TOPOLOGIA DE REDE EM ANEL COM CABO AÉREO	104
4.1.2.1	EQUIPAMENTOS DE REDE TRADICIONAIS	104
4.1.2.2	EQUIPAMENTO DE REDE DWDM	108
4.1.3	TOPOLOGIA DE REDE PONTO A PONTO SEM CABO AÉREO	112
4.1.3.1	EQUIPAMENTOS DE REDE TRADICIONAIS	112
4.1.3.2	EQUIPAMENTO DE REDE DWDM	116
4.1.4	TOPOLOGIA DE REDE PONTO A PONTO COM CABO AÉREO	120
4.1.4.1	EQUIPAMENTOS DE REDE TRADICIONAIS	120
4.1.4.2	EQUIPAMENTO DE REDE DWDM	124
4.2	DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE	128
5	PROPOSTA DE ORGANIZAÇÃO PARA MINIMIZAÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS	131
5.1	LEVANTAMENTO DO CUSTO OPERACIONAL	131
5.2	LEVANTAMENTO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO	133
5.2.1	CUSTOS DA MANUTENÇÃO CORRETIVA	134
5.2.1.1	DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS DA MANUTENÇÃO CORRETIVA DOS COMPONENTES DA REDE EXTERNA ÓPTICA E EQUIPAMENTOS DE REDE	136
5.2.2	CUSTOS DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA	139
5.3	ANÁLISE GLOBAL DOS CUSTOS	143
5.4	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE REDE	144
6	CONCLUSÃO	147
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
	ANEXOS	152

ANEXO A – ACOMPANHAMENTO MENSAL DA QUANTIDADE DE ACESSOS INTERROMPIDOS E DO TOTAL DE ACESSOS DOS COMPONENTES DA REDE EXTERNA ÓPTICA E EQUIPAMENTOS DE REDE DAS TOPOLOGIAS ANALISADAS	152
ANEXO B – ALGORITMO DE WEIBULL	155
ANEXO C – TABELAS DE ACOMPANHAMENTO DOS TEMPOS DE BOM FUNCIONAMENTO	158
ANEXO D – GRÁFICO DE WEIBULL PARA ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DOS COMPONENTES DA REDE EXTERNA ÓPTICA E EQUIPAMENTOS DE REDE DAS TOPOLOGIAS ANALISADAS	167
ANEXO E – GRÁFICO DE WEIBULL PARA ANÁLISE DA MANUTENABILIDADE DOS COMPONENTES DA REDE EXTERNA ÓPTICA E EQUIPAMENTOS DE REDE DAS TOPOLOGIAS ANALISADAS	181

CAPÍTULO 1

1 - INTRODUÇÃO

A conservação de instrumentos e ferramentas é uma prática observada, historicamente, desde os primórdios da civilização, mas foi somente quando da invenção das primeiras máquinas têxteis a vapor, no século XVI, que a função manutenção emerge.

No fim do século XIX, com a mecanização das indústrias, surgiram os primeiros reparos das máquinas. Dessa forma, a manutenção tinha importância secundária e era executada pelo mesmo efetivo de operação.

No último século, antes da segunda guerra mundial, a indústria era pouco mecanizada, a produtividade era baixa e o tempo de indisponibilidade dos equipamentos por falhas não trazia importantes conseqüências. A baixa tecnologia em materiais e métodos de fabricação não permitia ao projeto uma análise da vida útil de um equipamento, sendo construído superdimensionado, com a finalidade de durar o maior tempo possível. Nesse cenário é possível entender que a manutenção reduzia-se a consertar os equipamentos quando falhavam.

Na década de 50 nos Estados Unidos, surge o termo manutenção na indústria. A manutenção é compreendida como a atividade, cuja função é manter ou retornar os equipamentos às suas condições operacionais especificadas (MONCHY, 1989).

Assim, com a necessidade de se manter em bom funcionamento todo e qualquer equipamento, ferramenta ou dispositivo para uso no trabalho, em épocas de paz ou em tempos de guerra, houve a conseqüente evolução das formas de manutenção.

Durante e após a segunda guerra mundial, ocorreu a mecanização das indústrias. À medida que a indústria passou a depender dos equipamentos, os seus tempos de parada

começaram a ganhar um peso maior na cadeia produtiva e as suas perdas começaram a ficar mais evidentes. Assim, seria interessante evitar as quebras e aumentar a vida útil dos mesmos. Surgiu dessa forma, a manutenção preventiva que consistia apenas em uma revisão geral dos equipamentos de maneira periódica com intervalo de tempo fixo. “A manutenção preventiva é uma intervenção de manutenção prevista, preparada e programada antes da data provável do aparecimento de uma falha” (MONCHY, 1989). Temos que “a manutenção preventiva é uma filosofia, uma série de procedimentos, ações, atividades ou diretrizes que podem ou não, serem adotados para se evitar ou minimizar a necessidade da manutenção corretiva”. Adotar a manutenção preventiva significa introduzir o fator qualidade na atividade da manutenção. A manutenção corretiva é a atividade que existe para corrigir falhas decorrentes dos desgastes ou deterioração de máquinas ou equipamentos, ou seja, consertos das partes que sofreram a falha, podendo ser reparos, substituição de peças ou substituição do próprio equipamento (VIANA, 1991).

O custo da manutenção passou a representar uma parcela importante no custo da cadeia produtiva, promovendo o desenvolvimento das áreas de planejamento e controle de manutenção. Dessa forma, a manutenção baseou-se em maior disponibilidade e vida útil dos equipamentos e custos menores. Além disso, com a evolução da tecnologia no pós-guerra, foram sendo instalados novos equipamentos e vigorosas inovações foram realizadas.

Na década de 60, surgiu a engenharia da confiabilidade. Os primeiros estudos aprofundados em confiabilidade surgiram na indústria aeroespacial norte-americana, inicialmente com o objetivo de aperfeiçoar projetos e equipamentos novos (DUANE, 1965).

Na década de 70, surgiu o advento da informatização com a elevada necessidade de disponibilidade em alguns setores, tais como: telecomunicações, processamento de dados e saúde. Tornaram-se estratégicos para o negócio o fortalecimento da disponibilidade e da confiabilidade. Assim, a manutenção caracteriza-se pela busca por maior disponibilidade e

confiabilidade dos equipamentos, maior segurança, melhor qualidade dos produtos, ausência de danos ao meio ambiente, maior vida útil e maior eficiência com relação aos seus custos.

Na década de 90, a política de manutenção baseava-se na realização da manutenção preventiva e monitoramento. No final dessa década, observou-se o desperdício de recursos prevenindo falhas de forma muito mais dispendiosas do que a ocorrência de alguns tipos de falhas. O estudo da confiabilidade permite o equilíbrio correto da manutenção preventiva, preditiva e corretiva ao se buscar níveis de confiabilidade interessante para o negócio.

Na atualidade, diante do fenômeno da globalização, a manutenção passa a ser enfocada sob a visão da Gestão de Qualidade e Produtividade.

A sua importância cresce com o aumento da complexidade das instalações de produção. Uma participação crescente da eletrônica, um aumento do grau de automação com alta flexibilidade e uma crescente interligação das operações com ciclos cada vez mais reduzidos levam a exigências máximas com referência a confiabilidade e disponibilidade das instalações.

O planejamento adequado da manutenção reduz perdas de produção porque visa assegurar a continuidade da prestação do serviço, sem paradas, atrasos, perdas, prestando o serviço no tempo acordado com os seus usuários.

A concorrência internacional, face às exigências cada vez mais acentuadas por diversificações dos produtos, obriga as empresas a tornarem os sistemas de produção flexíveis.

Atualmente, a confiabilidade, a qualidade e a velocidade de atendimento são critérios importantes para a maioria dos consumidores de serviços. Dessa forma, as empresas buscam a excelência da qualidade, através das normas da Organização Internacional de Padronização (ISO) 9000, e uma alta produtividade com custos baixos (CAETANO, 2000).

1.1 - ESTADO DA ARTE

Implementar a engenharia da confiabilidade, um programa de segurança e a determinação da manutenibilidade e confiabilidade ótima na prestação do serviço, são atividades previstas em todas as companhias que tem contato com um produto do seu início ao fim (CAETANO, 2000).

O desenvolvimento do presente trabalho, apresentado sob o título “Análise e Síntese de Sistemas Multiplexados: Uma Abordagem de Confiabilidade e Manutenibilidade Operacional”, estuda a confiabilidade, a manutenibilidade e a disponibilidade de sistemas ópticos multiplexados de telecomunicações para as topologias de rede em anel e ponto a ponto da Empresa de Telecomunicações de São Paulo S/A (Telefônica).

A instalação da rede telefônica óptica possibilita a comunicação entre usuários e/ou equipamentos, possibilitando a transmissão de voz, dados e imagem.

Esse trabalho objetiva comparar a tecnologia do Equipamento de Rede de Multiplexação Densa por Divisão do Comprimento de Onda (DWDM) com a dos Equipamentos de Rede Tradicionais (ERT) em termos de confiabilidade e manutenibilidade operacional.

Esse estudo é baseado no histórico de taxas de falhas e indicadores operacionais de manutenção do ERT e DWDM referentes a 18 meses de acompanhamento.

O embasamento do estudo de confiabilidade foi centrado no programa de pesquisa proposto por Caetano (2000). Utilizando essa metodologia, esse trabalho demonstrará:

- Análise dos modos de falha, os efeitos e a confiabilidade operacional do sistema óptico multiplexado, utilizando o ERT e o DWDM;
- Análise e comparação do desempenho operacional do DWDM e do ERT;

- Comparação dos custos da manutenção preventiva e corretiva nas topologias de rede em anel e ponto a ponto, utilizando o ERT e o DWDM;
- Customização da implantação de um sistema DWDM e ERT nas topologias de rede abordadas;
- Análise das vantagens e desvantagens da utilização do DWDM nas topologias de rede estudadas, comparado ao ERT existente na planta telefônica óptica;

O trabalho visa estabelecer uma metodologia eficaz na análise de falhas e a operacionalização dos planos de manutenção corretiva e preventiva, com custos otimizados.

Sucintamente, descrevem-se os seguintes assuntos:

Capítulo 2: são descritas as características operacionais dos elementos da rede externa óptica e dos Equipamentos de Rede (ER), bem como as topologias de rede em anel e ponto a ponto;

Capítulo 3: são mostrados os dados obtidos através do acompanhamento dos indicadores operacionais mensais dos componentes da rede externa óptica e equipamentos de rede. Esses dados são registrados em tabelas e gráficos analíticos, utilizando-se do algoritmo de Weibull para determinação da confiabilidade, da manutenibilidade e da disponibilidade de cada um dos componentes da rede externa óptica e equipamentos de rede;

Capítulo 4: é apresentada a confiabilidade, o MTTF e a disponibilidade de cada topologia de rede com a utilização do ERT e do DWDM;

Capítulo 5: são mostrados os custos da manutenção corretiva e preventiva dos componentes da rede externa óptica e equipamentos de rede das topologias descritas nesse estudo, assim como os custos para a implantação de equipamentos de rede em uma rede óptica;

Capítulo 6: são apresentadas as conclusões desse trabalho, demonstrando que a tecnologia DWDM é a opção mais vantajosa em termos de confiabilidade e manutenibilidade em relação ao ERT.

CAPÍTULO 2

2 - CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DA REDE ÓPTICA DO SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES

O sistema de telecomunicações no Brasil apresentou nos últimos anos, um crescimento elevado das necessidades dos usuários por serviços de telecomunicações, sendo que as operadoras buscaram a maximização de utilização dos seus sistemas ópticos instalados, bem como aumentaram consideravelmente as taxas de transmissão de dados em enlaces de fibras ópticas. A evolução das comunicações ópticas tem possibilitado o desenvolvimento de sistemas de grande capacidade de transmissão de dados, voz e imagem.

O levantamento dos indicadores operacionais e dados foram realizados na cidade de São Paulo, nos municípios da Grande São Paulo, Vale do Paraíba e Litoral do Estado de São Paulo, pois são regiões do Estado que apresentam uma quantidade elevada de acessos e uma grande variedade de segmentos de usuários.

Acesso é o modo pelo qual um assinante pode conectar-se à rede de telecomunicações da operadora através de pares de fios metálicos, fibras ópticas, ondas de rádio, via satélite e outros meios.

A rede óptica do sistema de telecomunicações é composta pelos seguintes elementos:

- Rede Externa;
- ER.

Inicialmente, são descritos os conceitos da fibra óptica e em seguida, são abordados os elementos da rede óptica elencados acima.

2.1 – FIBRA ÓPTICA

A fibra óptica é um bastão maciço de vidro com diâmetro muito reduzido, cuja finalidade é guiar sinais luminosos, transmitindo informações de voz, dados e imagem.

A fibra utilizada em telecomunicações é formada pelo núcleo, casca e revestimento, conforme mostrado na figura 2.1. O núcleo e a casca são constituídos de sílica pura, sendo o núcleo dopado com elementos químicos (germânio e fósforo).

A dopagem faz com que o núcleo tenha um índice de refração maior que o da casca, o que permite o confinamento da luz. O índice de refração é um indicador de velocidade da luz (MARCUSE, 1991).

O revestimento dessas fibras é formado por duas camadas de acrilato curado.

Nas transmissões por fibras ópticas, as portadoras possuem frequências na faixa do infravermelho com valores da ordem de centenas de Terahertz, fato que permite implementar o emprego de elevadas taxas de transmissão (Gigabits/segundo). Assim, tem-se um significativo aumento na quantidade de canais de voz transmitidos simultaneamente.

Figura 2.1. Fibra óptica

2.1.1 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DA FIBRA ÓPTICA EM RELAÇÃO AO PAR METÁLICO

A) Vantagens

- Perdas de transmissão baixa e banda passante grande: mais dados podem ser enviados a distâncias mais longas e desse modo reduz-se o número de fios e repetidores necessários nessa extensão, reduzindo o custo do sistema e complexidade;
- Cabos de pequeno diâmetro e baixo peso;
- Imunidade a ruídos externos e interferências eletromagnéticas;
- Imunidade a interferências: por serem compostas de materiais dielétricos asseguram imunidade a pulsos eletromagnéticos;
- Isolação elétrica: não há necessidade de aterramento, uma vez que é constituída de vidro ou plástico, que são materiais isolantes;
- Ausência de diafonia, terra, curto-circuito e atravessado;
- Grande confiabilidade no que diz respeito ao sigilo das informações transmitidas, devido à impossibilidade de se desviar sinais ópticos sem causar danos ao sistema;
- Matéria-prima abundante.

B) Desvantagens

- Fragilidade das fibras ópticas sem encapsulamento: quebram com facilidade;
- Dificuldades de conexão: exigem procedimentos e dispositivos de alta precisão na realização das conexões e junções devido a sua dimensão reduzida;

- Acopladores tipo T com perdas muito grandes: dificultam a utilização em sistemas multiponto;
- Impossibilidade de alimentação remota de repetidores: requerem alimentação elétrica independente para cada repetidor;
- Falta de padronização dos sistemas de transmissão ópticos;
- Alto custo de instalação e manutenção.

2.1.2 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA FIBRA ÓPTICA

A luz é uma onda eletromagnética a qual nossos olhos são sensíveis. As diferentes cores de luz correspondem a ondas eletromagnéticas de comprimentos diferentes.

No entanto, as ondas eletromagnéticas não se resumem apenas à luz. A luz visível corresponde a uma pequena faixa de um amplo espectro eletromagnético, compreendido desde a onda de rádio até os raios gama, conforme figura 2.2.

Figura 2.2. Espectro eletromagnético destacando-se a região da faixa de luz e dos valores usuais para os sistemas de comunicações por fibras ópticas (RIBEIRO, 2003)

O sinal óptico é injetado na fibra óptica através do transmissor óptico, sendo utilizada a Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação (LASER). Esse sinal é retirado da fibra óptica através do detector óptico, sendo utilizado o Fotodiodo Avalanche (APD).

Em telecomunicações e neste trabalho, são utilizadas as fibras ópticas do tipo monomodo comum (SM), monomodo de dispersão deslocada (DS) e monomodo de dispersão deslocada não zero (NZD).

Observa-se que nas fibras do tipo monomodo a maior parte da energia luminosa está concentrada em seu núcleo, sendo que uma pequena parte dessa energia transita através da casca (RIBEIRO, 2003).

2.1.3 - FIBRA ÓPTICA MONOMODO

A principal característica dessa fibra óptica é a de permitir a propagação somente de raios axiais (modo único), evitando-se os modos múltiplos (KEISER, 2002).

A) Fibra Óptica Monomodo Comum (SM)

A fibra SM (“standard”) tem diâmetro de campo modal, seção da fibra onde passa a maior parte da energia luminosa, de 8,6 a 9,5 μm em $\lambda=1310\text{ nm}$, casca com diâmetro de $125 \pm 2\text{ }\mu\text{m}$ e diâmetro externo de $245 \pm 10\text{ }\mu\text{m}$, com revestimento em acrilato, conforme mostrado na figura 2.3.

Essa fibra pode operar em $\lambda=1310\text{ nm}$ (2ª janela) ou em $\lambda=1550\text{ nm}$ (3ª janela), com dispersão cromática zero a 1310 nm e 17 ps a 1550 nm, atenuação típica de 0,40 dB/km a $\lambda=1310\text{ nm}$ e 0,25 dB/km a $\lambda=1550\text{ nm}$, tendo baixo impacto a efeitos não lineares e grande quantidade de fibra instalada (AGRAWAL, 1997).

Figura 2.3. Fibra óptica monomodo comum – SM (EXFO, 2000)

B) Fibra Óptica Monomodo de Dispersão Deslocada (DS)

A fibra DS é otimizada para utilização no comprimento de onda de 1550 nm, com diâmetro do campo modal de 7,8 a 8,5 μm , casca com diâmetro de $125 \pm 2 \mu\text{m}$ e diâmetro externo de $240 \pm 10 \mu\text{m}$, com revestimento em acrilato.

Apresenta dispersão cromática zero para $\lambda=1550 \text{ nm}$, atenuação típica de 0,23 dB/km a $\lambda=1550 \text{ nm}$ e alto impacto a efeitos não lineares. Embora implantada na rede das operadoras de telecomunicações, atualmente, não é mais fabricada.

C) Fibra Óptica Monomodo de Dispersão Deslocada Não Zero (NZD)

A fibra NZD é otimizada para utilização no comprimento de onda de 1550 nm, com diâmetro de campo modal na faixa de 8 a 11 μm em $\lambda=1550 \text{ nm}$, casca com diâmetro de $125 \pm 2 \mu\text{m}$ e diâmetro externo de $245 \pm 10 \mu\text{m}$, com revestimento em acrilato.

Apresenta dispersão cromática pequena, porém não nula na região entre $\lambda=1530$ e 1565 nm ($\pm 4 \text{ ps}$), atenuação típica de 0,23 dB/km a $\lambda=1550 \text{ nm}$, tendo baixo impacto a efeitos não lineares quando comparada à fibra DS e trafega altas taxas de transmissão.

Esse tipo de fibra é atualmente, utilizado na construção de novas redes ópticas de longa distância.

A seguir, são descritos os elementos da rede óptica do sistema de telecomunicações.

2.2 - REDE EXTERNA ÓPTICA

A rede externa óptica é composta por fibras ópticas que são acomodadas e protegidas em cabos ópticos. Estes cabos podem ser instalados em redes aéreas ou em redes subterrâneas, através de dutos (com subdutos) ou diretamente enterrados. Também podem ser instalados como cabos do tipo OPGW (OPTical Ground Wire) em torres de transmissão de energia elétrica ou nos leitos oceânicos como cabos submarinos.

Abaixo, são mostrados os cabos ópticos utilizados na rede externa óptica.

2.2.1 - CABO SUBTERRÂNEO (CS)

O Cabo Subterrâneo possui geralmente uma capacidade nominal de 6, 12, 18, 24, 36, 48, 72 e 144 fibras ópticas. Ele é utilizado em canalizações subterrâneas formadas por dutos. Observa-se que a posição da ocupação do cabo subterrâneo no duto deve ser mantida em todas as caixas subterrâneas da rota do cabo, evitando-se que os cabos fiquem trançados (TELESP, s.d).

Caixa subterrânea é uma caixa de alvenaria ou concreto, construída ou instalada sob o solo, destinada à passagem e/ou emenda de cabos e/ou fios telefônicos (SISTEMA DE PRÁTICAS TELEBRÁS, 1990).

Estatisticamente, a cada 2 km de cabo subterrâneo lançado, encontra-se uma emenda direta ou com derivação dentro de caixas subterrâneas. Nota-se que a conexão entre fibras ópticas na emenda é ordenada segundo o código de cor das mesmas e dos seus respectivos tubos “loose”.

Em seguida, são mostrados os cabos subterrâneos utilizados na rede externa óptica:

Figura 2.4. Cabo óptico protegido por capa APL

Figura 2.5. Cabo óptico dielétrico enterrado

Figura 2.6. Cabo óptico dielétrico enterrado anti-roedor

Figura 2.7. Cabo óptico dielétrico duto

Observa-se que o cabo óptico dielétrico duto também é utilizado em redes aéreas.

2.2.2 - CABO AÉREO (CA)

O Cabo Aéreo possui geralmente uma capacidade nominal de 6, 12, 18, 24, 36, 48, 72 e 144 fibras ópticas. A instalação do cabo aéreo dielétrico duto é executada utilizando-se uma cordoalha de 4,8 mm. Observa-se que esse cabo aéreo é espinado sobre a mesma. A função da cordoalha é sustentar os acessórios da rede, sendo fixada nos postes. Assim, recebe a denominação de mensageiro (TELESP, s.d).

Estatisticamente, a cada 2 km de cabo aéreo lançado, encontra-se uma emenda direta ou com derivação dentro de uma caixa aérea. Nota-se que a conexão entre fibras ópticas na emenda é ordenada segundo o código de cor das mesmas e dos seus respectivos tubos “loose”.

Em seguida, é mostrado o cabo aéreo auto sustentado utilizado na rede externa óptica, pois o cabo aéreo dielétrico duto já foi ilustrado na figura 2.7:

Figura 2.8. Cabo óptico dielétrico aéreo auto sustentado

2.3 – EQUIPAMENTOS DE REDE

Os Equipamentos de Redes são equipamentos eletrônicos que têm a função de realizar a conversão elétrica/óptica e vice e versa, extrair e inserir tributários no sistema óptico, bem como dar passagem direta do sinal óptico em uma determinada localidade.

Abaixo, são descritos os Equipamentos de Rede abordados neste estudo:

- Equipamento de Linha Óptica (ELO), usado na Hierarquia Digital Plesiócrona (PDH);
- Equipamento Multiplexador de Inserção ou Retirada (ADM), usado na Hierarquia Digital Síncrona (SDH);
- DWDM, usado na PDH, SDH e Modo de Transferência Assíncrono (ATM).

Neste trabalho, serão considerados como ERT o ELO e o ADM.

Antes de serem tratadas as Topologias de Rede, será descrita a Hierarquia Digital Síncrona (SDH) que é responsável pelo transporte dos serviços de telecomunicações, utilizando-se das fibras ópticas como meio de transmissão, assim como, o Equipamento de Rede DWDM.

2.4 – SDH

A “International Telecommunication Union” (ITU-T) promoveu uma série de padrões cujo objetivo era controlar a operação dos multiplexadores síncronos e a gerência da rede SDH. São essas padronizações que possibilitam a flexibilidade requerida pelos operadores de rede, de modo a possibilitar um gerenciamento de custos efetivos quando da expansão da capacidade da rede, através do aumento da sua largura de banda e oferecimento de novos serviços (ITU-T Recommendation G.803, 1991).

A SDH é um equipamento que permite transportar vários tipos de serviços, dos quais são possíveis citar: Serviços 2 Mbps, 34 Mbps, 140 Mbps, Módulo de Transporte Síncrono (STM)-1, STM-4, STM-16, STM-64, Protocolo “Internet” (IP), “Ethernet” 10/100 Base T, Gigabit “Ethernet”, ATM, ESCON, FICON, Vídeo, “Fiber Channel” e etc.

A maioria desses produtos já é realidade na planta telefônica das operadoras, exceto o sistema SDH STM-256.

2.4.1 - TAXAS

Na SDH, é definida uma estrutura básica de transporte de informação denominada STM-1 com taxa de 155,520 Mbps. Essa estrutura define o primeiro nível da hierarquia. As taxas de “bits” dos níveis superiores são múltiplos inteiros do STM-1.

Atualmente, estão padronizados 5 módulos de transporte: STM-1, STM-4, STM-16, STM-64 e STM-256, conforme mostra a tabela 2.1 (ITU-T Recommendation G.803, 1991).

Tabela 2.1 - Taxas de SDH

NÍVEL SDH	TAXAS (Mbps)	DESIGNAÇÃO
1	155,520	STM-1
4	622,080	STM-4
16	2488,320	STM-16
64	9953,280	STM-64
256	39813,120	STM-256

Para se ter uma idéia do tipo de serviço prestado pelas operadoras no dia a dia, são apresentados a equivalência da capacidade dos equipamentos em relação a uma linha telefônica, que é um parâmetro comum no nosso cotidiano.

- 1 canal 64 kbps equivale a um canal de voz (uma linha telefônica)
- 1 sistema PDH de 2 Mbps equivale a um sistema Modulação por Código de Pulso (PCM) 30 (30 linhas telefônicas)
- 1 sistema PDH de 34 Mbps equivale a 16 sistemas PCM 30 (480 linhas telefônicas)
- 1 sistema PDH de 140 Mbps equivale a 64 sistemas PCM 30 (1920 linhas telefônicas)
- 1 sistema SDH STM-1 (155 Mbps) equivale a 63 sistemas PCM 30 (1890 linhas telefônicas)
- 1 sistema SDH STM-4 (622 Mbps) equivale a 252 sistemas PCM 30 (7560 linhas telefônicas)
- 1 sistema SDH STM-16 (2,5 Gbps) equivale a 1008 sistemas PCM 30 (30240 linhas telefônicas)
- 1 sistema SDH STM-64 (10 Gbps) equivale a 4032 sistemas PCM 30 (120960 linhas telefônicas)

- 1 sistema SDH STM 256 (40 Gbps) equivale a 16128 sistemas PCM 30 (483840 linhas telefônicas)
- 1 sistema DWDM metro com 128 λ pode transportar até 128 portadoras de 10 Gbps com capacidade para 1280 Gbps, ou seja, 15482880 linhas telefônicas em um único par de fibras ópticas (KARTALPOULOS, 2000).

2.4.2 – PROTEÇÃO EM REDES SDH

A proteção em redes SDH tem o objetivo de propiciar o restabelecimento de tráfego e de facilidades de transporte. O restabelecimento puro e simples utiliza qualquer capacidade disponível entre os nós da rede, envolvendo roteamento de tráfego e tendo início pela gerência de rede, já que esse processo é lento.

Essa proteção utiliza a capacidade reservada para proteção, não envolvendo re-roteamento de tráfego, tendo início automático e rápido (ITU-T Recommendation G.841, 1992). Pode ser dividida em proteção de seção de multiplexação e proteção de redes em anel.

2.4.2.1 - ANEL TOLERANTE A FALHA (ATF)

Os sistemas de transmissão por fibra óptica desempenham um papel fundamental nas redes de telecomunicações, devido a seu baixo custo, alta capacidade e qualidade de serviço. A utilização econômica da alta capacidade da fibra freqüentemente leva à utilização de redes em estrelas. O nó central da estrela é encarregado de rotear o tráfego entre os outros nós. No entanto, esse tipo de arquitetura é vulnerável a quebras do cabo óptico e a falhas nos nós, principalmente do nó central.

A Hierarquia Digital Síncrona padronizada pela ITU-T viabiliza redes em anel, devido à fácil realização de funções de derivação e inserção de um sinal agregado de alta velocidade, como por exemplo, 2,5 Gbps. ATF podem ser implementados de modo a garantir 100% de disponibilidade do serviço, mesmo em casos de quebra de cabos de fibra óptica ou de falha de nós, sem a necessidade de implantação da Gerência de Rede de Telecomunicações (TMN), pois os mecanismos de comutação são automáticos e embutidos nos equipamentos.

2.4.2.2 – CLASSIFICAÇÃO DE ATF

Um ATF é formado por um conjunto de nós dispostos em anel, onde cada nó é conectado a dois nós adjacentes através de uma comunicação duplex. Um ATF tem capacidade de transmissão e/ou equipamentos redundantes de forma a assegurar a continuidade do serviço após a detecção de uma falha no anel.

O ATF pode ser classificado quanto ao sentido do tráfego e ao mecanismo de proteção.

A) Sentido do Tráfego

De acordo com sentido em que o tráfego de serviço é transportado, o ATF pode ser classificado como unidirecional ou bidirecional.

Em um Anel Tolerante a Falha Unidirecional (ATF-U) o tráfego de serviço é transportado em apenas um sentido (horário ou anti-horário). A figura 2.9 mostra que o tráfego do nó A para o nó B é transportado no sentido horário e que o tráfego que retorna do nó B para o nó A é transportado também no sentido horário. O tráfego de serviço no ATF-U é

transportado somente em um sentido. No sentido contrário, é transportado o tráfego de proteção.

Figura 2.9. ATF-U

Em um Anel Tolerante a Falha Bidirecional (ATF-B), o tráfego de serviço é transportado nos dois sentidos do anel (horário e anti-horário). A figura 2.10 mostra que o tráfego do nó A para o nó B é transportado no sentido anti-horário e o tráfego que retorna do nó B para o nó A é transportado do sentido horário. Assim, o tráfego entre os nós A e B segue pela mesma rota bidirecional.

Figura 2.10. ATF-B

B) Mecanismo de Proteção

De acordo com o mecanismo de proteção, o ATF pode ser classificado como Anel Tolerante a Falha com Proteção de Seção “Multiplex” (ATF PS) e Anel Tolerante a Falha com Proteção de Via (ATF PV). Na figura 2.11 são representadas a Seção “Multiplex” e a Via para sistemas SDH.

Figura 2.11. Seção “Multiplex” e a Via para sistemas da Hierarquia Digital Síncrona

Os ATF PS utilizam as indicações de eventos de falha da Seção “Multiplex” para efetuar a comutação. Em caso de falha de uma Seção “Multiplex”, é utilizada a Seção “Multiplex” de proteção. A configuração de proteção pode ser do tipo 1 + 1 ou 1 : N. A coordenação da comutação é feita pelo protocolo Comutação Automática de Proteção (CAP).

Nos anéis que utilizam Proteção de Via, a configuração mais utilizada é aquela em que o canal de serviço é enviado por duas Vias distintas, uma no sentido horário e outra no sentido anti-horário. No nó de recepção, há uma seleção entre duas Vias, baseada na monitoração e detecção de Sinal Indicativo de Alarme (SIA) de Via no Equipamento de Rede ADM.

A proteção de Via independe da Proteção da Seção “Multiplex” estar implementada e independe da utilização do protocolo de CAP.

C) Principais Arquiteturas de ATF

As arquiteturas que se apresentam como maiores candidatas para uso em redes SDH são a ATF-U com Proteção de Via (ATF-U PV) e a ATF-B com Proteção de Seção “Multiplex” (ATF-B PS).

C.1) ATF-U PV

Os ATF-U PV apresentam um mecanismo de controle de proteção baseado na detecção de SIA de Via e não depende de um controlador centralizado (TMN, por exemplo). Oferece proteção contra rompimento da fibra, do cabo e falha de equipamento (nó).

A figura 2.12 mostra um ATF-U PV simplificado, onde em cada nó há um ADM preparado para Proteção de Via. O mesmo sinal do tributário é transmitido em ambas as fibras (serviço e proteção). No nó de recepção seleciona-se uma das duas Vias. No caso de

rompimento de uma ou de ambas as fibras, a comunicação entre os nós é recuperada. Os ATF-U PV têm a característica de não realizar “loop-backs” para efetuar a proteção. É necessário apenas identificar e selecionar qual das duas Vias de recepção é válida.

O mecanismo de proteção no qual é baseado o ATF-U PV é descrito a seguir:

- A detecção de perda de sinal ou SIA de Seção “Multiplex” faz com que seja inserido SIA nos sinais de todas as Vias envolvidas;
- A detecção de SIA de Via no canal de serviço de recepção leva à seleção da outra Via;
- A detecção de SIA de Via em ambos os canais de recepção significa uma situação de falha múltipla e leva à inserção de SIA no canal do tributário derivado do anel.

A seguir, é apresentado um exemplo de como um ATF-U PV recupera a comunicação entre os nós. A figura 2.13 mostra a implementação de um ATF-U PV com ADM onde, por simplicidade, é mostrado apenas o sentido de derivação do anel.

Figura 2.12. ATF-U PV

Figura 2.13. Exemplo de Proteção de Via

O sinal do tributário é inserido em ambos os anéis. Quando o par de fibras os nós 1 e 4 é rompido, o receptor no nó 1 detecta ausência do sinal STM-N. As discussões seguintes referem-se ao anel da Fibra 1, mas são aplicáveis a ambos os anéis. A detecção de perda de sinal no nó 1 faz com que seja inserido SIA em todas as Vias envolvidas. Como no sentido de derivação, a Via é continuamente monitorada para detecção de SIA e como todas as Vias estão com SIA, todos os seletores no nó 1 selecionam as Vias do anel da Fibra 2. Como o nó 1 é adjacente ao rompimento das fibras, todas as Vias de saída do nó 1 contêm SIA de Via, exceto aquelas originadas no próprio nó 1.

No nó 2, os seletores 2a e 2b detectam SIA e efetuam o chaveamento para as Vias do anel da Fibra 2. O seletor 2c permanece selecionado a Via do anel da Fibra 1. Das Vias que passam através do nó 2, apenas aquela entre o nó 4 e o nó 3 foi afetada pelo rompimento e contém SIA. As Vias entre o nó 1 e o nó 3 e entre o nó 1 e o nó 4 foram originadas no nó 1 e não contêm SIA.

O mesmo algoritmo é aplicado nos nós 3 e 4. No nó 3 somente a Via entre o nó 4 e o nó 3 contém SIA e só o seletor correspondente efetua o chaveamento para a Fibra 2. No nó 4 nenhum seletor efetua chaveamento.

C.2) ATF-B PS

Os ATF-B PS podem ser implementados com 4 fibras ópticas (ATF-B/4 PS) ou com 2 fibras ópticas (ATF-B/2 PS).

Os ATF-B/4 PS têm, entre nós, dois pares de fibras e dois pares de transmissores e receptores (serviço e proteção). Em caso de falha no canal de serviço, há a comutação para o canal reserva, apenas no arco afetado. No caso de falha do nó ou rompimento do cabo que envolva as fibras de serviço e de proteção no mesmo arco, a comunicação entre os nós do arco é restabelecida através do par de fibras de proteção no outro sentido do anel.

A figura 2.10 (a) mostra que, em caso de rompimento do cabo entre os nós A e B, as fibras de proteção que passam através dos C e D, podem ser utilizadas para restabelecer a comunicação entre os nós A e B em um mecanismo de “loop-back”.

A Proteção de Seção “Multiplex” utiliza procedimentos semelhantes aos do protocolo CAP para sinalização entre os nós afetados pela falha. No caso da figura 2.10 (a), é necessário que os nós intermediários C e D permitam a passagem do protocolo CAP relativo à comunicação entre os nós A e B. Essa capacidade de endereçamento não está contida na padronização da ITU-T.

No caso do ATF-B/2 PS, a proteção é feita reservando-se metade da capacidade de transmissão de cada fibra para proteção.

A figura 2.10 (b) mostra o caso de um rompimento das fibras entre os nós A e B. Através de um mecanismo de “loop-back”, a capacidade de transmissão disponível entre as

fibras que passam pelos nós C e D é utilizada para transportar o tráfego de serviço interrompido.

Para a combinação de sinais de serviço e sinais de proteção em uma mesma Seção “Multiplex”, os ADM devem ser dotados de capacidade de “Time Slot Interchange” (TSI), onde cada “Time Slot” corresponde a um “byte” do feixe STM-N. Essa capacidade permite, por exemplo, que em operação normal, os “bytes” do canal de serviço de A para B sejam intercalados com “bytes” de proteção no feixe STM-N, que interliga o nó A com o nó B no sentido anti-horário. Permite também que, no caso da falha representada na figura 2.10 (b), os “bytes” do sinal de serviço de A para B sejam intercalados com os “bytes” de serviço de A para D no feixe STM-N que interliga o nó A e o nó D no sentido horário. Nesse caso, os “bytes” de serviço de A para B ocuparão a posição dos “bytes” de proteção do feixe STM-N de A para D. Um procedimento semelhante ocorrerá nos nós D e C até que os “bytes” de serviço de A para B cheguem ao nó B.

Da mesma forma que para os ATF-B/4 PS, pode ser utilizado o protocolo de CAP para comunicação entre os nós, porém, com modificações que permitem o endereçamento dos nós.

2.4.2.3 – COMPARAÇÕES ENTRE ATF

Arquiteturas de redes em anel foram viabilizadas devido ao desenvolvimento da tecnologia de equipamentos SDH. Essas arquiteturas foram classificadas quando ao sentido de tráfego e ao mecanismo de proteção.

Comparações entre esses ATF, em termos de custos e capacidade, demonstram que a viabilidade de uma determinada arquitetura vai depender fortemente do padrão de demanda de tráfego da região a ser servida pelo ATF. Os ATF-B PS, na maioria dos casos, apresentam

vantagens em relação aos ATF-U PV neste aspecto, sendo utilizados pelas operadoras em redes que transportam uma quantidade elevada de tráfego de voz, dados e imagem.

2.5 - DWDM

O DWDM foi desenvolvido no início da década de 90 pela empresa IBM, aproveitando-se de algumas tecnologias que estavam sendo desenvolvidas, principalmente no setor de “transponders”. Os “transponders” atuam na dispersão de banda, que é o grande obstáculo nas comunicações ópticas, com capacidade de selecionar corretamente o comprimento de onda do LASER (EXFO, 2000).

Os “transponders” são conversores de comprimento de onda que transladam a informação contida em um comprimento de onda arbitrário para um comprimento de onda padronizado da grade proposta pela ITU-T.

É a tecnologia que usa múltiplos LASER para transmitir vários comprimentos de onda de luz (λ) simultaneamente, multiplexando-os e demultiplexando-os em uma única fibra óptica. Isto significa que cada canal (λ) tem sua própria banda dedicada (SDH, ATM, “Ethernet”, IP e etc.) e todos os λ chegam ao mesmo tempo. No início da década de 90, falava-se em sistemas de dois canais. Atualmente, existe o limite teórico de 256 canais (DWDM) de 10 Gbps na mesma fibra, o que equivale a 2,56 Tbps de largura de banda.

Figura 2.14. Sistema DWDM de n Comprimentos de Onda

O desenvolvimento de amplificadores ópticos que operam com $\lambda = 1550$ nm, cuja janela apresenta a mais baixa perda, proporcionou o desenvolvimento do sistema DWDM.

É baseado no uso de componentes chamados Multiplexador Óptico (OM) e Demultiplexador Óptico (OD). A função do OM é combinar os diferentes comprimentos de onda em um único caminho e o OD separá-los.

Além de aumentar a capacidade disponível exponencialmente da fibra óptica, o DWDM tem a vantagem de não precisar equipamentos finais para ser implementado. São colocados LASER de DWDM, “transponders”, amplificadores e multiplexadores de “add/drop” nas arquiteturas de rede existentes (KARTALPOULOS, 2000). O que torna o DWDM um sucesso é que essa tecnologia obedece ao padrão de fibra ITU-T “Recommendation” G.652 (monomodo) que é utilizado na maioria dos “backbones” de fibra óptica. “Backbone” é a rede constituída por anéis cujos nós são centrais telefônicas, tendo como característica o alto tráfego circulante.

Embora o DWDM seja principalmente usado em ligações ponto a ponto, o equipamento também é utilizado em arquiteturas em anel. Além disso, os sistemas DWDM podem receber tráfego de muitos tipos diferentes de equipamentos de transmissão, inclusive da rede assíncrona.

O DWDM combina múltiplos sinais ópticos de forma que eles possam ser ampliados como um grupo e possam ser transportados sobre uma única fibra, aumentando sua capacidade (GILES; SPECTOR, 1999). Cada sinal transmitido pode estar em uma taxa diferente (STM-1/4/16 e etc.) e em um formato diferente (SDH, ATM, IP, ETHERNET, dados e etc.). Por exemplo, uma rede DWDM com uma mistura de sinais SDH que opera a 2,5 Gbps (STM-16) e 10 Gbps (STM-64), em cima de uma infra-estrutura de DWDM, pode alcançar capacidades de mais de 40 Gbps, mantendo o mesmo grau de desempenho, confiabilidade e robustez do sistema. Futuros terminais de DWDM levarão até 80

comprimentos de onda de STM-16, um total de 200 Gbps ou até 40 comprimentos de onda de STM-64, um total de 400 Gbps, cuja capacidade é suficiente para transmitir 90000 volumes de uma enciclopédia em um segundo (AGRAWAL, 1995).

O amplificador óptico é a tecnologia que permite essa alta velocidade de transmissão. Opera em uma faixa específica do espectro de frequência e é aperfeiçoado para operação com a fibra existente, tornando possível impulsionar sinais de ondas de luz, possibilitando um maior alcance dos mesmos sem antes convertê-los em sinais elétricos.

Os comprimentos de onda usados para DWDM estão dentro da terceira janela ($\lambda=1550$ nm) e utilizam a banda C que abrange a faixa de $\lambda=1530$ a 1565 nm para multiplexações de 4, 16 e 32 λ , conforme tabela 2.2, e banda L de $\lambda=1565$ a 1625 nm para multiplexações de 64 e 128 λ (ITU-T Recommendation G.694.1, 2002; SUN et al.,1999).

Tabela 2.2 - Distribuição de Comprimentos de Onda – Banda C (EXFO, 2000)

Frequência (THz)	Comprimento de Onda (nm)	Frequência (THz)	Comprimento de Onda (nm)	Frequência (THz)	Comprimento de Onda (nm)
196,1	1528,77	194,6	1540,56	193,1	1552,52
196,0	1529,55	194,5	1541,35	193,0	1553,33
195,9	1530,33	194,4	1542,14	192,9	1554,13
195,8	1531,12	194,3	1542,94	192,8	1554,94
195,7	1531,90	194,2	1543,73	192,7	1555,75
195,6	1532,68	194,1	1544,53	192,6	1556,56
195,5	1533,47	194,0	1545,32	192,5	1557,36
195,4	1534,25	193,9	1546,12	192,4	1558,17
195,3	1535,04	193,8	1546,92	192,3	1558,98
195,2	1535,82	193,7	1547,72	192,2	1559,79
195,1	1536,61	193,6	1548,51	192,1	1560,61
195,0	1537,40	193,5	1549,32	192,0	1561,42
194,9	1538,19	193,4	1550,12	191,9	1562,23
194,8	1538,98	193,3	1550,92	191,8	1563,05
194,7	1539,77	193,2	1551,72	191,7	1563,86

Multiplexadores e demultiplexadores podem ser passivos ou ativos. Passivos são baseados em prismas, difração ou filtros, enquanto que ativos combinam dispositivos passivos

com filtros sintonizados. O desafio desses dispositivos é minimizar a interferência entre canais (“cross talk”), aumentando a quantidade dos mesmos.

2.5.1 – EQUIPAMENTO DWDM

Este equipamento é composto por um sub-bastidor com capacidade para suportar canais ópticos totalmente protegidos e/ou canais ópticos não protegidos. O mesmo divide-se em cinco áreas funcionais, conforme mostrado na figura 2.15, com as seguintes características operacionais:

- A) Painel de Manutenção: oferece indicadores de falhas, disjuntores elétricos para taxas variáveis de alimentação, controle de alarmes e campos de conectorização para diversas interfaces.
- B) Área de Transporte: acomoda placas tributárias, sendo constituídas por placas “core”: Processador de Prateleira (SP), Gerência do Canal Óptico (OCM) e Canal de Supervisão Óptico (OSC) e placas de interfaces: Detector LASER de Canal Óptico (OCLD), Interface do Canal Óptico (OCI) e “Transponder” Óptico (OTR).

A seguir, são descritas as citadas placas tributárias:

- B.1) Placas “Core”: estas placas são consideradas como o centro do equipamento, sendo descritas a seguir:
 - SP gerencia a função de comunicação da gaveta do processador;
 - OCM é uma matriz elétrica que conecta os dados entre as placas OCI e OCLD, além de poder trabalhar com proteção em redundância;
 - OSC é opcional e pode proporcionar um canal de comunicação entre os sistemas a serem gerenciados.

B.2) Placas de Interface: estas placas são alojadas nas demais divisões (“slots”)

do chassi e consistem basicamente em:

- OCI proporciona a interface entre os equipamentos do usuário e a matriz elétrica (OCM). Estão disponíveis diferentes tipos de OCI, que suportarão diferentes faixas e taxas de transmissão e protocolos. A função da OCI é a de transformar os sinais ópticos do tributário em sinais elétricos a serem tratados pela OCM, bem como de receber os sinais elétricos da OCM e convertê-los em sinais ópticos no sentido oposto;
- OCLD recebe o sinal elétrico proveniente da OCM e o converte para um determinado comprimento de onda especificado no equipamento;
- OTR é a placa que possibilita que os sinais do tributário sejam mapeados diretamente em comprimentos de onda especificados no equipamento, sem que haja necessidade de acessar a placa OCM.

C) Área de Gerência das Fibras Ópticas: inclui um pente de metal para separar e rotear as fibras ópticas em placas individuais e uma passagem que encaminha a fibra óptica para as guias de roteamento verticais nas laterais do sub-bastidor.

D) Unidade de Ventilação: contém ventoinhas que circulam o ar da parte frontal do sub-bastidor para resfriar as placas do mesmo. O ar sai do sub-bastidor pela parte superior e traseira, proporcionando segurança para as equipes de manutenção.

E) Área de Multiplexação Óptica: acomoda dois módulos de Multiplexadores Ópticos (OM). O OM contém filtros ópticos passivos utilizados para inserção e derivação de comprimentos de onda protegidos ou não protegidos para uma determinada banda.

Figura 2.15. Foto de um Equipamento DWDM - fabricante SIEMENS

2.6 – TOPOLOGIAS DE REDE

A topologia de rede é a forma com que os Equipamentos de Rede (ER) ou nós estão dispostos e interligados fisicamente. Essa topologia é caracterizada pelo tráfego de informações entre os seus ER através de um meio de transmissão, podendo este ser pares de fios metálicos, fibras ópticas, ondas de rádio, via satélite e outros (CAETANO, 2000).

Serão abordadas as topologias de rede com os componentes da rede externa óptica e equipamentos de rede, apresentando suas características de atendimento e classificação quanto ao seu tipo de proteção.

2.6.1 – TIPOS DE TOPOLOGIAS DE REDE

As topologias de rede existentes são as seguintes: Anel, Barramento, Estrela, Malha, Árvore e Ponto a Ponto.

A figura 2.16 apresenta as topologias citadas.

Figura 2.16. Tipos de Topologias de Rede

No presente trabalho, analisam-se somente as topologias de rede em Anel e Ponto a Ponto, pois são as topologias mais utilizadas para o atendimento dos usuários das operadoras.

2.6.1.1 – TOPOLOGIA DE REDE PONTO A PONTO

O atendimento do usuário é realizado através de um único caminho físico, interligando os equipamentos de rede da central telefônica e do usuário, conforme figura 2.17. A vantagem dessa topologia é de que há a utilização de um único cabo óptico para o atendimento do usuário, reduzindo o custo de implantação da obra. A desvantagem dessa topologia é que quando há o rompimento total do cabo óptico que interliga os equipamentos de rede da operadora e do usuário, o atendimento é interrompido.

TOPOLOGIA PONTO A PONTO

Figura 2.17. Topologia de Rede Ponto a Ponto

Nas figuras 2.18 e 2.19, são mostradas as topologias de rede ponto a ponto com os componentes da rede externa óptica e equipamentos de rede:

Figura 2.18. Topologia de Rede Ponto a Ponto sem Cabo Aéreo

Figura 2.19. Topologia de Rede Ponto a Ponto com Cabo Aéreo

2.6.1.2 – TOPOLOGIA DE REDE EM ANEL

Como o nome indica, uma rede anel é constituída de um circuito fechado em que o atendimento do usuário é realizado através de dois cabos ópticos distintos, conforme apresentado na figura 2.20. A vantagem dessa topologia é que o atendimento dos usuários é garantido mesmo que haja o rompimento total do cabo óptico em um determinado ponto do anel que interliga os equipamentos de rede da operadora e do usuário. A desvantagem dessa topologia é de que todos os elementos devem estar ativos e funcionando corretamente.

Figura 2.20. Topologia de Rede em Anel

Nas figuras 2.21 e 2.22, são mostradas as topologias de rede em anel com os componentes da rede externa óptica e equipamentos de rede:

Figura 2.21. Topologia de Rede em Anel sem Cabo Aéreo

Figura 2.22. Topologia de Rede em Anel com Cabo Aéreo

As topologias de rede também podem ser classificadas da seguinte forma:

Topologia de Rede Física é a visão da rede a partir da sua topologia física, considerando o meio físico utilizado e os seus equipamentos.

Topologia de Rede Lógica é a visão da rede a partir da interligação dos equipamentos sem considerar a topologia de rede física.

Na maioria dos casos, as visões de rede física e lógica são as mesmas. Entretanto, em algumas situações, as restrições impostas para a construção da rede física podem levar os

projetistas a elaborar um projeto em que a rede tenha uma configuração ponto a ponto e a rede lógica possa ter a configuração em anel.

A figura 2.23 apresenta exemplos de segmentos de rede, destacando as diferenças entre topologia física e lógica.

Figura 2.23. Topologia de Rede Física e Lógica

As redes que são implantadas com configuração física ponto a ponto e configuração lógica em anel são comumente chamadas de anel "achatado" ou "flat ring".

2.6.2 – PROTEÇÃO DE REDES

Vários mecanismos ou procedimentos de proteção podem ser aplicados à rede SDH para garantir alta disponibilidade e segurança para os serviços a serem fornecidos. Os procedimentos e mecanismos mais importantes são apresentados a seguir.

2.6.2.1 – REDE FÍSICA

Dentre as topologias de rede apresentadas, a configuração em anel é a mais utilizada para fornecer a proteção da rede física. Os projetos dessas redes devem considerar sempre a implantação de redes ópticas que utilizem caminhos físicos distintos para evitar que uma única falha simples possa interromper o serviço oferecido pela rede SDH.

2.6.2.2 - EQUIPAMENTOS

O padrão SDH possui mecanismos de proteção já definidos para as interfaces de tributários, principalmente aquelas com taxas de “bits” a partir de 155 Mbps (STM-1). Nesses casos são instaladas 2 placas de tributários nos equipamentos, a principal e a reserva, sendo usados “bytes” do próprio “frame” SDH para decidir como redirecionar o sinal do tributário, da principal para a reserva, em caso de falha.

Para o caso das interfaces elétricas com taxas de 2 Mbps até 155 Mbps, os equipamentos possuem mecanismos de proteção onde podem ser adicionadas placas na proporção de 1 reserva para n ativas, onde em caso de falha de uma das n placas ativas, a placa reserva é ativada automaticamente, sem interrupção dos serviços fornecidos.

2.6.2.3 – PROTEÇÃO LÓGICA

A proteção lógica da Rede SDH atende a recomendação ITU-T Recommendation G.841 (1992). Esta recomendação descreve basicamente 2 tipos de arquiteturas de proteção ou contingência.

Proteção de Conexão de Subrede (SNCP): usa segmentos de rede entre os equipamentos com 2 fibras ópticas.

Seção de Multiplexação – Proteção em Anel Distribuída (MS-SPRing): usa segmentos de rede entre os equipamentos, podendo ter 2 ou 4 fibras ópticas.

A) Proteção SNCP

A proteção SNCP utiliza o conceito de subrede para efetuar o chaveamento do tráfego a ser protegido, conforme mostrado na figura 2.24.

Figura 2.24. Proteção SNCP

Configura-se entre 2 Equipamentos de Rede distintos, ER 1 e ER 4, um caminho principal (“main subnetwork connection”) e um caminho de proteção (“protection subnetwork

connection”), sendo que esses caminhos podem ser compostos por múltiplos nós de rede (ER 2 e 3 no caminho principal e ER 5 e 6 no caminho de proteção).

No ER 1 todo o tráfego é enviado tanto pelo caminho principal como pelo caminho reserva. No ER 4 o tráfego do caminho principal é preferencialmente recebido. Em caso de falha ou degradação do tráfego no caminho principal, decorrente da rede óptica ou de algum equipamento, a preferência no recebimento do tráfego passa a ser do caminho reserva. Essa comutação ocorre de forma automática em tempo menor que 50 ms por iniciativa do ER 4, envolvido no recebimento do tráfego, sem qualquer intervenção do sistema de Gerência de Rede.

Esse sistema de proteção tem ainda as seguintes características:

Todo tráfego protegido entre 2 equipamentos distintos utiliza banda nas 2 subredes; caminho principal e reserva.

As subredes caminho principal e reserva podem ser compostas por segmentos de fibra óptica.

Esse tipo de proteção pode ser configurado em anéis compostos por segmentos formados por equipamentos de fabricantes diversos. Essa situação pode ocorrer quando o anel é configurado com segmentos de rede de operadoras distintas.

Esse tipo de proteção pode ser configurado em anéis compostos por segmentos de diferentes capacidades (STM-1, STM-4 ou STM-16). Essa situação pode ocorrer quando um anel de capacidade menor é formado, contendo um segmento ancorado em outro anel de capacidade maior.

B) Proteção MS-SPRing

A proteção MS-SPRing utiliza o conceito de proteção de linha ou segmento entre 2 ER consecutivos, para efetuar o chaveamento do tráfego a ser protegido, conforme mostrado na figura 2.25.

Figura 2.25. Proteção MS-SPRing

A capacidade de tráfego no anel é configurada de forma que 50% da banda disponível seja reservada para operação normal da linha principal e 50% seja reservada para a linha de proteção.

Configura-se entre 2 equipamentos distintos, ER 1 e ER 4, o caminho através da linha principal (passando pelos ER 2 e 3), usando a banda para operação normal. Todo o chaveamento do tráfego é feito através de informações existentes no “overhead do frame”

SDH. Quando um equipamento (ER 2, por exemplo) detecta uma falha em qualquer uma de suas interfaces de linha voltada para outro ER (agregado voltado para o ER 3, por exemplo) decorrente de falha de rede óptica ou de equipamento, essa informação é enviada aos outros equipamentos. O tráfego entre os ER 2 e 3, que foi interrompido, é então chaveado para a linha de proteção no ER 2, que detectou a falha, e conduzido para o ER 3, usando a banda de proteção. No ER 3 o tráfego que chega pela linha de proteção é então chaveado para a linha principal novamente, restabelecendo o tráfego para o ER de destino (ER 4).

Esse sistema de proteção tem ainda as seguintes características:

Todo tráfego entre 2 ER distintos a ser protegido utiliza banda da linha principal apenas, em operação normal, e banda da linha de proteção apenas em caso de falha.

O anel, como um todo, só pode ser composto por segmentos de fibra óptica.

Esse tipo de proteção não pode ser configurado em anéis compostos por segmentos formados por equipamentos de fabricantes diversos. Essa situação pode ocorrer quando o anel é configurado com segmentos de rede de operadoras distintas.

Esse tipo de proteção não pode ser configurado em anéis compostos por segmentos de diferentes capacidades (STM-1, STM-4, STM-16 ou STM-64). Essa situação pode ocorrer quando um anel de capacidade menor é formado, contendo um segmento ancorado em outro anel de capacidade maior.

Os dois tipos de proteção aplicam-se principalmente a topologia de rede em anel. Como já foi mencionado anteriormente, eventualmente podem ser aplicados a segmentos de rede em que a topologia da rede física apresente restrições para ser implantada em anel, de forma temporária ou permanente, de modo que tenha sido usada a estratégia de implementar esses tipos de proteções para prevenir eventuais falhas de equipamentos.

2.6.3 – TOPOLOGIAS TÍPICAS

De forma geral, as redes das operadoras são implantadas, usando todos os tipos de mecanismos de proteção apresentados no item 2.6.2. A implantação dessas redes sempre parte da escolha de uma filosofia geral de proteção, sendo aplicada à rede física, à rede lógica e aos serviços fornecidos.

A figura 2.26 apresenta uma rede típica de uma operadora de telecomunicações.

Figura 2.26. Topologias de Rede Típicas

A tecnologia SDH tem sido beneficiada pelos grandes avanços dos processadores, das interfaces ópticas e das metodologias de desenvolvimento de software empregados nos equipamentos de rede e nos sistemas de gerência.

Os diversos fornecedores desses equipamentos têm oferecido novas facilidades que permitem otimizar as redes SDH. Dentre essas facilidades, as mais relevantes são:

a) Maior integração nas interfaces de tributários, permitindo um maior número de interfaces ópticas e elétricas por placa, diminuindo o espaço físico ocupado pelos equipamentos.

b) Integração de interfaces típicas de redes de dados, tais como: Rede de Área Local (LAN), “Ethernet”, ATM, “Frame Relay” e IP, diretamente nos equipamentos SDH, com facilidades de configuração implementadas em um mesmo sistema de gerência.

c) Equipamentos de usuário de tamanho reduzido (“de mesa”), com multiplicidade de interfaces e capacidade para fazer parte de segmentos de rede STM-1 ou STM-4, sem troca do equipamento.

d) Equipamentos de grande porte (STM-16 ou STM-64) com matriz que permite conexões de canais de baixa e alta ordem configuráveis pelo sistema de gerência.

e) Equipamentos que podem fazer parte de mais de um segmento de rede, permitindo realizar conexões entre esses segmentos diretamente na matriz através de configuração pelo sistema de gerência.

Entretanto, o projeto de rede de transporte deve levar em consideração requisitos que garantam o fornecimento de serviços confiáveis, atendendo o Acordo de Nível de Serviço (SLA) da rede e, principalmente, dos usuários. Entre os requisitos necessários para implementação e operação de uma rede SDH, os mais relevantes são:

a) Implantação de rede física com plena diversidade de rotas para permitir o uso de topologia de rede em anel.

b) Uso dos mecanismos automáticos de proteção de rota, de interfaces e da matriz de conexão cruzada em toda a rede.

c) Implementação de um projeto de rede de sincronismo que permita evitar a perda, a degradação ou eventuais “loops” do sinal de relógio, mesmo em caso de falha dessa rede.

d) Implementação de uma rede de dados confiável para o sistema de gerência, que seja inclusive a prova de falhas simples.

e) Implementação de um sistema de gerência compatível com o porte da rede, seja pela capacidade de processamento e segurança de seus servidores e estações de trabalho, como também pela capacidade de armazenamento de informações de configuração dos equipamentos e serviços ativos.

f) Disponibilidade de pessoal treinado e capacitado para implantação, operação e manutenção da rede SDH.

Quando se compara o desempenho operacional do DWDM com do ERT, verifica-se que a grande vantagem associada ao DWDM é a possibilidade de modular o aumento da capacidade de transmissão de acordo com o mercado e com a necessidade de tráfego.

Os sistemas DWDM possuem algumas características básicas que devem ser exploradas de acordo com a necessidade e situação:

- Flexibilidade da capacidade de transmissão: migrações de 622 Mbps para 2,5 Gbps e de 2,5 Gbps para 10 Gbps, poderão ser feitas sem a necessidade de se trocar os amplificadores e multiplexadores DWDM. Assim, os investimentos realizados podem ser preservados;
- Transparência aos sinais transmitidos: podem transmitir uma grande variedade de sinais de uma maneira transparente. Por não haver envolvimento de processos elétricos, diferentes taxas de transmissão e sinais poderão ser multiplexados e transmitidos para o outro lado do sistema sem que seja necessária uma conversão óptico-elétrico. A mesma fibra pode transportar sinais PDH, SDH e ATM de uma maneira transparente;

- Permite crescimento gradual da capacidade de transmissão: um sistema DWDM pode ser planejado para 128 canais, mas pode iniciar sua operação com um número menor de canais. A introdução de mais canais pode ser feita simplesmente, adicionando novos equipamentos terminais;
- Reuso dos equipamentos terminais e da fibra óptica: permite o crescimento da capacidade de transmissão, mantendo os mesmos equipamentos terminais e a mesma fibra óptica;
- Atendimento de demanda inesperada: freqüentemente o tráfego aumenta de uma maneira mais rápida do que o esperado e nesse caso, não há uma infra-estrutura disponível para suportá-lo. Os sistemas DWDM podem solucionar esse problema, economizando tempo na expansão da rede óptica.

A utilização do DWDM é indicada para determinadas situações, as quais seguem descritas abaixo:

- A rede óptica apresenta longas distâncias e especialmente para topologias de rede ponto a ponto;
- Aumento da capacidade de transmissão requer a instalação de novos cabos ópticos e não há subdutos vagos para a instalação dos mesmos na infra-estrutura existente;
- Aumento da capacidade de transmissão deve ser alcançado em curto período de tempo.

O DWDM possibilita às operadoras a flexibilidade de ampliar a capacidade de transmissão em suas redes, sendo uma vantagem que nenhuma outra tecnologia pode oferecer. Essa tecnologia permite dividir e manter diferentes comprimentos de onda dedicados a usuários diferentes em uma única fibra óptica.

CAPÍTULO 3

3 – CONFIABILIDADE, MANUTENABILIDADE E DISPONIBILIDADE OPERACIONAL DOS COMPONENTES DA REDE EXTERNA ÓPTICA E EQUIPAMENTOS DE REDE

Neste capítulo, será apresentado um levantamento mensal dos Tempos de Bom Funcionamento (TTF) e dos Tempos Técnicos de Reparo (TTR) dos componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede. Com esse levantamento, são calculadas através da Distribuição de Weibull, a confiabilidade, a manutenabilidade e a disponibilidade operacional dos respectivos componentes e ER.

3.1 – DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE OPERACIONAL DOS COMPONENTES DA REDE EXTERNA ÓPTICA E EQUIPAMENTOS DE REDE DAS TOPOLOGIAS ANALISADAS

“A **confiabilidade** é a característica de um dispositivo expressa pela probabilidade que esse dispositivo tem de cumprir uma função requerida em condições de utilização e por um período de tempo determinado” (MONCHY, 1989).

Para a determinação dessa confiabilidade, foi realizado um levantamento histórico dos Tempos de Bom Funcionamento através do acompanhamento mensal dos indicadores da Rede Externa Óptica e Equipamentos de Rede, no período de Janeiro/05 até Junho/06; utilizando-se a seguinte fonte:

Relatório Operacional Mensal de 2005 e 2006 da Superintendência de Rede de Acesso – São Paulo – Leste, Oeste e Sudeste.

Foram obtidas para os componentes da rede externa óptica e equipamentos de rede, a quantidade total de acessos e a quantidade de acessos interrompidos.

Um Acesso é considerado Interrompido quando o seu sistema de telecomunicações para a transmissão de voz, dados e imagem torna-se inoperante.

Observa-se que o **indicador operacional** é a divisão da quantidade de acessos interrompidos pela quantidade total de acessos.

Para a obtenção da quantidade total de acessos interrompidos dos componentes da rede externa no intervalo de tempo estudado, foram considerados somente os eventos ocorridos nos cabos ópticos da rede externa, tais como: cabo cortado por vandalismo, furto de cabo, abalroamento, acidente provocado por estaca e retroescavadeira em perfurações do subsolo e outros.

A quantidade total de acessos interrompidos dos ER foi obtida quando da ocorrência de eventos nas placas dos respectivos equipamentos, tais como: perda ou degradação do sinal óptico, perda de quadro no SDH, perda de sincronismo e outros.

No Anexo A, são verificadas as informações citadas acima para as topologias que estão sendo analisadas.

3.1.1 – DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE WEIBULL PARA A CONFIABILIDADE

Para a previsão de confiabilidade são utilizadas três leis estatísticas, modelando os fenômenos de aparição de falhas (O'CONNOR, 2002).

Lei "Normal" de Gauss: a distribuição de falhas aparece centrada em torno de um valor médio.

Lei Exponencial: corresponde a uma taxa de falhas λ constante, aparecendo as falhas segundo um processo dito de Poisson, com causas independentes entre si e independente do tempo.

Lei de Weibull: lei de três parâmetros que permite modelar taxas de falhas λ crescentes ou decrescentes (MONCHY, 1989; RAMAKUMAR, 1993).

A Distribuição de Weibull é uma expressão semi-empírica, desenvolvida pelo físico e estatístico Ernest Hjalmar Wallodi Weibull em 1939, cujo modelo de planejamento foi apresentado para o estudo da fadiga de materiais. Com isso, pode-se permitir:

- representar falhas típicas de partida;
- configuração das falhas, obtendo significativos parâmetros;
- representação gráfica simples.

Este modelo probabilístico é bastante flexível, pois a lei dos três parâmetros permite modelar vários tipos de resultados experimentais e operacionais (LYCETTE, 2005).

Contrariamente ao modelo exponencial, a Lei de Weibull abrange os casos onde a taxa de falha λ é variável (MÜLLER; SCHUWARZ, 1986).

Os três parâmetros de Weibull são:

$\gamma \Rightarrow$ parâmetro de posição

$\eta \Rightarrow$ parâmetro de escala ou referência

$\beta \Rightarrow$ parâmetro de forma

A determinação desses parâmetros é feita segundo o algoritmo da Lei de Weibull, cuja metodologia é desenvolvida no Anexo B.

Através desse algoritmo, são determinados os valores de γ , β , η para os componentes da Rede Externa Óptica e ER das topologias estudadas.

No Anexo C, são registrados os acompanhamentos dos Tempos de Bom Funcionamento (TTF) das topologias abordadas neste trabalho.

A tabela 3.1 mostra os valores dos três parâmetros de Weibull, que foram obtidos a partir dos gráficos de Weibull traçados no Anexo D.

Tabela 3.1 - Os três parâmetros de Weibull para as topologias estudadas

Componente	Topologia em Anel			Topologia Ponto a Ponto		
	γ	η	β	γ	η	β
CS	38951	259552	0,469	420852	891716	0,275
CA	2416	22043	0,440	135692	299770	0,261
ERT	17091	8702	0,576	189089	5241131	0,470
DWDM	69215	684316	0,860	860043	993001	0,853

Com os três parâmetros de Weibull determinados, obtêm-se as seguintes funções (MONCHY, 1989; RAMAKUMAR, 1993; TOBIAS; TRINDADE, 1995):

Por definição:

- Função Confiabilidade

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3-1)$$

A soma da Confiabilidade e da Probabilidade de Falha é igual a 1:

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (3-2)$$

Assim, da equação (3-2):

- Função Probabilidade de Falha

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3-3)$$

Por definição, determina-se a Densidade de Probabilidade de Falha $f(t)$:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (3-4)$$

Assim da equação (3-4):

- Função de Densidade de Probabilidade Falha

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad (3-5)$$

Dessa forma, determina-se a Taxa Instantânea de Falha:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3-6)$$

Dividindo a equação (3-5) pela equação (3-1), obtém-se:

- Função Taxa Instantânea de Falha

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (3-7)$$

3.1.2 – DETERMINAÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE BOM FUNCIONAMENTO (MTTF) E DESVIO PADRÃO PARA A CONFIABILIDADE

O valor esperado $E(t)$ da distribuição de Weibull é a média da função $f(t)$, sendo esta uma função contínua no tempo. A expressão é indicada na equação (3-8):

$$E(t) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) \cdot dt = \text{MTTF} \quad (3-8)$$

Substituindo a equação (3-5) na equação (3-8), determina-se o MTTF:

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} t \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \cdot dt \quad (3-9)$$

A equação (3-9) é característica de uma função de Euler de segunda espécie, também denominada como função gama, pois a equação (3-9) pode ser representada de acordo com a seguinte equação:

$$MTTF = \eta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) + \gamma \quad (3-10)$$

onde Γ , é o símbolo da função gama:

$$\Gamma(x) = \int_0^{+\infty} t^{x-1} \cdot e^{-t} \cdot dt \quad (3-11)$$

$$\Gamma(x) = (x-1) !$$

$$\Gamma(x + 1) = x \Gamma(x)$$

$$\Gamma(1 + n) = n! \quad (3-12)$$

Simplificando a equação (3-10), obtém-se:

$$MTTF = A \cdot \eta + \gamma \quad (3-13)$$

onde:

$$A = \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (3-14)$$

Da resolução da equação (3-12), com $n = \frac{1}{\beta}$, tem - se :

$$MTTF = \eta \cdot \left(\frac{1}{\beta} \right)! + \gamma, \quad (3-15)$$

Assim :

$$A = \left(\frac{1}{\beta} \right)! \quad (3-16)$$

A variância é obtida pela equação (3-17):

$$v(t) = \sigma^2 = \int_0^{\infty} t^2 \cdot f(t) \cdot dt - \left(\int_0^{\infty} t \cdot f(t) \cdot dt \right)^2 \quad (3-17)$$

Seguindo a analogia para a obtenção do MTTF, obtém-se a seguinte equação:

$$v(t) = \eta^2 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \eta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2 \quad (3-18)$$

Logo, o desvio padrão é obtido pela seguinte equação :

$$\sigma = \eta \cdot \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2} \quad (3-19)$$

$$\text{fazendo } B = \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2}, \text{ tem-se :}$$

$$B = \sqrt{\left(\frac{2}{\beta}\right)! - \left[\left(\frac{1}{\beta}\right)!\right]^2} \quad (3-20)$$

Substituindo a equação (3-20) na equação (3-19), obtém-se:

$$\sigma = \eta \cdot \sqrt{\left(\frac{2}{\beta}\right)! - \left[\left(\frac{1}{\beta}\right)!\right]^2} \quad (3-21)$$

$$\sigma = B \cdot \eta \quad (3-22)$$

Através das equações (3-16) e (3-20), são determinados os parâmetros A e B respectivamente. Na tabela 3.2, são mostrados esses valores.

Tabela 3.2 - Tabela numérica para determinar MTTF e Desvio Padrão

Componente	Topologia em Anel			Topologia Ponto a Ponto		
	A	B	β	A	B	β
CS	2,2672	5,5562	0,469	14,0893	92,6147	0,275
CA	2,6091	7,0373	0,440	18,6778	139,1969	0,261
ERT	1,5902	2,9434	0,576	2,2572	5,5145	0,470
DWDM	1,0801	1,2606	0,860	1,0856	1,2778	0,853

Com os três parâmetros de Weibull determinados e os valores de A e B, são calculados o MTTF e o σ (desvio padrão) para os componentes da Rede Externa Óptica e ER das topologias estudadas, através das equações (3-13) e (3-22) respectivamente. Esses valores são mostrados na tabela 3.3.

Tabela 3.3 - MTTF e Desvio Padrão dos componentes da Rede Externa Óptica e ER das topologias analisadas

Componente	Topologia em Anel		Topologia Ponto a Ponto	
	MTTF (h)	σ (h)	MTTF (h)	σ (h)
CS	627408	1442124	12984505	82586001
CA	59928	155121	5734742	41727095
ERT	30928	25612	12019369	28902216
DWDM	808345	862649	1938045	1268857

3.1.3 - DETERMINAÇÃO DA DURAÇÃO DE VIDA NOMINAL PARA A CONFIABILIDADE

Para a análise da confiabilidade dos componentes da Rede Externa Óptica e ER das topologias abordadas, são utilizados os gráficos de Confiabilidade $R(t)$ e Probabilidade de Falha $F(t)$, descritos no Anexo D, ou analiticamente, através das equações (3-1) e (3-3) respectivamente. A cada instante t , associa-se um patamar de confiabilidade $R(t)$.

O tempo de duração de vida é indicado por L_N , pois é a duração de vida esperada para uma confiabilidade de $(100-N)\%$ das topologias estudadas, associado a um período de vida t .

A duração de vida nominal de uma topologia é associada a uma confiabilidade operacional $R(t)$ de 90%, ficando com uma probabilidade de falha $F(t)$ de 10%. Nesse caso, estabelece-se a notação L_{10} para a duração de vida nominal.

Portanto, o período de vida será:

$$R(t) = 0,90$$

Da equação (3-1), obtém-se:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Adotando-se o logaritmo neperiano nos dois membros, tem-se:

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \quad (3-23)$$

$$\left[\ln \frac{1}{R(t)}\right]^{\frac{1}{\beta}} = \frac{t-\gamma}{\eta} \quad (3-24)$$

$$t = \gamma + \eta \left[\ln \frac{1}{R(t)}\right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (3-25)$$

$$R(t) = 0,90 \Rightarrow L_{10} = \gamma + \eta(0,105)^{\frac{1}{\beta}} \quad (3-26)$$

Nas tabelas 3.4 e 3.5, são mostrados os valores do MTTF, da sua confiabilidade associada, da taxa de falha instantânea e do período de vida nominal para as topologias analisadas.

Tabela 3.4 - MTTF, Confiabilidade associada ao MTTF, Taxa Instantânea de Falha e período de vida nominal dos componentes da Rede Externa Óptica e ER da topologia em anel

Componente	MTTF (h)	Topologia em Anel		
		R(MTTF) (%)	$\lambda(t) \times 10^{-7}$ (falhas/h)	Tempo de Vida L_{10} (h)
CS	627408	23,03	11,71	41096
CA	59928	21,78	116,48	2548
ERT	30928	27,08	543,81	17266
DWDM	808345	34,35	12,43	119215

Tabela 3.5 - MTTF, Confiabilidade associada ao MTTF, Taxa Instantânea de Falha e período de vida nominal dos componentes da Rede Externa Óptica e ER da topologia ponto a ponto

Componente	MTTF (h)	Topologia Ponto a Ponto		
		R(MTTF) (%)	$\lambda(t) \times 10^{-7}$ (falhas/h)	Tempo de Vida L_{10} (h)
CS	12984505	12,59	0,45	421104
CA	5734742	11,66	1,00	135747
ERT	12019369	23,09	0,58	232529
DWDM	1938045	34,21	8,49	931011

3.2 – DETERMINAÇÃO DA MANUTENABILIDADE OPERACIONAL DOS COMPONENTES DA REDE EXTERNA ÓPTICA E EQUIPAMENTOS DE REDE DAS TOPOLOGIAS ESTUDADAS

A **manutenabilidade** refere-se à capacidade de um dispositivo ser recolocado nas condições originais a cada vez que haja uma necessidade de manutenção.

“A **manutenção** é a ação física executada pelos técnicos para que a recolocação nos níveis originais seja conseguida” (MONCHY, 1989).

Através da manutenabilidade, pode-se medir a eficiência da manutenção durante o período de reparo.

Para a determinação dessa manutenabilidade, foi realizado um levantamento histórico dos Tempos Técnicos de Reparo através do acompanhamento mensal da produtividade das equipes técnicas da Rede Óptica no período de Janeiro/05 até Junho/06; utilizando-se a seguinte fonte:

Relatório Diário de Acompanhamento – REDIA – da Superintendência de Rede de Acesso – São Paulo – Leste, Oeste e Sudeste.

Esse relatório é gerado diariamente para o gerenciamento da produtividade de cada equipe técnica em campo, informando o tempo de remoção de defeito. O tempo é contabilizado desde o momento em que a equipe é informada do defeito, até o momento em que a mesma ateste o bom funcionamento da fibra óptica.

Observa-se que no cálculo desse tempo, não são considerados os tempos de "espera" e os tempos "mortos".

Tempo de "espera" é o tempo devido à não disponibilidade do técnico, de ferramentas ou de peças de reposição.

Tempos "mortos" são causados por diversas causas, como paradas de trabalho, burocracia e outros (CAETANO, 2000).

No Anexo C, são registrados os acompanhamentos dos Tempos Técnicos de Reparo (TTR) das topologias estudadas neste trabalho.

3.2.1 – DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE WEIBULL PARA A MANUTENABILIDADE

Os tempos técnicos de reparo apresentam valores muito baixos quando comparados aos tempos de bom funcionamento, mas mesmo assim, são modelados através da distribuição de Weibull para obtenção da Manutenabilidade.

Assim, a determinação dos três parâmetros de Weibull para a Manutenabilidade será obtida de acordo com o algoritmo de Weibull descrito no Anexo B. Na tabela 3.6, são mostrados os valores desses parâmetros, os quais foram obtidos a partir dos gráficos de Weibull traçados no Anexo E para os componentes da Rede Externa Óptica e ER das topologias analisadas.

Tabela 3.6 - Os três parâmetros de Weibull para as topologias estudadas

Componente	Topologia em Anel			Topologia Ponto a Ponto		
	γ	η	β	γ	η	β
CS	3,88	5,76	0,655	9,75	6,67	0,514
CA	3,97	9,91	0,738	13,77	12,81	0,560
ERT	72,56	73,65	0,878	7,98	25,65	0,445
DWDM	1,73	2,03	0,999	0,46	1,23	0,867

Com os três parâmetros de Weibull determinados, têm-se que as equações de Weibull relacionadas com a Manutenabilidade são análogas às equações relacionadas à Confiabilidade:

Por definição:

- Função Manutenabilidade

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3-27)$$

- Função Densidade de Probabilidade de Reparo:

$$g(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3-28)$$

Assim, determina-se a Taxa Instantânea de Reparo:

$$\mu(t) = \frac{g(t)}{1 - M(t)} \quad (3-29)$$

Dessa forma, substituindo a equação (3-27) e (3-28) na equação (3-29), obtém-se:

- Função Taxa Instantânea de Reparo

$$\mu(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (3-30)$$

3.2.2 – DETERMINAÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE REPARO (MTTR) E DESVIO PADRÃO PARA A MANUTENABILIDADE

O valor esperado $E(t)$ da distribuição de Weibull para a obtenção do MTTR é determinado pela seguinte expressão (MONCHY, 1989):

$$E(t) = \int_0^{\infty} t \cdot g(t) \cdot dt = \text{MTTR} \quad (3-31)$$

Seguindo o mesmo procedimento adotado para a determinação do MTTF e Desvio Padrão no item 3.1.2, obtém-se:

$$\text{MTTF} = A \cdot \eta + \gamma \quad (3-32)$$

$$\sigma = B \cdot \eta \quad (3-33)$$

Nas tabelas 3.7 e 3.8, são mostrados os valores do MTTR, da Manutenabilidade associada ao MTTR, da Taxa Instantânea de Reparo e do Desvio Padrão das topologias analisadas.

Tabela 3.7 - MTTR, Manutenabilidade associada ao MTTR, Taxa Instantânea de Reparo e Desvio Padrão dos componentes da Rede Externa Óptica e ER da topologia em anel

Componente	Topologia em Anel			
	MTTR (h)	M(MTTR) (%)	$\mu(t) \times 10^{-2}$ (reparos/h)	σ (h)
CS	11,68	70,48	10,24	12,34
CA	15,94	68,30	7,09	16,48
ERT	151,15	65,30	1,18	89,74
DWDM	3,77	63,23	49,16	2,03

Tabela 3.8 - MTTR, Manutenabilidade associada ao MTTR, Taxa Instantânea de Reparo e Desvio Padrão dos componentes da Rede Externa Óptica e ER da topologia ponto a ponto

Componente	MTTR (h)	Topologia Ponto a Ponto		
		M(MTTR) (%)	$\mu(t) \times 10^{-2}$ (reparos/h)	σ (h)
CS	22,44	75,15	5,65	27,30
CA	34,98	73,47	3,51	40,72
ERT	73,19	78,02	1,03	172,87
DWDM	1,79	65,52	69,69	1,53

3.3 – DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE OPERACIONAL DOS COMPONENTES DA REDE EXTERNA ÓPTICA E EQUIPAMENTOS DE REDE DAS TOPOLOGIAS ESTUDADAS

A **disponibilidade** é o tempo em que os componentes ou equipamentos estão disponíveis para a operação do sistema de telecomunicações. Pode ser definida como a relação entre o tempo em que os componentes ou equipamentos estão disponíveis para operar em relação ao tempo total. A disponibilidade é função da confiabilidade e da manutenabilidade, sendo definida pela seguinte equação (MONCHY, 1989):

$$D = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (3-34)$$

Os acessos atendidos através da topologia em anel apresentaram tempo de interrupção nulo neste trabalho, bem como os acessos atendidos através da topologia ponto a ponto quando da ocorrência de eventos nos ERT e DWDM, já que não houve interrupção dos seus sistemas de telecomunicações.

Dessa forma, a disponibilidade dos componentes da rede externa óptica da topologia em anel e dos equipamentos de rede é de 100% neste estudo. Para a obtenção da

disponibilidade do CS e CA da topologia ponto a ponto, devem-se substituir os valores do MTTF da tabela 3.3 e do MTTR da tabela 3.8 na equação (3-34). Os valores da disponibilidade dos componentes da rede externa óptica e dos equipamentos de rede das topologias estudadas são mostrados na tabela 3.9:

Tabela 3.9 - Disponibilidade dos componentes da Rede Externa Óptica e ER das topologias estudadas

Componente	Disponibilidade (%)	
	Topologia em Anel	Topologia Ponto a Ponto
CS	100,00	99,99
CA	100,00	99,99
ERT	100,00	100,00
DWDM	100,00	100,00

Esse trabalho é baseado no histórico de taxas de falhas e indicadores operacionais de manutenção do ERT e DWDM referentes a 18 meses de acompanhamento.

O embasamento do estudo de confiabilidade foi centrado no programa de pesquisa proposto por Caetano (2000).

A Lei de Weibull utilizada abrange os casos onde a taxa de falha λ é variável, permitindo modelar vários tipos de resultados experimentais e operacionais.

Nas tabelas 3.1, 3.4 e 3.5, observam-se que os valores dos parâmetros de forma β e das confiabilidades associadas ao MTTF dos componentes da rede externa óptica e ER da topologia em anel são maiores que os respectivos valores da topologia ponto a ponto. Independente da topologia analisada, o valor do parâmetro β e da respectiva confiabilidade do CS são maiores que do CA, bem como o valor do parâmetro β e da respectiva confiabilidade do DWDM são maiores que do ERT.

A disponibilidade dos componentes da rede externa óptica da topologia de rede em anel e dos equipamentos de rede é de 100% neste estudo, segundo tabela 3.9, pois quando da

ocorrência de eventos nos mesmos, não houve interrupção de sua operação. Isso ocorreu devido à existência de caminhos físicos distintos para os componentes da rede externa óptica e placas reservas nos ER.

Na tabela 3.9, os valores da disponibilidade do CS e CA da topologia ponto a ponto são próximas de 100%, pois os valores dos seus respectivos MTTR são muito baixos quando comparados com os seus respectivos MTTF.

CAPÍTULO 4

4 – ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DAS TOPOLOGIAS DE REDE ÓPTICA DO SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES

Neste capítulo, obtêm-se a confiabilidade, o MTTF e a disponibilidade para cada topologia citada no capítulo 2, com as suas respectivas redundâncias. Para cada topologia abordada, será discutida a sua confiabilidade em função da quantidade de fibras ópticas que serão colocadas em paralelo, funcionando como uma redundância para os casos mais típicos e usuais do sistema de telecomunicações.

A fibra óptica distribuída na rede óptica pode apresentar-se em três estados: ocupada com um sistema de telecomunicações, com defeito ou vaga. A ocupação da rede óptica de uma topologia refere-se à soma da quantidade de fibras ópticas distribuídas nessa rede que estão ocupadas e com defeito. São mostradas na tabela 4.1, as ocupações da rede óptica da topologia de rede em anel e ponto a ponto.

Tabela 4.1 - Porcentagem de ocupação da rede óptica da topologia em anel e ponto a ponto

Topologia	% Ocupação da Rede	% Pares Vagos
Anel	78,50	21,50
Ponto a Ponto	67,30	32,70

Essas topologias apresentam redundância no cabo subterrâneo e aéreo e nos equipamentos de rede.

As fibras ópticas do cabo subterrâneo e aéreo apresentam-se sempre em paralelo. A quantificação das fibras ópticas vagas, depende da capacidade nominal desse cabo e da ocupação da rede óptica da topologia. Assim:

$$\text{Quantidade de fibras vagas} = (1 - \% \text{ Ocupação da Rede} / 100) \times \text{capacidade nominal} \quad (4-1)$$

cabo subterrâneo

Dessa forma, obtém-se a quantidade de fibras ópticas que estão em redundância nesses cabos.

Nas topologias em questão, utiliza-se usualmente um cabo com capacidade nominal de 6, 12, 18, 24, 36, 48, 72 e 144 fibras ópticas para o atendimento dos usuários. Os cabos aéreos e subterrâneos são responsáveis pela conexão entre os equipamentos de rede.

O equipamento de rede também se apresenta em redundância, pois quando da ocorrência de falha no mesmo, a operação é transferida para a placa reserva existente no próprio equipamento.

Os sistemas que dispõem de redundância apresentam uma confiabilidade maximizada, permitindo que o funcionamento de um sistema de telecomunicações possa ser feito através de um circuito paralelo em caso de defeito.

4.1 – DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE E DO MTTF

A equação da confiabilidade será obtida através da associação em série dos componentes de uma determinada topologia (MONCHY, 1989; RAMAKUMAR, 1993), conforme a seguinte equação:

$$R_T(t) = \prod R_i(t) \quad (4-2)$$

Como exemplo, aplicando essa equação para a Topologia de Rede em Anel com Cabo Aéreo, obtém-se o seguinte:

$$R_T(t) = R_{eER}(t) \cdot R_{eCS}(t) \cdot R_{eCA}(t) \cdot R_{eER}(t) \quad (4-3)$$

R_e é a confiabilidade eqüivalente de um determinado componente. Para determiná-la, será aplicada a soma dos n primeiros termos da distribuição de Poisson (RAMAKUMAR, 1993), através da equação (4-4). Esta fornece a probabilidade de x falhas no período de $t=MTTF$ da topologia, onde n é o número de componentes reservas.

$$R_e(t) = e^{-\lambda't} \left(1 + \lambda't + \frac{(\lambda't)^2}{2!} + \frac{(\lambda't)^3}{3!} + \dots + \frac{(\lambda't)^n}{n!} \right) \quad (4-4)$$

$$R_e(t) = e^{-\left(\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}\right)t} \left(1 + \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}t + \frac{\left(\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}t\right)^2}{2!} + \dots + \frac{\left(\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}t\right)^n}{n!} \right) \quad (4-5)$$

Essa equação é aplicada para os casos de taxa de falha constante. Como a taxa de falha dos componentes da topologia não é constante, tem-se a seguinte equação para o MTTF, por definição:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R_T(t) dt = \int_0^{\infty} \prod R_i(t) dt = \int_0^{\infty} \prod_{i=1}^j e^{-\left(\frac{t-\gamma_i}{\eta_i}\right)^{\beta_i}} dt \quad (4-6)$$

A resolução da equação acima é bastante complexa. Para tanto, utiliza-se outro método de cálculo (CAETANO, 2000). Em seguida, esse método é demonstrado para a topologia citada como exemplo.

Para a determinação da confiabilidade e do MTTF dessa topologia, deve-se primeiramente, determinar os três parâmetros de Weibull da topologia em estudo.

Através da equação (4-3) e (4-5), determina-se a confiabilidade para cada instante t dessa topologia. São utilizados os três parâmetros de Weibull determinados na tabela 3.1, para a obtenção da confiabilidade de cada componente, associado a esse instante t , através da equação (3-1).

Observa-se que n é o número de componentes reservas, ou seja, a quantidade de fibras ópticas vagas que será obtida através da equação (4-1) ou a quantidade de placas reservas dos equipamentos de rede. Para as topologias apresentadas neste trabalho, a confiabilidade do cabo subterrâneo e aéreo e dos equipamentos de rede com redundância são independentes da capacidade nominal do cabo ou da quantidade de placas reservas dos mesmos. Isso ocorre devido ao elevado percentual de fibras ópticas vagas e placas reservas nas topologias analisadas.

A função probabilidade de falha é dada por:

$$F_T(t) = [1 - \prod R_i(t)] \quad (4-7)$$

$$F_T(t) = [1 - R_{eER}(t) \cdot R_{eCS}(t) \cdot R_{eCA}(t) \cdot R_{eER}(t)] \quad (4-8)$$

Para o cálculo da taxa instantânea de falha dos componentes em série (MONCHY, 1989; RAMAKUMAR, 1993), será aplicada a seguinte equação:

$$\lambda_T(t) = \sum_{i=1}^j \lambda_i(t) \quad (4-9)$$

$$\lambda_T(t) = \lambda_{eER}(t) + \lambda_{eCS}(t) + \lambda_{eCA}(t) + \lambda_{eER}(t) \quad (4-10)$$

A taxa instantânea de falha eqüivalente de um componente com redundância é dada pela definição do MTTF, através da distribuição de Poisson (MONCHY, 1989):

$$MTTF = \int_0^{\infty} R_T(t) dt = \int_0^{\infty} \left(\sum_{i=0}^n \frac{(\lambda' t)^i e^{-\lambda' t}}{i!} \right) dt \quad (4-11)$$

Através de processos de intercâmbio de soma e integração, tem-se:

$$MTTF = \sum_{i=0}^n \frac{\lambda'^i}{i!} \int_0^{\infty} t^i e^{-\lambda' t} dt$$

$$MTTF = \sum_{i=0}^n \frac{\lambda^i}{i!} \frac{\Gamma(i+1)}{\lambda^{i+1}} = \sum_{i=0}^n \frac{1}{\lambda^i}$$

$$MTTF = \frac{n+1}{\lambda'} \quad (4-12)$$

Dessa forma, conclui-se que a taxa de falha equiivalente de um componente com redundância, será dada pela seguinte equação:

$$\lambda_e(t) = \frac{\lambda_{comp}(t)}{n+1} \quad (4-13)$$

$\lambda_{comp}(t)$ = taxa instantânea de falha do componente

Assim, substituindo a equação (4-13) na equação (4-10), obtém-se o valor da taxa instantânea de falha de uma determinada topologia.

Como dito anteriormente, devido ao elevado porcentual de fibras ópticas vagas e placas reservas nas topologias analisadas, a taxa instantânea de falha da topologia torna-se independente da capacidade nominal do cabo subterrâneo e aéreo e da quantidade de placas reservas dos equipamentos de rede.

Com a determinação de $\lambda(t)$, obtém-se a função densidade de probabilidade de falha para a topologia em anel e ponto a ponto:

$$f_T(t) = \lambda_T(t) \cdot R_T(t) \quad (4-14)$$

4.1.1 – TOPOLOGIA DE REDE EM ANEL SEM CABO AÉREO

Na topologia de rede supramencionada, são utilizados os Equipamentos de Rede Tradicionais (ERT) e o DWDM respectivamente.

4.1.1.1 – EQUIPAMENTOS DE REDE TRADICIONAIS

Determinam-se para essa topologia, a confiabilidade, a probabilidade de falha, a taxa instantânea de falha e a densidade de probabilidade de falha, variando os valores de t entre 0 e 100000 horas e substituindo-os nas equações (4-3), (4-8), (4-10) e (4-14). Assim, monta-se a tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Valores numéricos das funções da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o ERT

t (x10 ³ h)	$R_T(t)$ (%)	$F_T(t)$ (%)	$\lambda_T(t) \times 10^{-6}$ (falhas/h)	$f_T(t) \times 10^{-6}$ (falhas/h)
0	100,00	0,00	49,85	49,85
5	100,00	0,00	57,72	57,72
10	100,00	0,00	72,35	72,35
15	100,00	0,00	121,34	121,34
20	34,51	65,49	105,53	36,42
25	15,06	84,94	69,16	10,42
30	8,13	91,87	56,29	4,57
35	4,83	95,17	49,19	2,37
40	2,82	97,18	44,82	1,26
45	1,68	98,32	40,74	0,69
50	1,08	98,92	37,92	0,41
55	0,72	99,28	35,68	0,26
60	0,49	99,51	33,84	0,17
65	0,34	99,66	32,28	0,11
70	0,24	99,76	30,94	0,07
75	0,17	99,83	29,77	0,05
80	0,13	99,87	28,74	0,04
85	0,09	99,91	27,82	0,03
90	0,07	99,93	26,99	0,02
95	0,05	99,95	26,24	0,01
100	0,04	99,96	25,56	0,01

São registrados também os gráficos de confiabilidade e probabilidade de falha na figura 4.1 e os gráficos de taxa instantânea de falha e densidade de probabilidade de falha na figura 4.2.

Figura 4.1. Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o ERT

Figura 4.2. Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o ERT

A linha tracejada, linha de tendência, sobre o gráfico de densidade de probabilidade de falha da figura 4.2, mostra a forma característica da curva de $f(t)$, onde obtém-se uma estimativa do valor de β (CAETANO, 2000).

Na figura 4.3, são mostradas as diferentes formas das curvas de densidade de probabilidade de falha obtidas para cada componente da referida topologia.

Figura 4.3. Curvas de densidade de probabilidade de falha dos componentes da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o ERT

Analisando as curvas demarcadas na figura 4.3, verifica-se que o valor de β está entre 0,469 e 0,576; sendo respectivamente os valores de β do CS e ERT. Assim, considera-se um valor médio desses valores:

$$\beta = 0,522$$

Os valores de η e γ serão obtidos através da equação (3-25). Para uma melhor compreensão, a mesma é reescrita:

$$t = \gamma + \eta \cdot \left(\ln \frac{1}{R(t)} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (3-25)$$

Substituindo os valores de t e de $R(t)$ da tabela 4.2, juntamente com o valor de β , na equação (3-25), obtêm-se os seguintes valores:

$$\eta = 1593 \text{ horas}$$

$$\gamma = 21781 \text{ horas}$$

A partir desses valores, obtém-se o MTTF da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o ERT, através da resolução da equação (3-15). Para uma melhor compreensão, a mesma é reescrita:

$$\text{MTTF} = \eta \left(\frac{1}{\beta} \right)! + \gamma \quad (3-15)$$

$$\text{MTTF} = 24727 \text{ horas}$$

Para a obtenção da função confiabilidade, faz-se $t = \text{MTTF}$:

$$R_T = 25,19 \%$$

4.1.1.2 – EQUIPAMENTO DE REDE DWDM

Determinam-se para essa topologia, a confiabilidade, a probabilidade de falha, a taxa instantânea de falha e a densidade de probabilidade de falha, variando os valores de t entre 0 e 480000 horas e substituindo-os nas equações (4-3), (4-8), (4-10) e (4-14). Assim, monta-se a tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Valores numéricos das funções da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o DWDM

t (x10 ³ h)	R _T (t) (%)	F _T (t) (%)	$\lambda_T(t) \times 10^{-6}$ (falhas/h)	$f_T(t) \times 10^{-6}$ (falhas/h)
0	100,00	0,00	1,87	1,87
20	100,00	0,00	2,01	2,01
40	92,74	7,26	2,87	2,66
60	73,50	26,50	2,48	1,82
80	62,04	37,96	2,38	1,47
100	52,41	47,59	2,05	1,07
120	45,25	54,75	1,90	0,86
140	39,59	60,41	1,81	0,72
160	34,95	65,05	1,74	0,61
180	31,07	68,93	1,69	0,52
200	27,77	72,23	1,65	0,46
220	24,93	75,07	1,61	0,40
240	22,46	77,54	1,58	0,36
260	20,31	79,69	1,56	0,32
280	18,41	81,59	1,53	0,28
300	16,73	83,27	1,51	0,25
320	15,24	84,76	1,49	0,23
340	13,90	86,10	1,48	0,21
360	12,71	87,29	1,46	0,19
380	11,64	88,36	1,45	0,17
400	10,67	89,33	1,43	0,15
420	9,80	90,20	1,42	0,14
440	9,01	90,99	1,41	0,13
460	8,29	91,71	1,40	0,12
480	7,64	92,36	1,39	0,11

São registrados também os gráficos de confiabilidade e probabilidade de falha na figura 4.4 e os gráficos de taxa instantânea de falha e densidade de probabilidade de falha na figura 4.5.

Figura 4.4. Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o DWDM

Figura 4.5. Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o DWDM

A linha tracejada, linha de tendência, sobre o gráfico de densidade de probabilidade de falha da figura 4.5, mostra a forma característica da curva de $f(t)$, onde obtém-se uma estimativa do valor de β (CAETANO, 2000).

Na figura 4.6, são mostradas as diferentes formas das curvas de densidade de probabilidade de falha obtidas para cada componente da referida topologia.

Figura 4.6. Curvas de densidade de probabilidade de falha dos componentes da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o DWDM

Analisando as curvas demarcadas na figura 4.6, verifica-se que o valor de β está entre 0,469 e 0,860; sendo respectivamente os valores de β do CS e DWDM. Assim, considera-se um valor médio desses valores:

$$\beta = 0,664$$

Os valores de η e γ serão obtidos através da equação (3-25). Substituindo os valores de t e de $R(t)$ da tabela 4.3, juntamente com o valor de β , na referida equação, obtêm-se os seguintes valores:

$$\eta = 114773 \text{ horas}$$

$$\gamma = 6549 \text{ horas}$$

A partir desses valores, obtém-se o MTTF da topologia de rede em anel sem cabo aéreo, utilizando o DWDM, através da resolução da equação (3-15).

$$\text{MTTF} = 159657 \text{ horas}$$

Para a obtenção da função confiabilidade, faz-se $t = \text{MTTF}$:

$$R_T = 29,79 \%$$

4.1.2 – TOPOLOGIA DE REDE EM ANEL COM CABO AÉREO

Na topologia de rede mencionada, são utilizados os Equipamentos de Rede Tradicionais (ERT) e o DWDM respectivamente.

4.1.2.1 – EQUIPAMENTOS DE REDE TRADICIONAIS

Determinam-se para essa topologia, a confiabilidade, a probabilidade de falha, a taxa instantânea de falha e a densidade de probabilidade de falha, variando os valores de t entre 0 e 100000 horas e substituindo-os nas equações (4-3), (4-8), (4-10) e (4-14). Assim, monta-se a tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Valores numéricos das funções da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o ERT

t (x10 ³ h)	R _T (t) (%)	F _T (t) (%)	$\lambda_T(t) \times 10^{-6}$ (falhas/h)	$f_T(t) \times 10^{-6}$ (falhas/h)
0	100,00	0,00	51,71	51,71
5	67,75	32,25	59,51	40,32
10	53,51	46,49	73,33	39,24
15	45,78	54,22	122,08	55,88
20	13,96	86,04	106,14	14,81
25	5,48	94,52	69,69	3,82
30	2,70	97,30	56,77	1,53
35	1,47	98,53	49,63	0,73
40	0,80	99,20	45,22	0,36
45	0,44	99,56	41,12	0,18
50	0,26	99,74	38,27	0,10
55	0,17	99,83	36,01	0,06
60	0,11	99,89	34,15	0,04
65	0,07	99,93	32,58	0,02
70	0,05	99,95	31,23	0,01
75	0,03	99,97	30,05	0,01
80	0,02	99,98	29,01	0,01
85	0,02	99,98	28,08	0,00
90	0,01	99,99	27,24	0,00
95	0,01	99,99	26,48	0,00
100	0,01	99,99	25,79	0,00

São registrados também os gráficos de confiabilidade e probabilidade de falha na figura 4.7 e os gráficos de taxa instantânea de falha e densidade de probabilidade de falha na figura 4.8.

Figura 4.7. Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o ERT

Figura 4.8. Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o ERT

A linha tracejada, linha de tendência, sobre o gráfico de densidade de probabilidade de falha da figura 4.8, mostra a forma característica da curva de $f(t)$, onde obtém-se uma estimativa do valor de β (CAETANO, 2000).

Na figura 4.9, são mostradas as diferentes formas das curvas de densidade de probabilidade de falha obtidas para cada componente da referida topologia.

Figura 4.9. Curvas de densidade de probabilidade de falha dos componentes da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o ERT

Analisando as curvas demarcadas na figura 4.9, verifica-se que o valor de β está entre 0,440 e 0,576; sendo respectivamente os valores de β do CA e ERT. Assim, considera-se um valor médio desses valores:

$$\beta = 0,508$$

Os valores de η e γ serão obtidos através da equação (3-25). Substituindo os valores de t e de $R(t)$ da tabela 4.4, juntamente com o valor de β , na referida equação, obtêm-se os seguintes valores:

$$\eta = 1015 \text{ horas}$$

$$\gamma = 17743 \text{ horas}$$

A partir desses valores, obtém-se o MTTF da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o ERT, através da resolução da equação (3-15).

$$\text{MTTF} = 19715 \text{ horas}$$

Para a obtenção da função confiabilidade, faz-se $t = \text{MTTF}$:

$$R_T = 24,63 \%$$

4.1.2.2 – EQUIPAMENTO DE REDE DWDM

Determinam-se para essa topologia, a confiabilidade, a probabilidade de falha, a taxa instantânea de falha e a densidade de probabilidade de falha, variando os valores de t entre 0 e 480000 horas e substituindo-os nas equações (4-3), (4-8), (4-10) e (4-14). Assim, monta-se a tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Valores numéricos das funções da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o DWDM

t (x10 ³ h)	R _T (t) (%)	F _T (t) (%)	$\lambda_T(t) \times 10^{-6}$ (falhas/h)	$f_T(t) \times 10^{-6}$ (falhas/h)
0	100,00	0,00	3,73	3,73
20	40,44	59,56	2,62	1,06
40	26,18	73,82	3,27	0,86
60	15,98	84,02	2,80	0,45
80	10,89	89,11	2,64	0,29
100	7,65	92,35	2,28	0,17
120	5,60	94,40	2,11	0,12
140	4,22	95,78	2,00	0,08
160	3,25	96,75	1,92	0,06
180	2,54	97,46	1,86	0,05
200	2,01	97,99	1,81	0,04
220	1,61	98,39	1,76	0,03
240	1,30	98,70	1,72	0,02
260	1,06	98,94	1,69	0,02
280	0,87	99,13	1,66	0,01
300	0,72	99,28	1,64	0,01
320	0,60	99,40	1,61	0,01
340	0,50	99,50	1,59	0,01
360	0,42	99,58	1,57	0,01
380	0,35	99,65	1,56	0,01
400	0,30	99,70	1,54	0,00
420	0,26	99,74	1,52	0,00
440	0,22	99,78	1,51	0,00
460	0,19	99,81	1,50	0,00
480	0,16	99,84	1,48	0,00

São registrados também os gráficos de confiabilidade e probabilidade de falha na figura 4.10 e os gráficos de taxa instantânea de falha e densidade de probabilidade de falha na figura 4.11.

Figura 4.10. Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o DWDM

Figura 4.11. Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o DWDM

A linha tracejada, linha de tendência, sobre o gráfico de densidade de probabilidade de falha da figura 4.11, mostra a forma característica da curva de $f(t)$, onde obtém-se uma estimativa do valor de β (CAETANO, 2000).

Na figura 4.12, são mostradas as diferentes formas das curvas de densidade de probabilidade de falha obtidas para cada componente da referida topologia.

Figura 4.12. Curvas de densidade de probabilidade de falha dos componentes da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o DWDM

Analisando as curvas demarcadas na figura 4.12, verifica-se que o valor de β está entre 0,440 e 0,860; sendo respectivamente os valores de β do CA e DWDM. Assim, considera-se um valor médio desses valores:

$$\beta = 0,650$$

Os valores de η e γ serão obtidos através da equação (3-25). Substituindo os valores de t e de $R(t)$ da tabela 4.5, juntamente com o valor de β , na referida equação, obtêm-se os seguintes valores:

$$\eta = 22183 \text{ horas}$$

$$\gamma = 90355 \text{ horas}$$

A partir desses valores, obtém-se o MTTF da topologia de rede em anel com cabo aéreo, utilizando o DWDM, através da resolução da equação (3-15).

$$\text{MTTF} = 120656 \text{ horas}$$

Para a obtenção da função confiabilidade, faz-se $t = \text{MTTF}$:

$$R_T = 29,38 \%$$

4.1.3 – TOPOLOGIA DE REDE PONTO A PONTO SEM CABO AÉREO

Na topologia de rede supramencionada, são utilizados os Equipamentos de Rede Tradicionais (ERT) e o DWDM respectivamente.

4.1.3.1 – EQUIPAMENTOS DE REDE TRADICIONAIS

Determinam-se para essa topologia, a confiabilidade, a probabilidade de falha, a taxa instantânea de falha e a densidade de probabilidade de falha, variando os valores de t entre 0 e 1400000 horas e substituindo-os nas equações (4-3), (4-8), (4-10) e (4-14). Assim, monta-se a tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Valores numéricos das funções da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o ERT

t (x10 ³ h)	R _T (t) (%)	F _T (t) (%)	$\lambda_T(t) \times 10^{-6}$ (falhas/h)	$f_T(t) \times 10^{-6}$ (falhas/h)
0	100,00	0,00	0,54	0,54
50	100,00	0,00	0,63	0,63
100	100,00	0,00	0,79	0,79
150	100,00	0,00	1,22	1,22
200	89,60	10,40	2,39	2,14
250	78,16	21,84	0,98	0,76
300	72,14	27,86	0,73	0,52
350	67,77	32,23	0,62	0,42
400	64,29	35,71	0,62	0,40
450	41,54	58,46	0,54	0,22
500	35,21	64,79	0,45	0,16
550	31,46	68,54	0,40	0,13
600	28,72	71,28	0,37	0,11
650	26,55	73,45	0,35	0,09
700	24,75	75,25	0,33	0,08
750	23,23	76,77	0,31	0,07
800	21,90	78,10	0,30	0,06
850	20,73	79,27	0,28	0,06
900	19,69	80,31	0,27	0,05
950	18,75	81,25	0,26	0,05
1000	17,91	82,09	0,25	0,05
1050	17,13	82,87	0,24	0,04
1100	16,42	83,58	0,24	0,04
1150	15,77	84,23	0,23	0,04
1200	15,16	84,84	0,22	0,03
1250	14,60	85,40	0,22	0,03
1300	14,08	85,92	0,21	0,03
1350	13,59	86,41	0,21	0,03
1400	13,13	86,87	0,20	0,03

São registrados também os gráficos de confiabilidade e probabilidade de falha na figura 4.13 e os gráficos de taxa instantânea de falha e densidade de probabilidade de falha na figura 4.14.

Figura 4.13. Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o ERT

Figura 4.14. Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o ERT

A linha tracejada, linha de tendência, sobre o gráfico de densidade de probabilidade de falha da figura 4.14, mostra a forma característica da curva de $f(t)$, onde obtém-se uma estimativa do valor de β (CAETANO, 2000).

Na figura 4.15, são mostradas as diferentes formas das curvas de densidade de probabilidade de falha obtidas para cada componente da referida topologia.

Figura 4.15. Curvas de densidade de probabilidade de falha dos componentes da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o ERT

Analisando as curvas demarcadas na figura 4.15, verifica-se que o valor de β está entre 0,275 e 0,470; sendo respectivamente os valores de β do CS e ERT. Assim, considera-se um valor médio desses valores:

$$\beta = 0,372$$

Os valores de η e γ serão obtidos através da equação (3-25). Substituindo os valores de t e de $R(t)$ da tabela 4.6, juntamente com o valor de β , na equação (3-25), obtêm-se os seguintes valores:

$$\eta = 84044 \text{ horas}$$

$$\gamma = 199778 \text{ horas}$$

A partir desses valores, obtém-se o MTTF da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o ERT, através da resolução da equação (3-15).

$$\text{MTTF} = 544021 \text{ horas}$$

Para a obtenção da função confiabilidade, faz-se $t = \text{MTTF}$:

$$R_T = 18,46 \%$$

4.1.3.2 – EQUIPAMENTO DE REDE DWDM

Determinam-se para essa topologia, a confiabilidade, a probabilidade de falha, a taxa instantânea de falha e a densidade de probabilidade de falha, variando os valores de t entre 0 e 1400000 horas e substituindo-os nas equações (4-3), (4-8), (4-10) e (4-14). Assim, monta-se a tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Valores numéricos das funções da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o DWDM

t (x10 ³ h)	R _T (t) (%)	F _T (t) (%)	$\lambda_T(t) \times 10^{-6}$ (falhas/h)	$f_T(t) \times 10^{-6}$ (falhas/h)
0	100,00	0,00	0,89	0,89
50	100,00	0,00	0,90	0,90
100	100,00	0,00	0,91	0,91
150	100,00	0,00	0,92	0,92
200	100,00	0,00	0,94	0,94
250	100,00	0,00	0,95	0,95
300	100,00	0,00	0,97	0,97
350	100,00	0,00	1,00	1,00
400	100,00	0,00	1,09	1,09
450	67,68	32,32	1,08	0,73
500	59,82	40,18	1,05	0,63
550	55,55	44,45	1,05	0,59
600	52,56	47,44	1,07	0,56
650	50,25	49,75	1,10	0,55
700	48,36	51,64	1,14	0,55
750	46,75	53,25	1,20	0,56
800	45,37	54,63	1,31	0,60
850	44,14	55,86	1,70	0,75
900	37,83	62,17	1,39	0,53
950	32,49	67,51	1,23	0,40
1000	28,25	71,75	1,16	0,33
1050	24,75	75,25	1,11	0,27
1100	21,80	78,20	1,07	0,23
1150	19,28	80,72	1,04	0,20
1200	17,12	82,88	1,01	0,17
1250	15,24	84,76	0,99	0,15
1300	13,60	86,40	0,98	0,13
1350	12,17	87,83	0,96	0,12
1400	10,91	89,09	0,95	0,10

São registrados também os gráficos de confiabilidade e probabilidade de falha na figura 4.16 e os gráficos de taxa instantânea de falha e densidade de probabilidade de falha na figura 4.17.

Figura 4.16. Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o DWDM

Figura 4.17. Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o DWDM

A linha tracejada, linha de tendência, sobre o gráfico de densidade de probabilidade de falha da figura 4.17, mostra a forma característica da curva de $f(t)$, onde obtém-se uma estimativa do valor de β (CAETANO, 2000).

Na figura 4.18, são mostradas as diferentes formas das curvas de densidade de probabilidade de falha obtidas para cada componente da referida topologia.

Figura 4.18. Curvas de densidade de probabilidade de falha dos componentes da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o DWDM

Analisando as curvas demarcadas na figura 4.18, verifica-se que o valor de β está entre 0,275 e 0,853; sendo respectivamente os valores de β do CS e DWDM. Assim, considera-se um valor médio desses valores:

$$\beta = 0,564$$

Os valores de η e γ serão obtidos através da equação (3-25). Substituindo os valores de t e de $R(t)$ da tabela 4.7, juntamente com o valor de β , na referida equação, obtêm-se os seguintes valores:

$$\eta = 525784 \text{ horas}$$

$$\gamma = 350817 \text{ horas}$$

A partir desses valores, obtém-se o MTTF da topologia de rede ponto a ponto sem cabo aéreo, utilizando o DWDM, através da resolução da equação (3-15).

$$\text{MTTF} = 1212577 \text{ horas}$$

Para a obtenção da função confiabilidade, faz-se $t = \text{MTTF}$:

$$R_T = 26,68 \%$$

4.1.4 – TOPOLOGIA DE REDE PONTO A PONTO COM CABO AÉREO

Na topologia de rede mencionada, são utilizados os Equipamentos de Rede Tradicionais (ERT) e o DWDM respectivamente.

4.1.4.1 – EQUIPAMENTOS DE REDE TRADICIONAIS

Determinam-se para essa topologia, a confiabilidade, a probabilidade de falha, a taxa instantânea de falha e a densidade de probabilidade de falha, variando os valores de t entre 0 e 1200000 horas e substituindo-os nas equações (4-3), (4-8), (4-10) e (4-14). Assim, monta-se a tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Valores numéricos das funções da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o ERT

t (x10 ³ h)	R _T (t) (%)	F _T (t) (%)	$\lambda_T(t) \times 10^{-6}$ (falhas/h)	$f_T(t) \times 10^{-6}$ (falhas/h)
0	100,00	0,00	0,58	0,58
50	100,00	0,00	0,69	0,69
100	100,00	0,00	0,91	0,91
150	63,63	36,37	1,45	0,92
200	45,89	54,11	2,46	1,13
250	35,92	64,08	1,03	0,37
300	30,69	69,31	0,76	0,23
350	27,11	72,89	0,65	0,18
400	24,43	75,57	0,64	0,16
450	15,09	84,91	0,56	0,08
500	12,29	87,71	0,47	0,06
550	10,60	89,40	0,42	0,04
600	9,36	90,64	0,39	0,04
650	8,40	91,60	0,36	0,03
700	7,61	92,39	0,34	0,03
750	6,95	93,05	0,32	0,02
800	6,40	93,60	0,31	0,02
850	5,91	94,09	0,30	0,02
900	5,49	94,51	0,28	0,02
950	5,12	94,88	0,27	0,01
1000	4,79	95,21	0,26	0,01
1050	4,50	95,50	0,25	0,01
1100	4,23	95,77	0,25	0,01
1150	3,99	96,01	0,24	0,01
1200	3,77	96,23	0,23	0,01

São registrados também os gráficos de confiabilidade e probabilidade de falha na figura 4.19 e os gráficos de taxa instantânea de falha e densidade de probabilidade de falha na figura 4.20.

Figura 4.19. Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o ERT

Figura 4.20. Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o ERT

A linha tracejada, linha de tendência, sobre o gráfico de densidade de probabilidade de falha da figura 4.20, mostra a forma característica da curva de $f(t)$, onde obtém-se uma estimativa do valor de β (CAETANO, 2000).

Na figura 4.21, são mostradas as diferentes formas das curvas de densidade de probabilidade de falha obtidas para cada componente da referida topologia.

Figura 4.21. Curvas de densidade de probabilidade de falha dos componentes da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o ERT

Analisando as curvas demarcadas na figura 4.21, verifica-se que o valor de β está entre 0,261 e 0,470; sendo respectivamente os valores de β do CA e ERT. Assim, considera-se um valor médio desses valores:

$$\beta = 0,365$$

Os valores de η e γ serão obtidos através da equação (3-25). Substituindo os valores de t e de $R(t)$ da tabela 4.8, juntamente com o valor de β , na referida equação, obtêm-se os seguintes valores:

$$\eta = 39306 \text{ horas}$$

$$\gamma = 268461 \text{ horas}$$

A partir desses valores, obtém-se o MTTF da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o ERT, através da resolução da equação (3-15).

$$\text{MTTF} = 439444 \text{ horas}$$

Para a obtenção da função confiabilidade, faz-se $t = \text{MTTF}$:

$$R_T = 18,08 \%$$

4.1.4.2 – EQUIPAMENTO DE REDE DWDM

Determinam-se para essa topologia, a confiabilidade, a probabilidade de falha, a taxa instantânea de falha e a densidade de probabilidade de falha, variando os valores de t entre 0 e 1200000 horas e substituindo-os nas equações (4-3), (4-8), (4-10) e (4-14). Assim, monta-se a tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Valores numéricos das funções da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o DWDM

t (x10 ³ h)	R _T (t) (%)	F _T (t) (%)	$\lambda_T(t) \times 10^{-6}$ (falhas/h)	$f_T(t) \times 10^{-6}$ (falhas/h)
0	100,00	0,00	0,93	0,93
50	100,00	0,00	0,96	0,96
100	100,00	0,00	1,02	1,02
150	63,63	36,37	1,15	0,73
200	51,22	48,78	1,01	0,52
250	45,95	54,05	1,00	0,46
300	42,54	57,46	1,01	0,43
350	40,01	59,99	1,03	0,41
400	38,00	62,00	1,11	0,42
450	24,59	75,41	1,10	0,27
500	20,89	79,11	1,07	0,22
550	18,71	81,29	1,07	0,20
600	17,13	82,87	1,09	0,19
650	15,89	84,11	1,12	0,18
700	14,87	85,13	1,16	0,17
750	14,00	86,00	1,22	0,17
800	13,25	86,75	1,33	0,18
850	12,59	87,41	1,71	0,22
900	10,55	89,45	1,40	0,15
950	8,87	91,13	1,25	0,11
1000	7,56	92,44	1,17	0,09
1050	6,49	93,51	1,12	0,07
1100	5,61	94,39	1,08	0,06
1150	4,88	95,12	1,05	0,05
1200	4,25	95,75	1,02	0,04

São registrados também os gráficos de confiabilidade e probabilidade de falha na figura 4.22 e os gráficos de taxa instantânea de falha e densidade de probabilidade de falha na figura 4.23.

Figura 4.22. Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o DWDM

Figura 4.23. Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o DWDM

A linha tracejada, linha de tendência, sobre o gráfico de densidade de probabilidade de falha da figura 4.23, mostra a forma característica da curva de $f(t)$, onde obtém-se uma estimativa do valor de β (CAETANO, 2000).

Na figura 4.24, são mostradas as diferentes formas das curvas de densidade de probabilidade de falha obtidas para cada componente da referida topologia.

Figura 4.24. Curvas de densidade de probabilidade de falha dos componentes da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o DWDM

Analisando as curvas demarcadas na figura 4.24, verifica-se que o valor de β está entre 0,261 e 0,853; sendo respectivamente os valores de β do CA e DWDM. Assim, considera-se um valor médio desses valores:

$$\beta = 0,557$$

Os valores de η e γ serão obtidos através da equação (3-25). Substituindo os valores de t e de $R(t)$ da tabela 4.9, juntamente com o valor de β , na referida equação, obtêm-se os seguintes valores:

$$\eta = 566719 \text{ horas}$$

$$\gamma = 13770 \text{ horas}$$

A partir desses valores, obtém-se o MTTF da topologia de rede ponto a ponto com cabo aéreo, utilizando o DWDM, através da resolução da equação (3-15).

$$\text{MTTF} = 960191 \text{ horas}$$

Para a obtenção da função confiabilidade, faz-se $t = \text{MTTF}$:

$$R_T = 26,43 \%$$

Nas tabelas 4.10 e 4.11, são mostrados os valores da confiabilidade e do MTTF das topologias analisadas neste trabalho, respectivamente.

Tabela 4.10 – Confiabilidade das topologias analisadas neste trabalho

Componente	Topologia em Anel		Topologia Ponto a Ponto	
	Sem CA (%)	Com CA (%)	Sem CA (%)	Com CA (%)
ERT	25,19	24,63	18,46	18,08
DWDM	29,79	29,38	26,68	26,43

Tabela 4.11 – MTTF das topologias analisadas neste trabalho

Componente	Topologia em Anel		Topologia Ponto a Ponto	
	Sem CA (h)	Com CA (h)	Sem CA (h)	Com CA (h)
ERT	24727	19715	544021	439444
DWDM	159657	120656	1212577	960191

4.2 – DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE

A equação da disponibilidade será obtida através da associação em série dos componentes de uma determinada topologia (MONCHY, 1989), conforme a seguinte equação:

$$D_T = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N_T} \frac{1}{D_i} - (N_T - 1)} \quad (4-15)$$

onde:

D_T = disponibilidade operacional de uma determinada topologia

D_i = disponibilidade operacional do componente i

N_T = número de componentes de uma determinada topologia

Dessa forma, na tabela 4.12, são mostrados os valores da disponibilidade das topologias analisadas neste trabalho.

Tabela 4.12 – Disponibilidade das topologias analisadas neste trabalho

Componente	Topologia em Anel		Topologia Ponto a Ponto	
	Sem CA (%)	Com CA (%)	Sem CA (%)	Com CA (%)
ERT	100,00	100,00	99,99	99,98
DWDM	100,00	100,00	99,99	99,98

De acordo com a tabela 4.10, o equipamento de rede DWDM apresenta uma confiabilidade maior que a do ERT, independente da topologia de rede utilizada, bem como a confiabilidade da topologia de rede em anel é maior que da topologia de rede ponto a ponto, independente do equipamento de rede utilizado. Conforme explanado no Capítulo 2, o DWDM apresenta um desempenho operacional melhor que do ERT e a utilização da topologia de rede em anel é mais vantajosa que a ponto a ponto.

A topologia de rede sem CA apresenta uma confiabilidade maior que a com CA, independente dessa topologia estar disposta em anel ou ponto a ponto. Isto ocorre porque o CS apresenta uma confiabilidade maior que a do CA, pois a ocorrência de eventos no mesmo é maior, devido a vandalismos, abalroamentos e furtos.

A disponibilidade da topologia rede em anel é de 100%, pois quando da ocorrência de eventos na mesma, não há interrupção dos sistemas de telecomunicações dos usuários atendidos por essa topologia.

A topologia de rede ponto a ponto sem CA apresenta uma disponibilidade maior que a com CA, independente do equipamento de rede. Isto ocorre porque o CS e o CA apresentam a mesma disponibilidade, já que os valores dos seus respectivos MTTR são muito baixos quando comparados com os seus respectivos MTTF.

CAPÍTULO 5

5 – PROPOSTA DE ORGANIZAÇÃO PARA MINIMIZAÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS

As reestruturações dos serviços de conservação estão baixando consideravelmente os custos. As margens de lucro das empresas são baixas. Assim, compreende-se o interesse por uma organização racional da manutenção.

A análise dos custos permite ao responsável pela política de manutenção efetuar escolha entre as várias opções:

- Acompanhamento das despesas e respeito à receita;
- Nível de manutenção preventiva a ser executada;
- Analisar a necessidade da realização da manutenção preventiva;
- Verificar a eficácia das ações de manutenção;
- Substituição: compra de um dispositivo idêntico ou não;
- Pequeno reparo: recolocação ao nível original;
- Grande reparo: reconstrução (CAETANO, 2000).

5.1 – LEVANTAMENTO DO CUSTO OPERACIONAL

Neste trabalho, foi considerado o seguinte custo operacional:

- Custo de perda da produção.

O custo de perda da produção pode ser considerado como a perda de receita da operadora devido à interrupção do sistema de telecomunicações em um determinado intervalo de tempo.

Na tabela 5.1, mostram-se os faturamentos médios por hora, de um sistema de telecomunicações em \$ (unidade monetária), das topologias estudadas neste trabalho. Tem-se que \$ 1,00 unidade monetária = R\$ 1,00 = US\$ 0,46 em 11/07/2006. Os dados da respectiva tabela foram obtidos através do Relatório Operacional Mensal de junho/06 da Superintendência de Rede de Acesso – São Paulo – Leste, Oeste e Sudeste.

Tabela 5.1 - Faturamentos médios por hora, em unidades monetárias, das topologias estudadas

Topologia	Faturamento / h (\$)
Anel	0,23
Ponto a Ponto	0,18

Para determinação do custo operacional, consideram-se as seguintes equações:

$$C_{op} = \tau_{op} \cdot TA \quad (5-1)$$

$$\tau_{op} = C_p \quad (5-2)$$

onde:

C_{op} = custo operacional da manutenção corretiva ou preventiva

C_p = custo de perda da produção

τ_{op} = taxa operacional da manutenção corretiva ou preventiva

TA = tempo de interrupção de um sistema de telecomunicações

Assim, na tabela 5.2, mostram-se os custos operacionais de um sistema de telecomunicações para as topologias estudadas:

Tabela 5.2 - Custos operacionais das topologias estudadas

Topologia	Custo Operacional
Anel	0,23.TA
Ponto a Ponto	0,18.TA

5.2 – LEVANTAMENTO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO

Os custos da manutenção dos componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede da topologia em anel e ponto a ponto são os seguintes:

- Custos de mão-de-obra da manutenção;
- Custo de reparo do cabo óptico da topologia em questão (conserto);
- Custo de substituição do cabo óptico e do equipamento de rede da topologia em questão (troca).

A mão-de-obra utilizada na manutenção é da própria operadora. No valor considerado para a mão-de-obra própria, estão inclusos o fornecimento dos veículos, combustível, ferramentas, equipamentos de proteção individual, supervisão, treinamento, salários e encargos sociais. Neste trabalho, são utilizadas duas classes de mão-de-obra: uma na manutenção do cabo subterrâneo e aéreo e outra na manutenção dos equipamentos de rede tradicionais e DWDM.

Na tabela 5.3, demonstram-se as taxas de mão-de-obra dos componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede.

Tabela 5.3 - Taxas de mão-de-obra dos componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede

Componente	Taxa de mão-de-obra τ_{mom} (\$ / h)
Cabo Subterrâneo	64,33
Cabo Aéreo	64,33
Equipamentos de Rede Tradicionais	32,82
Equipamento de Rede DWDM	32,82

As taxas da atividade de substituição e de reparo dos componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede são independentes da topologia utilizada. Observa-se que os Equipamentos de Rede Tradicionais e DWDM apresentam custo de reposição e de reparo iguais, demonstrando que os componentes não são passíveis de reparo. Na tabela 5.4, são mostradas as respectivas taxas.

Tabela 5.4 - Taxas de substituição e reparo dos componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede

Componente	Taxa de Substituição (\$ por evento)	Taxa de Reparo (\$ por evento)
Cabo Subterrâneo	1402,47	261,67
Cabo Aéreo	1312,01	235,74
Equipamentos de Rede Tradicionais	28000,00	28000,00
Equipamento de Rede DWDM	80000,00	80000,00

Na análise dos custos da manutenção dos componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede, consideram-se os seguintes custos (MONCHY, 1989):

- Custos da manutenção corretiva;
- Custos da manutenção preventiva.

5.2.1 – CUSTOS DA MANUTENÇÃO CORRETIVA

Os custos referentes à manutenção corretiva são compostos pelos seguintes custos (CAETANO, 2000):

- Custos de substituição do cabo óptico e do equipamento de rede;
- Custos de reparo do cabo óptico;
- Custo da mão-de-obra requerida;
- Custos operacionais (tempos de interrupção).

Através da equação (5-3), determina-se o custo de uma intervenção corretiva:

$$C_{mc} = C_{op} + C_{mom} + C_R \quad (5-3)$$

sendo:

$$C_{mom} = \tau_{mom} \cdot H \cdot TTR \quad (5-4)$$

$$C_R = \tau_{sub} \cdot N_{sub} + \tau_{rep} \cdot N_{rep} \quad (5-5)$$

onde:

C_{mc} = custo da manutenção corretiva

C_{mom} = custo da mão-de-obra requerida para manutenção

C_R = custo de reparação

τ_{mom} = taxa de mão-de-obra requerida

H = número de técnicos para a realização da manutenção

N_{sub} = número de componentes substituídos

τ_{sub} = taxa de substituição

N_{rep} = número de componentes reparados

τ_{rep} = taxa de reparo

Com a expressão (5-3), determina-se o custo total da manutenção corretiva de uma determinada topologia. A determinação do tempo de interrupção de um sistema de telecomunicações será obtida através do tempo técnico de reparo (TTR) para acessos atendidos através da topologia ponto a ponto. Assim, tem-se $TA = TTR$.

Substituindo na equação (5-3), resulta:

$$C_{Tmc} = \sum_{i=1}^N TTR_i \cdot (\tau_{op} + \tau_{mom} \cdot H) + C_R \quad (5-6)$$

Acessos atendidos através da topologia em anel apresentaram TA nulo neste trabalho, bem como os acessos atendidos através da topologia ponto a ponto quando da ocorrência de eventos nos ERT e DWDM, já que não houve interrupção dos sistemas de telecomunicações.

O custo médio de uma intervenção para manutenção corretiva é obtido pela equação (5-7):

$$\bar{C}_{mc} = \frac{C_{Tmc}}{N} \quad (5-7)$$

onde:

$\bar{C}_{mc}$ = custo médio de uma intervenção corretiva

C_{Tmc} = custo total da manutenção corretiva

N = total de eventos

5.2.1.1 – DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS DA MANUTENÇÃO CORRETIVA DOS COMPONENTES DA REDE EXTERNA ÓPTICA E EQUIPAMENTOS DE REDE

A determinação dos custos da manutenção corretiva será obtida através das tabelas de acompanhamento dos tempos de bom funcionamento (Anexo C).

Nas tabelas 5.5 e 5.6, são mostrados para os componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede, os tempos técnicos de reparo acumulados, o total de eventos, o total de componentes substituídos e reparados para a topologia em anel e ponto a ponto respectivamente.

Os tempos técnicos de reparo dos cabos ópticos substituídos e reparados foram apropriados exclusivamente em campo.

Para o atendimento de um evento, a operadora disponibiliza uma dupla de técnicos para a realização da manutenção corretiva.

Tabela 5.5 - Tempos técnicos de reparo acumulados, total de eventos, total de componentes substituídos e reparados para a topologia em anel

TOPOLOGIA EM ANEL				
Componente	TTR (h)	Total de Eventos	Total de Componentes Substituídos	Total de Componentes Reparados
CS	132,82	101	38	63
CA	191,77	12	5	7
ERT	2246,06	125	62	0
DWDM	55,98	19	1	0

Tabela 5.6 - Tempos técnicos de reparo acumulados, total de eventos, total de componentes substituídos e reparados para a topologia ponto a ponto

TOPOLOGIA PONTO A PONTO				
Componente	TTR (h)	Total de Eventos	Total de Componentes Substituídos	Total de Componentes Reparados
CS	252,22	113	54	59
CA	387,24	122	57	65
ERT	362,52	75	39	0
DWDM	23,03	28	2	0

Substituindo os valores das tabelas 5.5 e 5.6 nas equações (5-3) e (5-6), obtém-se o custo total da manutenção corretiva para uma determinada topologia. Aplicando-se as referidas equações para o cabo subterrâneo da topologia em anel, tem-se o seguinte:

$$C_R = 1402,47 \cdot 38 + 261,67 \cdot 63$$

$$C_{Tmc} = 0 \cdot 0,23 + 132,82 \cdot 64,33 \cdot 2 + 1402,47 \cdot 38 + 261,67 \cdot 63$$

$$C_{Tmc} = \$ 86867,69 \text{ unidades monetárias}$$

Dessa forma, determina-se o custo total da manutenção corretiva para os componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede das topologias em anel e ponto a ponto. Esses custos são referentes ao período de Janeiro/05 a Junho/06, sendo mostrados na tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Custo total da manutenção corretiva dos componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede da topologia em anel e ponto a ponto

Componente	Custo da Manutenção Corretiva (\$)		Custo Total (\$)
	Topologia em Anel	Topologia Ponto a Ponto	
CS	86867,69	123667,93	210535,62
CA	32883,36	139999,67	172883,03
ERT	1883431,38	1115795,81	2999227,19
DWDM	83674,53	161511,69	245186,22
C_{Tmc}	2086856,96	1540975,10	3627832,06

Com os dados obtidos na tabela 5.7, determina-se o custo total da manutenção corretiva anual, mensal, diário e por hora, para as topologias estudadas. Na tabela 5.8, demonstram-se esses custos.

Tabela 5.8 - Custo total da manutenção corretiva anual, mensal, diário e por hora, para as topologias estudadas

Topologia	Anual (\$)	Mensal (\$)	Diário (\$)	por hora (\$)
Anel	1391237,97	115936,50	3811,61	158,82
Ponto a Ponto	1027316,73	85609,73	2814,57	117,27
C_{Tmc}	2418554,70	201546,23	6626,18	276,09

Através da substituição dos valores da tabela 5.7 e do total de eventos de cada topologia mostrados nas tabelas 5.5 e 5.6, na equação (5-7), obtém-se o custo médio de uma intervenção da manutenção corretiva para as topologias analisadas. Na tabela 5.9, são mostrados esses custos.

Tabela 5.9 - Custo médio de uma intervenção da manutenção corretiva para as topologias estudadas

Topologia	Custo Médio (\$)
Anel	8120,07
Ponto a Ponto	4559,10
Total	6097,20

Para a obtenção dos custos deste trabalho, considerou-se que a operadora possui em estoque cabos ópticos e equipamentos de rede para substituições durante os eventos.

5.2.2 – CUSTOS DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A análise dos custos da manutenção preventiva será realizada para os componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede das topologias em anel e ponto a ponto.

O custo da manutenção preventiva pode ser obtido analogamente ao custo da manutenção corretiva, sendo demonstrado na equação (5-8):

$$C_{mp} = TA_{mp} \cdot (\tau_{op} + \tau_{mom} \cdot H) + C_R \quad (5-8)$$

sendo:

$$C_R = \tau_{sub} \cdot N_{sub} \quad (5-9)$$

onde:

C_{mp} = custo da manutenção preventiva

TA_{mp} = tempo de interrupção de um sistema de telecomunicações atribuído à manutenção preventiva

O tempo de interrupção de um sistema de telecomunicações atribuído à realização da manutenção preventiva para usuários atendidos através da topologia em anel é nulo neste estudo.

O custo de reparação C_R envolve custos de substituição e reparo. No caso da manutenção preventiva, não serão levados em conta os custos de reparo, pois estes já foram considerados nas intervenções corretivas.

Com a equação (5-8), determina-se o custo total da manutenção preventiva de um determinado componente.

$$C_{\text{Tmp}} = \sum_{i=1}^N \text{TTR}_i \cdot (\tau_{\text{op}} + \tau_{\text{mom}} \cdot H) + C_R \quad (5-10)$$

O estabelecimento de um programa de manutenção preventiva é realizado anualmente. Os componentes da topologia ponto a ponto são priorizados nesse programa, pois quando da ocorrência de eventos nos mesmos, há a interrupção dos sistemas de telecomunicações dos respectivos usuários. Esse programa contempla basicamente a substituição de trechos de cabos ópticos e placas nos equipamentos de rede tradicionais que apresentam valores de atenuação¹ e dispersão² maiores que os especificados pela operadora, pois degradam a qualidade da prestação dos serviços de telecomunicações disponibilizados aos seus usuários. O programa de manutenção preventiva supramencionado não abrange os equipamentos de rede DWDM, já que os mesmos foram implantados recentemente e apresentam prazo de garantia vigente, estabelecido contratualmente com o fabricante do equipamento.

Para execução da manutenção preventiva dos componentes da rede externa óptica, a operadora utiliza-se de duas duplas de técnicos. Na execução da manutenção preventiva dos equipamentos de rede, a operadora utiliza-se de uma dupla de técnicos. Em ambos os casos, a mão-de-obra utilizada é da própria empresa.

Nas tabelas 5.10 e 5.11, são mostrados o tempo de interrupção de um sistema de telecomunicações, o total de componentes substituídos e o total de intervenções para as topologias analisadas na execução da manutenção preventiva anual.

¹ A atenuação pode ser definida como a diminuição da intensidade de energia luminosa de um sinal ao propagar-se através de um meio de transmissão - fibra óptica (RIBEIRO, 2003).

² A dispersão é uma característica de transmissão que exprime o alargamento dos pulsos transmitidos (RIBEIRO, 2003).

Tabela 5.10 - Tempo de interrupção de um sistema de telecomunicações, total de componentes substituídos e total de intervenções para a topologia em anel

TOPOLOGIA EM ANEL			
Componente	Tempo de Interrupção (h)	Total de Componentes Substituídos	Total de Intervenções
CS	161	46	46
CA	42	12	12
ERT	4	2	2
DWDM	0	0	0

Tabela 5.11 - Tempo de interrupção de um sistema de telecomunicações, total de componentes substituídos e total de intervenções para a topologia ponto a ponto

TOPOLOGIA PONTO A PONTO			
Componente	Tempo de Interrupção (h)	Total de Componentes Substituídos	Total de Intervenções
CS	518	148	148
CA	623	178	178
ERT	16	8	8
DWDM	0	0	0

Substituindo os valores das tabelas 5.10 e 5.11 nas equações (5-9) e (5-10), obtém-se o custo total da manutenção preventiva para um determinado componente. Aplicando-se as referidas equações para o cabo subterrâneo da topologia em anel, tem-se o seguinte:

$$C_R = 1402,47 \cdot 46$$

$$C_{\text{Tmp}} = 0 \cdot 0,23 + (161 \cdot 64,33 \cdot 4) + 1402,47 \cdot 46$$

$$C_{\text{Tmp}} = \$ 105942,14 \text{ unidades monetárias}$$

Dessa forma, determina-se o custo total anual da manutenção preventiva para os componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede, bem como o custo total anual dessa manutenção para cada topologia abordada neste trabalho. Na tabela 5.12, são mostrados esses custos.

Tabela 5.12 - Custo total anual da manutenção preventiva dos componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede da topologia em anel e ponto a ponto

Componente	Custo da Manutenção Preventiva (\$)		Custo Total (\$)
	Topologia em Anel	Topologia Ponto a Ponto	
CS	105942,14	340950,56	446892,70
CA	26551,56	393960,28	420511,84
ERT	56262,56	225053,12	281315,68
DWDM	0,00	0,00	0,00
C _{Tmp}	188756,26	959963,96	1148720,22

Com os dados obtidos na tabela 5.12, determina-se o custo total da manutenção preventiva anual, mensal, diário e por hora, para as topologias estudadas. Na tabela 5.13, são demonstrados esses custos.

Tabela 5.13 - Custo total da manutenção preventiva anual, mensal, diário e por hora, para as topologias analisadas

Topologia	Anual (\$)	Mensal (\$)	Diário (\$)	por hora (\$)
Anel	188756,26	15729,69	517,14	21,55
Ponto a Ponto	959963,96	79997,00	2630,04	109,58
C _{Tmp}	1148720,22	95726,69	3147,18	131,13

O custo médio de uma intervenção para manutenção preventiva é obtido pela equação (5-11):

$$\bar{C}_{mp} = \frac{C_{Tmp}}{m} \quad (5-11)$$

onde:

$\bar{C}_{mp}$ = custo médio de uma intervenção preventiva

C_{Tmp} = custo total da manutenção preventiva

m = total de intervenções realizadas na manutenção preventiva

Através da substituição dos valores da tabela 5.12 e do total de intervenções realizadas na manutenção preventiva de cada topologia mostrados nas tabelas 5.10 e 5.11, na equação (5-11), obtém-se o custo médio de uma intervenção da manutenção preventiva para as topologias analisadas. Na tabela 5.14, são mostrados esses custos.

Tabela 5.14 - Custo médio de uma intervenção da manutenção preventiva para as topologias estudadas

Topologia	Custo Médio (\$)
Anel	3145,94
Ponto a Ponto	2874,14
Total	2915,53

5.3 - ANÁLISE GLOBAL DOS CUSTOS

O custo global da manutenção é composto pela soma do custo total da manutenção corretiva e preventiva, sendo expresso pela equação (5-12):

$$C_{Gm} = C_{Tmc} + C_{Tmp} \quad (5-12)$$

Na tabela 5.15, demonstra-se o custo global da manutenção anual, mensal, diário e por hora, para as topologias abordadas.

Tabela 5.15 - Custo global da manutenção anual, mensal, diário e por hora, para as topologias estudadas

Topologia	Anual (\$)	Mensal (\$)	Diário (\$)	por hora (\$)
Anel	1579994,23	131666,19	4328,75	180,36
Ponto a Ponto	1987280,69	165606,72	5444,60	226,86
C_{Gm}	3567274,92	297272,91	9773,35	407,22

O custo médio global de uma intervenção é composto pela soma do custo médio de uma intervenção corretiva e preventiva, sendo expresso pela equação (5-13):

$$\bar{C}_{Gm} = \bar{C}_{mc} + \bar{C}_{mp} \quad (5-13)$$

Na tabela 5.16, demonstra-se o custo médio global de uma intervenção para as topologias estudadas.

Tabela 5.16 – Custo médio global de uma intervenção para as topologias estudadas

Topologia	Custo Médio Global (\$)
Anel	11266,00
Ponto a Ponto	7433,24
Total	9012,73

5.4 – CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE REDE

O custo para a implantação dos equipamentos de rede contempla o equipamento instalado na central telefônica e no usuário, sendo independente da topologia de rede utilizada.

A implementação de um ERT em uma rede óptica com capacidade de transmissão de 2,5 Gbps custa aproximadamente \$ 260000,00.

A implantação de um DWDM em uma rede óptica com capacidade de transmissão de 80 Gbps custa aproximadamente \$ 1200000,00. Assim, a taxa de transmissão de 2,5 Gbps no equipamento de rede DWDM custa \$ 37500,00.

Os custos total anual e médio de uma intervenção da manutenção corretiva da topologia em anel são maiores que os da topologia ponto a ponto. Isso ocorre devido a uma incidência maior de eventos nos ERT da topologia em anel, já que a sua quantidade instalada é superior ao da topologia ponto a ponto.

No programa de manutenção preventiva elaborado pela operadora, os componentes da topologia ponto a ponto são priorizados, pois quando da ocorrência de eventos nos mesmos, há a interrupção dos sistemas de telecomunicações dos seus usuários. Assim, o custo total anual da manutenção preventiva da topologia ponto a ponto é maior do que o da topologia em anel.

O custo médio de uma intervenção da manutenção preventiva da topologia em anel é maior que o da topologia ponto a ponto. A manutenção preventiva da topologia em anel é realizada basicamente nos componentes da rede externa óptica. Tem-se que apenas 10% dos acessos são atendidos com CA. Assim, essa manutenção é realizada nos CS, os quais apresentam as maiores taxas de substituição e reparo quando comparados ao CA.

Quando se compara o custo de implantação de uma rede óptica com DWDM e ERT, a uma taxa de transmissão de 2,5 Gbps, nota-se que o custo do DWDM é bem menor, sendo aproximadamente sete vezes menor.

Deve-se também observar, que comparando com aplicações baseadas em regeneração do sinal óptico, uma infra-estrutura DWDM aumenta as distâncias entre os equipamentos de rede, sendo um grande benefício para as operadoras de serviços interurbanos, pois reduzem significativamente os seus investimentos iniciais de rede. O componente amplificador óptico do sistema DWDM permite à operadora economizar custos, amplificando sinais ópticos sem os converter para sinais elétricos. Assim, o amplificador óptico possibilita as operadoras utilizarem comprimentos de onda na região de 1550 nm. Como exemplo, em uma rede óptica que utiliza um DWDM de 16 comprimentos de onda em uma única fibra óptica, diminui-se o número de amplificadores em um fator de 16 em cada regeneração do sinal óptico, quando comparados ao uso dos amplificadores em uma rede óptica que utiliza ERT. Usando menos

amplificadores em redes interurbanas, resultará em uma quantidade menor de interrupções e melhor eficiência do sistema, além de uma redução significativa dos custos.

CAPÍTULO 6

6 – CONCLUSÃO

Comparando-se o desempenho operacional do DWDM com do ERT, verifica-se que o DWDM apresenta como vantagem, uma maior flexibilidade da capacidade de transmissão, transparência aos sinais transmitidos, crescimento gradual da capacidade de transmissão, reuso dos equipamentos terminais e da fibra óptica e atendimento de demanda inesperada.

O DWDM possibilita às operadoras a flexibilidade de ampliar a capacidade de transmissão em suas redes, sendo uma vantagem que nenhuma outra tecnologia pode oferecer. Essa tecnologia permite dividir e manter diferentes comprimentos de onda dedicados a usuários diferentes em uma única fibra óptica.

A avaliação da confiabilidade e manutenibilidade operacional dos componentes da Rede Externa Óptica e dos Equipamentos de Rede da topologia de rede em anel e ponto a ponto foram realizadas através do emprego do algoritmo de Weibull, cujo modelo probabilístico permite modelar vários tipos de resultados experimentais e operacionais.

Baseado na confiabilidade e manutenibilidade operacional dos componentes e topologias de rede, são determinados a confiabilidade operacional, o MTTF, a manutenibilidade, o MTTR e a disponibilidade para os componentes e topologias de rede analisadas neste trabalho.

O equipamento de rede DWDM apresenta uma confiabilidade maior que a do ERT, independente da topologia de rede utilizada, bem como a confiabilidade da topologia de rede em anel é maior que da topologia de rede ponto a ponto, independente do equipamento de rede utilizado.

A topologia de rede sem CA apresenta uma confiabilidade maior que a com CA, independente dessa topologia estar disposta em anel ou ponto a ponto. Isto ocorre porque o CS apresenta uma confiabilidade maior que a do CA, pois a ocorrência de eventos no mesmo é maior, devido a vandalismos, abalroamentos e furtos.

A disponibilidade da topologia rede em anel é de 100% neste trabalho, pois quando da ocorrência de eventos na mesma, não houve interrupção dos sistemas de telecomunicações dos usuários atendidos por essa topologia.

A topologia de rede ponto a ponto sem CA apresenta uma disponibilidade maior que a com CA, independente do equipamento de rede. Isto ocorre porque o CS e o CA apresentam a mesma disponibilidade, já que os valores dos seus respectivos MTTR são muito baixos quando comparados com os seus respectivos MTTF.

Neste trabalho, são comparados os custos total e médio da manutenção corretiva e preventiva para as topologias estudadas. Os custos total anual e médio de uma intervenção da manutenção corretiva da topologia em anel são maiores que os da topologia ponto a ponto. Isso ocorre devido a uma incidência maior de eventos nos ERT da topologia em anel, já que a sua quantidade instalada é superior ao da topologia ponto a ponto.

No programa de manutenção preventiva elaborado pela operadora, os componentes da topologia ponto a ponto são priorizados, pois quando da ocorrência de eventos nos mesmos, há a interrupção dos sistemas de telecomunicações dos seus usuários. Assim, o custo total anual da manutenção preventiva da topologia ponto a ponto é maior do que o da topologia em anel.

Comparando-se o custo de implantação de uma rede óptica com DWDM e ERT, a uma taxa de transmissão de 2,5 Gbps, verifica-se que o custo é aproximadamente sete vezes menor quando se utiliza a rede óptica com DWDM.

Observa-se também, que comparando com aplicações baseadas em regeneração do sinal óptico, uma infra-estrutura DWDM aumenta as distâncias entre os equipamentos de rede devido à utilização do amplificador óptico, sendo um grande benefício para as operadoras de serviços interurbanos, pois reduzem significativamente os seus investimentos iniciais de rede.

Assim, pode ser concluído que a tecnologia DWDM é a opção mais vantajosa em termos de confiabilidade e manutenibilidade em relação ao ERT.

Dessa forma, objetiva-se uma melhora na qualidade dos serviços prestados aos usuários, podendo estender o modelo de análise de confiabilidade e manutenibilidade para as demais regiões do país, respeitando sempre, as particularidades de cada uma delas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRAWAL, G. P. “Nonlinear Fiber Optics”. New York, 2^a Ed., Academic Press, 1995.

AGRAWAL, G. P. “Fiber-Optic Communication Systems”. New York, 2^a Ed., Wiley-Interscience, p.34-36, 1997.

CAETANO, R. E.; MORAES, C. C. “Análise da Confiabilidade e Manutenibilidade de Topologias do Sistema de Telefonia Fixa”. São Paulo, 2000. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo.

DUANE, J. T. “Learning Curve Approach to Reliability Monitoring”. IEEE Transactions on Aerospace, v.2, p.563, 1965.

EXFO. “Guide To DWDM – Technology Testing”. Quebec, 2^a Ed., 2000.

GILES, C. R.; SPECTOR M. “The Wavelength Add/Drop Multiplexer for Lightwave Communication Networks”. Bell Labs Technical Journal, v.4, p.207-229, 1999.

ITU-T Recommendation G.803. “Architectures of Transport Networks Based on Synchronous Digital Hierarchy”. Geneva, June, 1991.

ITU-T Recommendation G.841. “Types and Characteristics of SDH Network Protection Architectures”. Geneva, 1992.

ITU-T Recommendation G.694.1. “Spectral Grids for WDM Application: DWDM Frequency Grid”. Geneva, June, 2002.

KARTALPOULOS, V. S. “Introduction to DWDM Technology”. New York, 1^a Ed., Publication of the International Society for Optical Engineering, 2000.

KEISER, G. “Optical Fiber Communications”. 3^a Ed., Mc Graw Hill, 2002.

LYCETTE, B. “Practical Considerations in Calculating Reliability of Fielded Products”. The Journal of the Reliability Analysis Center, 2^o Quarter, p.1-6, 2005.

MARCUSE, D. “Theory of Dielectric Optical Waveguide”. New York, 2^a Ed., Academic Press, 1991.

MONCHY, F. “A Função Manutenção: Formação para a Gerência da Manutenção Industrial”. Trad. J. C. Karsaklian. São Paulo, Durban/Ebras, 1989.

MÜLLER, R.; SCHUWARZ, E. “Confiabilidade: Tabelas e Nomogramas para Uso Prático”. Trad. B.B.T. Wagner e E. Wagner. 1^a Ed. São Paulo, Nobel: Siemens S/A, 1986.

O’CONNOR, P. D. T. “Practical Reliability Engineering”. New York, 4^a Ed., John Wiley & Sons, 2002.

RAMAKUMAR, R. “Engineering Reliability: Fundamentals and Applications”. New Jersey, Prentice-Hall, 1993.

RIBEIRO, J. A. J. “Comunicações Ópticas”. São Paulo, Érica, 2003.

SISTEMA DE PRÁTICAS TELEBRÁS. Norma TELEBRÁS. Série planta. n.565-001-103, p.1-14, Setembro, 1990.

SUN, Y.; SRIVASTAVA A. K., ZHOU J., SULHOFF J. W. “Optical Fiber Amplifiers for WDM Optical Networks”. Bell Labs Technical Journal, v.4, p.187-206, 1999.

TELESP - TELECOMUNICAÇÕES DE SÃO PAULO S.A. “Manual do Treinando: Fiscalização e Aceitação da Construção da Rede de Cabos Aéreos e Subterrâneos”. v.I U.I a U.XVI, São Paulo, s.d.

TOBIAS, P. A.; TRINDADE, D. C. “Applied Reliability”. New York, 2^a Ed., CRC Press, 1995.

VIANA, L. P. III Seminário de Manutenção - Trabalhos Técnicos – Seção Regional VII - ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção, p.3, Curitiba, 1991.

ANEXOS

ANEXO A – ACOMPANHAMENTO MENSAL DA QUANTIDADE DE ACESSOS INTERROMPIDOS E DO TOTAL DE ACESSOS DOS COMPONENTES DA REDE EXTERNA ÓPTICA E EQUIPAMENTOS DE REDE DAS TOPOLOGIAS ANALISADAS

A seguir, será mostrado o acompanhamento mensal da quantidade de acessos interrompidos e do total de acessos dos componentes da Rede Externa Óptica e Equipamentos de Rede das topologias analisadas.

Tabela A.1 - Acompanhamento Mensal da Quantidade de Acessos Interrompidos e do Total de Acessos dos componentes da Rede Externa Óptica e Equipamentos de Rede da Topologia em Anel

TOPOLOGIA EM ANEL									
Mês	Horas / Mês	Quantidade de Acessos Interrompidos				Quantidade Total de Acessos			
		CS	CA	ERT	DWDM	CS	CA	ERT	DWDM
jan/05	744	71426	107140	284256	256	2888659	288866	2801095	87564
fev/05	672	12390	18586	103840	1024	2883887	288389	2794167	89720
mar/05	744	24547	36821	228336	64	2876815	287682	2786934	89881
abr/05	720	3024	4536	74752	576	2872368	287237	2781035	91333
mai/05	744	5149	7724	247487	2048	2881257	288126	2788396	92861
jun/05	720	52085	78127	96768	77	2891239	289124	2797580	93659
jul/05	744	61212	91817	67622	232	2887848	288785	2794070	93778
ago/05	744	31184	46775	104255	412	2894498	289450	2800483	94015
set/05	720	6245	9368	76588	128	2895668	289567	2800913	94755
out/05	744	18369	27553	30432	192	2891534	289153	2796447	95087
nov/05	720	10958	16438	43360	96	2894175	289418	2798624	95551
dez/05	744	36542	54814	66528	30	2875024	287502	2779451	95573
jan/06	744	52412	78618	112456	128	2875715	287572	2779401	96314
fev/06	672	11320	16980	101018	92	2876771	287677	2779760	97011
mar/06	744	68412	102618	218326	512	2882260	288226	2784404	97856
abr/06	720	2016	3024	87998	30	2881422	288142	2782619	98803
mai/06	744	5741	8612	164016	83	2877544	287754	2777985	99559
jun/06	720	46120	69180	74212	260	2878245	287824	2777627	100618

Tabela A.2 - Acompanhamento Mensal da Quantidade de Acessos Interrompidos e do Total de Acessos dos componentes da Rede Externa Óptica e Equipamentos de Rede da Topologia Ponto a Ponto

TOPOLOGIA PONTO A PONTO									
Mês	Horas / Mês	Quantidade de Acessos Interrompidos				Quantidade Total de Acessos			
		CS	CA	ERT	DWDM	CS	CA	ERT	DWDM
jan/05	744	8926	13389	27216	32	5777318	2888659	5603290	174028
fev/05	672	9357	14035	11976	96	5767775	2883887	5591520	176255
mar/05	744	15236	22853	8598	56	5753631	2876815	5576742	176889
abr/05	720	9700	14549	19455	112	5744735	2872368	5567412	177323
mai/05	744	31873	47809	1292	244	5762514	2881257	5585058	177456
jun/05	720	986	1479	1727	30	5782479	2891239	5600981	181498
jul/05	744	5469	8203	256	64	5775696	2887848	5592156	183540
ago/05	744	7668	11501	1462	92	5788995	2894498	5604416	184579
set/05	720	1875	2813	616	128	5791337	2895668	5603346	187991
out/05	744	18081	27122	1149	116	5783069	2891534	5594832	188237
nov/05	720	33135	49703	640	1024	5788350	2894175	5598303	190047
dez/05	744	4062	6094	448	256	5750048	2875024	5558906	191142
jan/06	744	8211	12317	7100	78	5751431	2875715	5558986	192445
fev/06	672	8870	13305	6812	64	5753543	2876771	5560537	193006
mar/06	744	42618	63927	32664	312	5764520	2882260	5568842	195678
abr/06	720	7954	11931	9886	126	5762844	2881422	5565331	197513
mai/06	744	17015	25523	2048	74	5755089	2877544	5556592	198497
jun/06	720	4612	6918	512	94	5756489	2878245	5554263	202226

ANEXO B - ALGORITMO DE WEIBULL

A seguir, está descrito todo o procedimento para a montagem do gráfico de Weibull para a determinação dos parâmetros β , η e γ (MONCHY, 1989; RAMAKUMAR, 1993).

- 1) Montar tabela de acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento (TTF);
- 2) Estabelecer ordem de classificação crescente dos TTF;
- 3) Estabelecer uma coluna para frequência acumulada $F(i)$, onde:

$$F(i) = \frac{\sum n_i}{N} \Rightarrow \text{com amostragem } N > 50 \text{ meses;}$$

$$F(i) = \frac{i}{N + 1} \Rightarrow \text{com amostragem } 20 < N < 50 \text{ meses;}$$

$$F(i) = \frac{i - 0,3}{N + 0,4} \Rightarrow \text{com amostragem } N < 20 \text{ meses.}$$

4) Em papel Di-log, registrar o conjunto de pontos coordenados (TTF_i , $F(i)$) e traçar o gráfico;

- caso o ajuste do conjunto de pontos for uma reta, o parâmetro $\gamma = 0$;
- caso o ajuste do conjunto de pontos for uma curva, o valor do parâmetro de deslocamento γ será determinado pela técnica de linearização da curva.

Determinar três pontos sobre a curva C; A1, A2 e A3, espaçados entre si, mas não dos extremos. Sobre o eixo t (TTF), determinam-se os valores de t_1 , t_2 e t_3 .

Esse conjunto de pontos obtidos deverá ser testado por meio de experimentações, pois deverá ser analisado o seu coeficiente de correlação. Dos vários conjuntos de pontos, são

escolhidos os que apresentam o melhor coeficiente de correlação, ou seja, próximo de 1 (forte correlação linear), através da seguinte fórmula:

$$\text{Correlação Linear} = \frac{\sum \text{TTF}_i \times F_i}{\sqrt{\sum \text{TTF}_i^2 \times F_i^2}}$$

Essa metodologia pode ser observada na figura B.1.

Figura B.1. Determinação dos pontos para linearização da curva (CAETANO, 2000)

O valor de γ é obtido pela equação

$$\gamma = \frac{t_2^2 - t_1 \times t_3}{2 t_2 - t_1 - t_3},$$

de onde se obtêm os seguintes pontos:

$$A'_1 = A_1 + \gamma$$

$$A'_2 = A_2 + \gamma \text{ e}$$

$$A'_3 = A_3 + \gamma, \text{ indicados na figura B.2.}$$

5) Através dos pontos A'_1 , A'_2 e A'_3 , traça-se a reta D_1 . No ponto $\ln \left[\ln \frac{1}{1 - F(i)} \right] = 0$;

a frequência acumulada $F(i) = 63,21\%$. Nesse ponto, traçar uma paralela ao eixo t , determinando a reta η . No ponto de intersecção da reta D_1 com a reta η , determina-se o parâmetro η , conforme traçado na figura B.2.

Figura B.2. Gráfico de Weibull para determinação dos parâmetros γ , η e β (CAETANO, 2000)

6) Para a obtenção do valor de β , registrar sobre a reta η uma reta paralela ao eixo $F(i)$ sobre o ponto $\ln t = 0$, ou seja, em $t = 1$. Em seguida, registrar uma reta B paralela ao eixo $F(i)$ sobre o ponto $\ln t = -1$, ou seja, em $t = 0,3679$;

Traçar uma reta D_2 paralela à reta D_1 , passando pelo ponto $\ln t = 0$, cortando a reta B , cuja intersecção indica o valor de $F(i)$ correspondente ao parâmetro β . Como o eixo $F(i)$ adotado está orientado para baixo, ao obter-se β , deve-se inverter o seu sinal quando determinado na seguinte equação:

$$\beta = \ln \left(\ln \frac{1}{1 - F(i)} \right)$$

Assim, são determinados os três parâmetros de Weibull $\Rightarrow \gamma, \eta$ e β .

ANEXO C – TABELAS DE ACOMPANHAMENTO DOS TEMPOS DE BOM FUNCIONAMENTO

Neste anexo, são relacionadas as tabelas de acompanhamento dos tempos de bom funcionamento (TTF) dos componentes da Rede Externa Óptica e Equipamentos de Rede das topologias analisadas.

Os tempos de bom funcionamento estão ordenados em ordem crescente com a sua respectiva frequência acumulada porcentualmente.

Nota-se que:

$$TTF = \frac{\text{Quantidade Total de Acessos} \times \text{Quantidade de Horas/Mês}}{\text{Quantidade de Acessos Interrompidos}}$$

A Quantidade de Horas/Mês refere-se à totalidade de horas que o mês em análise teve.

No presente anexo, são registrados os Tempos Técnicos de Reparo (TTR), pois são detalhados no item 3.2.

Dessa forma, defini-se que o Tempo de Funcionamento entre Falhas (TBF) é a somatória entre o TTF e o TTR:

$$TBF = TTF + TTR$$

A seguir, são mostradas as tabelas citadas anteriormente das topologias analisadas neste trabalho.

C.1 – TOPOLOGIA EM ANEL

Tabela C.1 - Acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento do Cabo Subterrâneo da Topologia em Anel

COMPONENTE: CABO SUBTERRÂNEO							
Nº de Ordem (i)	Quantidade de Acessos Interrompidos	Hora / Mês	Quantidade Total de Acessos	TTF (h)	TTR (h)	TBF (h)	F(i) %
1	71426	744	2888659	30089,19	6,95	30096,13	3,804
2	68412	744	2882260	31345,40	15,66	31361,06	9,239
3	52085	720	2891239	39967,37	7,61	39974,98	14,674
4	52412	744	2875715	40821,42	10,47	40831,89	20,109
5	46120	720	2878245	44933,57	11,10	44944,67	25,543
6	46120	744	2887848	46586,27	13,79	46600,07	30,978
7	36542	744	2875024	58535,23	3,95	58539,18	36,413
8	31184	744	2894498	69058,94	13,28	69072,22	41,848
9	24547	744	2876815	87193,27	10,62	87203,89	47,283
10	18369	744	2891534	117117,15	6,46	117123,61	52,717
11	12390	672	2883887	156409,18	4,78	156413,96	58,152
12	11320	672	2876771	170776,53	6,62	170783,15	63,587
13	10958	720	2894175	190156,04	5,29	190161,34	69,022
14	6245	720	2895668	333837,38	3,51	333840,89	74,457
15	5741	744	2877544	372912,90	6,87	372919,77	79,891
16	5149	744	2881257	416308,40	2,40	416310,80	85,326
17	3024	720	2872368	683897,06	1,28	683898,34	90,761
18	2016	720	2881422	1029079,29	2,18	1029081,47	96,196

Tabela C.2 - Acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento do Cabo Aéreo da Topologia em Anel

COMPONENTE: CABO AÉREO							
Nº de Ordem (i)	Quantidade de Acessos Interrompidos	Hora / Mês	Quantidade Total de Acessos	TTF (h)	TTR (h)	TBF (h)	F(i) %
1	107140	744	288866	2005,95	10,42	2016,37	3,804
2	102618	744	288226	2089,69	23,98	2113,67	9,239
3	91817	744	288785	2340,03	20,69	2360,72	14,674
4	78127	720	289124	2664,49	17,77	2682,26	20,109
5	78618	744	287572	2721,43	10,65	2732,08	25,543
6	69180	720	287824	2995,57	16,76	3012,33	30,978
7	54814	744	287502	3902,35	5,93	3908,28	36,413
8	46775	744	289450	4603,93	19,92	4623,85	41,848
9	36821	744	287682	5812,88	15,93	5828,81	47,283
10	27553	744	289153	7807,81	9,69	7817,50	52,717
11	18586	672	288389	10427,28	7,17	10434,45	58,152
12	16980	672	287677	11385,10	6,58	11391,68	63,587
13	16438	720	289418	12677,07	7,94	12685,01	69,022
14	9368	720	289567	22255,83	5,27	22261,09	74,457
15	8612	744	287754	24860,86	5,01	24865,87	79,891
16	7724	744	288126	27753,89	3,60	27757,49	85,326
17	4536	720	287237	45593,14	1,92	45595,06	90,761
18	3024	720	288142	68605,29	2,54	68607,83	96,196

Tabela C.3 - Acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia em Anel

COMPONENTE: EQUIPAMENTOS DE REDE TRADICIONAIS							
Nº de Ordem (i)	Quantidade de Acessos Interrompidos	Hora / Mês	Quantidade Total de Acessos	TTF (h)	TTR (h)	TBF (h)	F(i) %
1	284256	744	2801095	7331,47	239,42	7570,89	3,804
2	247487	744	2788396	8382,53	181,82	8564,35	9,239
3	228336	744	2786934	9080,82	174,47	9255,29	14,674
4	218326	744	2784404	9488,55	244,19	9732,74	20,109
5	164016	744	2777985	12601,34	147,06	12748,40	25,543
6	103840	672	2794167	18082,44	163,85	18246,29	30,978
7	112456	744	2779401	18388,30	142,88	18531,18	36,413
8	101018	672	2779760	18491,74	121,33	18613,07	41,848
9	104255	744	2800483	19985,22	112,95	20098,17	47,283
10	96768	720	2797580	20815,33	63,23	20878,56	52,717
11	87998	720	2782619	22767,40	96,15	22863,55	58,152
12	76588	720	2800913	26331,25	49,33	26380,58	63,587
13	74752	720	2781035	26786,51	122,10	26908,61	69,022
14	74212	720	2777627	26948,35	72,34	27020,69	74,457
15	67622	744	2794070	30741,30	94,33	30835,63	79,891
16	66528	744	2779451	31083,33	84,17	31167,50	85,326
17	43360	720	2798624	46471,62	112,52	46584,14	90,761
18	30432	744	2796447	68367,40	23,92	68391,32	96,196

Tabela C.4 - Acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento do Equipamento de Rede DWDM da Topologia em Anel

COMPONENTE: EQUIPAMENTO DE REDE DWDM							
Nº de Ordem (i)	Quantidade de Acessos Interrompidos	Hora / Mês	Quantidade Total de Acessos	TTF (h)	TTR (h)	TBF (h)	F(i) %
1	2048	744	92861	33734,66	3,10	33737,76	3,804
2	1024	672	89720	58878,75	2,16	58880,91	9,239
3	576	720	91333	114166,25	4,03	114170,28	14,674
4	512	744	97856	142197,00	5,11	142202,11	20,109
5	412	744	94015	169774,66	1,44	169776,10	25,543
6	256	744	87564	254482,88	3,15	254486,03	30,978
7	260	720	100618	278634,46	2,60	278637,06	36,413
8	232	744	93778	300736,34	2,48	300738,82	41,848
9	192	744	95087	368462,13	3,32	368465,45	47,283
10	128	720	94755	532996,88	4,78	533001,66	52,717
11	128	744	96314	559825,13	3,58	559828,71	58,152
12	92	672	97011	708602,09	2,14	708604,23	63,587
13	96	720	95551	716632,50	2,96	716635,46	69,022
14	77	720	93659	875772,47	3,56	875776,03	74,457
15	83	744	99559	892432,48	1,76	892434,24	79,891
16	64	744	89881	1044866,63	4,59	1044871,22	85,326
17	30	744	95573	2370210,40	1,98	2370212,38	90,761
18	30	720	98803	2371272,00	3,24	2371275,24	96,196

C.2 – TOPOLOGIA PONTO A PONTO

Tabela C.5 - Acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento do Cabo Subterrâneo da Topologia Ponto a Ponto

COMPONENTE: CABO SUBTERRÂNEO							
Nº de Ordem (i)	Quantidade de Acessos Interrompidos	Hora / Mês	Quantidade Total de Acessos	TTF (h)	TTR (h)	TBF (h)	F(i) %
1	42618	744	5764520	100633,60	23,31	100656,91	3,804
2	33135	720	5788350	125775,97	12,31	125788,28	9,239
3	31873	744	5762514	134513,14	17,39	134530,53	14,674
4	18081	744	5783069	237960,04	10,27	237970,31	20,109
5	17015	744	5755089	251647,72	18,32	251666,04	25,543
6	15236	744	5753631	280967,03	21,65	280988,67	30,978
7	9357	672	5767775	414238,26	11,23	414249,49	36,413
8	9700	720	5744735	426430,93	15,45	426446,38	41,848
9	8870	672	5753543	435894,10	10,84	435904,94	47,283
10	8926	744	5777318	481551,04	18,29	481569,33	52,717
11	8211	744	5751431	521138,04	16,23	521154,27	58,152
12	7954	720	5762844	521655,48	11,90	521667,38	63,587
13	7668	744	5788995	561715,86	10,30	561726,16	69,022
14	5469	744	5775696	785751,50	9,13	785760,64	74,457
15	4612	720	5756489	898671,36	8,97	898680,33	79,891
16	4062	744	5750048	1053080,87	21,56	1053102,43	85,326
17	1875	720	5791337	2223636,09	9,56	2223645,65	90,761
18	986	720	5782479	4222499,63	5,51	4222505,14	96,196

Tabela C.6 - Acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento do Cabo Aéreo da Topologia Ponto a Ponto

COMPONENTE: CABO AÉREO							
Nº de Ordem (i)	Quantidade de Acessos Interrompidos	Hora / Mês	Quantidade Total de Acessos	TTF (h)	TTR (h)	TBF (h)	F(i) %
1	63927	744	2882260	33544,53	36,48	33581,01	3,804
2	49703	720	2894175	41925,32	18,47	41943,79	9,239
3	47809	744	2881257	44837,71	26,08	44863,80	14,674
4	27122	744	2891534	79320,01	15,40	79335,42	20,109
5	25523	744	2877544	83882,57	13,92	83896,49	25,543
6	22853	744	2876815	93655,68	32,47	93688,15	30,978
7	14035	672	2883887	138079,42	26,19	138105,61	36,413
8	14549	720	2872368	142143,64	23,17	142166,82	41,848
9	13305	672	2876771	145298,03	23,28	145321,31	47,283
10	13389	744	2888659	160517,01	27,44	160544,45	52,717
11	12317	744	2875715	173712,68	25,24	173737,92	58,152
12	11931	720	2881422	173885,16	19,77	173904,93	63,587
13	11501	744	2894498	187238,62	15,46	187254,08	69,022
14	8203	744	2887848	261917,17	13,70	261930,87	74,457
15	6918	720	2878245	299557,12	15,23	299572,35	79,891
16	6094	744	2875024	351026,96	32,34	351059,30	85,326
17	2813	720	2895668	741212,03	14,34	741226,37	90,761
18	1479	720	2891239	1407499,88	8,26	1407508,14	96,196

Tabela C.7 - Acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia Ponto a Ponto

COMPONENTE: EQUIPAMENTOS DE REDE TRADICIONAIS							
Nº de Ordem (i)	Quantidade de Acessos Interrompidos	Hora / Mês	Quantidade Total de Acessos	TTF (h)	TTR (h)	TBF (h)	F(i) %
1	32664	744	5568842	126843,57	28,14	126871,71	3,804
2	27216	744	5603290	153176,36	9,43	153185,79	9,239
3	19455	720	5567412	206041,47	25,32	206066,79	14,674
4	11976	672	5591520	313752,61	15,07	313767,68	20,109
5	9886	720	5565331	405324,53	21,16	405345,69	25,543
6	8598	744	5576742	482565,22	23,52	482588,74	30,978
7	6812	672	5560537	548543,84	16,18	548560,02	36,413
8	7100	744	5558986	582519,06	32,14	582551,20	41,848
9	2048	744	5556592	2018605,57	7,21	2018612,78	47,283
10	1727	720	5600981	2335093,27	26,32	2335119,59	52,717
11	1462	744	5604416	2852042,24	67,40	2852109,64	58,152
12	1292	744	5585058	3216163,43	5,97	3216169,40	63,587
13	1149	744	5594832	3622763,06	9,70	3622772,76	69,022
14	640	720	5598303	6298090,88	13,67	6298104,55	74,457
15	616	720	5603346	6549365,06	2,43	6549367,49	79,891
16	512	720	5554263	7810682,81	3,44	7810686,25	85,326
17	448	744	5558906	9231754,61	54,32	9231808,93	90,761
18	256	744	5592156	16252203,38	1,10	16252204,48	96,196

Tabela C.8 - Acompanhamento dos Tempos de Bom Funcionamento do Equipamento de Rede DWDM da Topologia Ponto a Ponto

COMPONENTE: EQUIPAMENTO DE REDE DWDM							
Nº de Ordem (i)	Quantidade de Acessos Interrompidos	Hora / Mês	Quantidade Total de Acessos	TTF (h)	TTR (h)	TBF (h)	F(i) %
1	1024	720	190047	133626,80	1,70	133628,50	3,804
2	312	744	195678	466616,77	2,66	466619,43	9,239
3	244	744	177456	541095,34	2,01	541097,35	14,674
4	256	744	191142	555506,44	1,54	555507,98	20,109
5	128	720	187991	1057449,38	1,45	1057450,83	25,543
6	126	720	197513	1128645,71	0,78	1128646,49	30,978
7	112	720	177323	1139933,57	1,02	1139934,59	36,413
8	116	744	188237	1207313,17	0,69	1207313,86	41,848
9	96	672	176255	1233785,00	1,65	1233786,65	47,283
10	92	744	184579	1492682,35	0,33	1492682,68	52,717
11	94	720	202226	1548965,11	1,01	1548966,12	58,152
12	78	744	192445	1835629,23	1,98	1835631,21	63,587
13	74	744	198497	1995699,57	0,56	1995700,13	69,022
14	64	672	193006	2026563,00	1,12	2026564,12	74,457
15	64	744	183540	2133652,50	0,42	2133652,92	79,891
16	56	744	176889	2350096,71	2,34	2350099,05	85,326
17	32	744	174028	4046151,00	0,89	4046151,89	90,761
18	30	720	181498	4355952,00	0,88	4355952,88	96,196

ANEXO D – GRÁFICO DE WEIBULL PARA ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DOS COMPONENTES DA REDE EXTERNA ÓPTICA E EQUIPAMENTOS DE REDE DAS TOPOLOGIAS ANALISADAS

Com as tabelas de acompanhamento dos tempos de bom funcionamento descritas no Anexo C, são traçados os gráficos de Weibull. A partir destes gráficos, são determinados os três parâmetros de Weibull¹, através do algoritmo descrito no Anexo B.

Neste anexo, são mostrados os gráficos de Weibull, os seus parâmetros determinados, as curvas de Confiabilidade, Probabilidade de Falha, Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha para os componentes da Rede Externa Óptica e Equipamentos de Rede das topologias analisadas.

¹ A determinação dos três parâmetros de Weibull foi realizada através do software Excel da Microsoft Office 2000.

D.1 – TOPOLOGIA EM ANEL

D.1.1 – CABO SUBTERRÂNEO

Figura D.1. Gráfico de Weibull do Cabo Subterrâneo da Topologia em Anel

Parâmetros de Weibull do Cabo Subterrâneo da Topologia em Anel:

$\gamma = 38951$ horas; $\eta = 259552$ horas e $\beta = 0,469$

Figura D.2. Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha do Cabo Subterrâneo da Topologia em Anel

Figura D.3. Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha do Cabo Subterrâneo da Topologia em Anel

D.1.2 – CABO AÉREO

Figura D.4. Gráfico de Weibull do Cabo Aéreo da Topologia em Anel

Parâmetros de Weibull do Cabo Aéreo da Topologia em Anel:

$\gamma = 2416$ horas; $\eta = 22043$ horas e $\beta = 0,440$

Figura D.5. Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha do Cabo Aéreo da Topologia em Anel

Figura D.6. Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha do Cabo Aéreo da Topologia em Anel

D.1.3 – EQUIPAMENTOS DE REDE TRADICIONAIS

Figura D.7. Gráfico de Weibull dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia em Anel

Parâmetros de Weibull dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia em Anel:

$$\gamma = 17091 \text{ horas}; \eta = 8702 \text{ horas e } \beta = 0,576$$

Figura D.8. Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia em Anel

Figura D.9. Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia em Anel

D.1.4 – EQUIPAMENTO DE REDE DWDM

Figura D.10. Gráfico de Weibull do Equipamento de Rede DWDM da Topologia em Anel

Parâmetros de Weibull do Equipamento de Rede DWDM da Topologia em Anel:

$\gamma = 69215$ horas; $\eta = 684316$ horas e $\beta = 0,860$

Figura D.11. Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha do Equipamento de Rede DWDM da Topologia em Anel

Figura D.12. Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha do Equipamento de Rede DWDM da Topologia em Anel

D.2 – TOPOLOGIA PONTO A PONTO

D.2.1 – CABO SUBTERRÂNEO

Figura D.13. Gráfico de Weibull do Cabo Subterrâneo da Topologia Ponto a Ponto

Parâmetros de Weibull do Cabo Subterrâneo da Topologia Ponto a Ponto:

$\gamma = 420852$ horas; $\eta = 891716$ horas e $\beta = 0,275$

Figura D.14. Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha do Cabo Subterrâneo da Topologia Ponto a Ponto

Figura D.15. Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha do Cabo Subterrâneo da Topologia Ponto a Ponto

D.2.2 – CABO AÉREO

Figura D.16. Gráfico de Weibull do Cabo Aéreo da Topologia Ponto a Ponto

Parâmetros de Weibull do Cabo Aéreo da Topologia Ponto a Ponto:

$\gamma = 135692$ horas; $\eta = 299770$ horas e $\beta = 0,261$

Figura D.17. Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha do Cabo Aéreo da Topologia Ponto a Ponto

Figura D.18. Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha do Cabo Aéreo da Topologia Ponto a Ponto

D.2.3 – EQUIPAMENTOS DE REDE TRADICIONAIS

Figura D.19. Gráfico de Weibull dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia Ponto a Ponto

Parâmetros de Weibull dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia Ponto a

Ponto:

$\gamma = 189089$ horas; $\eta = 5241131$ horas e $\beta = 0,470$

Figura D.20. Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia Ponto a Ponto

Figura D.21. Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia Ponto a Ponto

D.2.4 – EQUIPAMENTO DE REDE DWDM

Figura D.22. Gráfico de Weibull do Equipamento de Rede DWDM da Topologia Ponto a Ponto

Parâmetros de Weibull do Equipamento de Rede DWDM da Topologia Ponto a Ponto:

$\gamma = 860043$ horas; $\eta = 993001$ horas e $\beta = 0,853$

Figura D.23. Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha do Equipamento de Rede DWDM da Topologia Ponto a Ponto

Figura D.24. Curvas de Taxa Instantânea de Falha e Densidade de Probabilidade de Falha do Equipamento de Rede DWDM da Topologia Ponto a Ponto

ANEXO E – GRÁFICO DE WEIBULL PARA ANÁLISE DA MANUTENABILIDADE DOS COMPONENTES DA REDE EXTERNA ÓPTICA E EQUIPAMENTOS DE REDE DAS TOPOLOGIAS ANALISADAS

Com as tabelas de acompanhamento dos tempos técnicos de reparo descritas no Anexo C, são traçados os gráficos de Weibull. A partir destes gráficos, são determinados os três parâmetros de Weibull¹, através do algoritmo descrito no Anexo B.

Neste anexo, são mostrados os gráficos de Weibull, os seus parâmetros determinados, as curvas de Manutenibilidade, Probabilidade de Reparo, Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo para os componentes da Rede Externa Óptica e Equipamentos de Rede das topologias analisadas.

¹ A determinação dos três parâmetros de Weibull foi realizada através do software Excel da Microsoft Office 2000.

E.1 – TOPOLOGIA EM ANEL

E.1.1 – CABO SUBTERRÂNEO

Figura E.1. Gráfico de Weibull do Cabo Subterrâneo da Topologia em Anel

Parâmetros de Weibull do Cabo Subterrâneo da Topologia em Anel:

$\gamma = 3,88$ horas; $\eta = 5,76$ horas e $\beta = 0,655$

Figura E.2. Curva de Manutenibilidade do Cabo Subterrâneo da Topologia em Anel

Figura E.3. Curvas de Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo do Cabo Subterrâneo da Topologia em Anel

E.1.2 – CABO AÉREO

Figura E.4. Gráfico de Weibull do Cabo Aéreo da Topologia em Anel

Parâmetros de Weibull do Cabo Aéreo da Topologia em Anel:

$\gamma = 3,97$ horas; $\eta = 9,91$ horas e $\beta = 0,738$

Figura E.5. Curva de Manutabilidade do Cabo Aéreo da Topologia em Anel

Figura E.6. Curvas de Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo do Cabo Aéreo da Topologia em Anel

E.1.3 – EQUIPAMENTOS DE REDE TRADICIONAIS

Figura E.7. Gráfico de Weibull dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia em Anel

Parâmetros de Weibull dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia em Anel:

$\gamma = 72,56$ horas; $\eta = 73,65$ horas e $\beta = 0,878$

Figura E.8. Curva de Manutenibilidade dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia em Anel

Figura E.9. Curvas de Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia em Anel

E.1.4 – EQUIPAMENTO DE REDE DWDM

Figura E.10. Gráfico de Weibull do Equipamento de Rede DWDM da Topologia em Anel

Parâmetros de Weibull do Equipamento de Rede DWDM da Topologia em Anel:

$\gamma = 1,73$ horas; $\eta = 2,03$ horas e $\beta = 0,999$

Figura E.11. Curva de Manutabilidade do Equipamento de Rede DWDM da Topologia em Anel

Figura E.12. Curvas de Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo do Equipamento de Rede DWDM da Topologia em Anel

E.2 – TOPOLOGIA PONTO A PONTO

E.2.1 – CABO SUBTERRÂNEO

Figura E.13. Gráfico de Weibull do Cabo Subterrâneo da Topologia Ponto a Ponto

Parâmetros de Weibull do Cabo Subterrâneo da Topologia Ponto a Ponto:

$\gamma = 9,75$ horas; $\eta = 6,67$ horas e $\beta = 0,514$

Figura E.14. Curva de Manutenabilidade do Cabo Subterrâneo da Topologia Ponto a Ponto

Figura E.15. Curvas de Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo do Cabo Subterrâneo da Topologia Ponto a Ponto

E.2.2 – CABO AÉREO

Figura E.16. Gráfico de Weibull do Cabo Aéreo da Topologia Ponto a Ponto

Parâmetros de Weibull do Cabo Aéreo da Topologia Ponto a Ponto:

$\gamma = 13,77$ horas; $\eta = 12,81$ horas e $\beta = 0,560$

Figura E.17. Curva de Manutabilidade do Cabo Aéreo da Topologia Ponto a Ponto

Figura E.18. Curvas de Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo do Cabo Aéreo da Topologia Ponto a Ponto

E.2.3 – EQUIPAMENTOS DE REDE TRADICIONAIS

Figura E.19. Gráfico de Weibull dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia Ponto a Ponto

Parâmetros de Weibull dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia Ponto a Ponto:

$$\gamma = 7,98 \text{ horas}; \eta = 25,65 \text{ horas e } \beta = 0,445$$

Figura E.20. Curva de Manutenibilidade dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia Ponto a Ponto

Figura E.21. Curvas de Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo dos Equipamentos de Rede Tradicionais da Topologia Ponto a Ponto

E.2.4 – EQUIPAMENTO DE REDE DWDM

Figura E.22. Gráfico de Weibull do Equipamento de Rede DWDM da Topologia Ponto a Ponto

Parâmetros de Weibull do Equipamento de Rede DWDM da Topologia Ponto a Ponto:

$\gamma = 0,46$ horas; $\eta = 1,23$ horas e $\beta = 0,867$

Figura E.23. Curva de Manutenibilidade do Equipamento de Rede DWDM da Topologia Ponto a Ponto

Figura E.24. Curvas de Taxa Instantânea de Reparo e Densidade de Probabilidade de Reparo do Equipamento de Rede DWDM da Topologia Ponto a Ponto