

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Luis Antonio França Silva

Operadora Ethernet de Serviço Metropolitano

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Marbey Manhães Mosso

Rio de Janeiro

Abril de 2005



Luis Antonio França Silva

Operadora Ethernet de Serviço Metropolitano

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Marbey Manhães Mosso

Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. Abelardo Podcameni

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. Ricardo Guerra Pereira

UERJ

Prof. Manoel Alberto Rodrigues Neto

PROLAN

Prof. Gláucio Lima Siqueira

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 28 de abril de 2005

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Luis Antonio França Silva

Graduado em Engenharia Elétrica, em 1994, pela Universidade Veiga de Almeida. Membro do corpo técnico da INFRAERO desde 1987, desenvolve projetos de infraestrutura aeroportuária. Professor da Universidade Estácio de Sá.

Ficha Catalográfica

Silva, Luis Antonio França

Operadora Ethernet de Serviços Metropolitanos: desenvolvimento de uma operadora de serviço metropolitano de telecomunicação baseado na tecnologia Ethernet / Luis Antonio França Silva; orientador: Marbey Manhães Mosso. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2005.

98 f.; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Elétrica – Teses. 2. Ethernet. 3. Rede de computadores. 4. Fibra óptica. I. Mosso, Marbey Manhães. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Aos meus filhos, Luis Felipe e Lucas,
que nasceram para me mostrar
a verdadeira razão por estar vivo.

Agradecimentos

À PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Ao Prof. Julio César Medeiros que é minha referência de educador, líder e amigo que me conduziu para essa conquista profissional.

Ao Prof. Flavio José Vieira Hasselmann, Diretor do CETUC, pelos auxílios concedidos.

Ao meu orientador Prof. Marbey M. Mosso por sua dedicação e competência, sem as quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

A dedicada equipe de professores do CETUC/PUC-Rio.

Aos meus pais que me nortearam com muito amor e dedicação em todos os momentos difíceis de minha vida e a pela educação que me ofereceram.

Ao Júlio Ramos pela colaboração na edição deste trabalho.

Ao meu antigo chefe Engenheiro Marcio Cavalcante Almeida e à atual chefe Arquiteta Esther Fernanda dos Santos Souza Peixoto, cuja compreensão, e devido à minha ausência, foi de fundamental importância, e aos amigos da INFRAERO pelo companheirismo.

Resumo

Silva, Luis Antonio França; Mosso, Marbey Manhães. **Operadora Ethernet de Serviço Metropolitano**. Rio de Janeiro, 2005. 98p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho apresenta as principais características de um sistema telefônico de voz baseado na tecnologia TDM e de um sistema de comunicações ópticas baseado em no protocolo Ethernet. Os dois sistemas são comparados economicamente. A solução Ethernet foi então escolhida e avaliada para ser instalada priorizando sua utilização na área central do Rio de Janeiro em aplicações corporativas. Aplicações residenciais também foram avaliadas, com menor ênfase.

Palavras-chave

Ethernet, Rede de Computadores, Fibra Óptica, SONET, SDH, WDM, DWDM.

Abstract

Silva, Luis Antonio França; Mosso, Marbey Manhães. **Metropolitan Service Ethernet Operator**. Rio de Janeiro, 2005. 98p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work shows the legacy telephone system and optical communication system based on the Ethernet protocol major characteristics, compares both in technical and economically aspects. Then, the implementation of an optical network based on the Ethernet protocol in some areas of Rio de Janeiro is assessed.

Keywords

Ethernet, Computer Network, Optical Fiber, SONET, SDH, WDM, DWDM.

Sumário

| | |
|---|----|
| 1. Introdução | 15 |
| 1.1. Principais Objetivos da Presente Dissertação | 17 |
| 1.2. Organização do presente trabalho | 17 |
| 2. Implementação de Redes Ethernet e Padrões de Infra-Estrutura Telefônica Legada | 18 |
| 2.1. Introdução aos padrões TDM | 18 |
| 2.2. Elementos Básicos da Tecnologia Ethernet | 26 |
| 2.2.1. Descrição do Quadro Ethernet | 26 |
| 2.2.2. Ethernet compartilhada | 27 |
| 2.2.3. Ethernet comutada x Ethernet compartilhada | 28 |
| 2.3. Comparação Ethernet versus SDH/TDM | 30 |
| 2.3.1. Eficiência de utilização da capacidade disponível | 30 |
| 2.3.2. Tecnologia <i>SWITCHED ETHERNET</i> e Tecnologia IP | 31 |
| 2.3.3. <i>Oversubscription</i> de assinantes | 32 |
| 2.4. Flexibilidade, Topologia, Retardo, Jitter e Custo | 34 |
| 2.5. Comentários e conclusões | 37 |
| 3. A Ethernet Óptica: Introdução, descrição e aplicações | 39 |
| 3.1. Histórico, definições e topologias | 39 |
| 3.2. Ethernet Óptica em Redes Metropolitanas | 44 |
| 3.2.1. <i>Metrolans</i> e <i>Metrocans</i> | 44 |
| 3.2.2. Infraestruturas Metropolitana e plataforma Ethernet óptica | 46 |
| 3.3. Principais Aplicações da Ethernet Óptica | 47 |
| 3.3.1. LANs e VLANs | 47 |
| 3.3.2. TLAN (Transparent Local Área Networks) | 49 |
| 3.3.3. Acesso a Internet em Alta Velocidade | 51 |
| 3.3.4. Conexão entre pontos de presença | 51 |
| 3.3.5. Rede dedicada ao Armazenamento da Informação (SAN, Storage Área Network) | 51 |
| 3.3.6. Redes 10 Gbps com Tecnologia Ethernet | 53 |
| 3.4. Ethernet Óptica: Soluções exclusivas, Soluções associadas aos padrões TDM e serviços legados. Utilização dos protocolos SRP/DTP e avaliação das classes de serviço (CoS) e qualidade de serviço (QoS) resultante | 54 |
| 3.4.1. Considerações envolvendo redes legadas e novas aplicações | 54 |
| 3.5. Ethernet Óptica: QoS, Proteção, Restauração e Soluções RPR | 57 |
| 3.6. Comentários e conclusões | 59 |
| 4. Avaliação econômica de capital a ser investido, custo operacional, retorno do capital de uma rede na região metropolitana do Rio de Janeiro | 60 |
| 4.1. Avaliação econômica da região metropolitana do Rio de Janeiro | 60 |
| 4.2. Surgimento de Provedores de Serviço Baseado na tecnologia Ethernet Óptica | 69 |
| 4.3. Configuração de um Provedor de Serviços Ethernet | 71 |
| 4.3.1. SLA e infra-estrutura | 71 |
| 4.3.2. Descrição dos Pontos de Presença e investimentos de capital em equipamentos | 74 |

| | |
|--|----|
| 4.3.2.1. Detalhamento do Anel Expresso | 74 |
| 4.3.2.2. Investimento de Capital em equipamentos do anel expresso | 76 |
| 4.3.2.3. Detalhamento do Anel Metropolitano | 77 |
| 4.3.2.4. Investimento de capital em equipamentos do anel Metropolitano | 79 |
| 4.3.2.5. Investimento de Capital para possibilitar acesso na região da Barra da Tijuca | 81 |
| 4.3.2.6. Investimento de Capital para Possibilitar acesso a Cidade de São Paulo | 81 |
| 4.3.2.7. Resumo dos Investimentos de Capital | 82 |
| 4.3.3. Investimento / aluguel em Infra-Estrutura | 82 |
| 4.3.3.1. Avaliação do custo de fibras na região do anel expresso | 83 |
| 4.3.3.2. Anel Metropolitano com 27,1 km | 83 |
| 4.3.3.3. Aluguel de dois canais de 1 Gbps entre as Cidades do Rio de Janeiro e São Paulo | 83 |
| 4.3.3.4. Hospedagem da infra-estrutura do Anel Expresso e Metropolitano | 84 |
| 4.3.3.5. Hospedagem em São Paulo | 84 |
| 4.3.3.6. Aluguel da Sede Operacional | 84 |
| 4.3.4. Investimento de Capital em Manutenção e Operação | 85 |
| 4.3.5. Investimento de Capital em Gerenciamento de Telecomunicação | 86 |
| 4.3.6. Investimento Total | 86 |
| 4.4. Tarifação e retorno dos investimentos | 87 |
| 4.4.1. Tarifação de Anel Expresso | 87 |
| 4.4.2. Tarifação do Anel Metropolitano | 87 |
| 4.4.3. Comentários e conclusões do Capítulo | 88 |
| 5. Comentários finais e Conclusões | 89 |
| 5.1. Principais características do modelo de negócios desenvolvido | 89 |
| 5.2. Observações finais: | 90 |
| 5.3. Principais resultados obtidos | 91 |
| 6. Referências Bibliográficas | 93 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1: Processo de digitalização de sinal analógico de voz. | 19 |
| Figura 2: MUX. SDH: A formação de um canal E ₁ através de 30 canais de voz digitalizados. | 20 |
| Figura 3: Hierarquização de tráfego no padrão SDH. | 21 |
| Figura 4: Hierarquização de tráfego no padrão SONET. | 22 |
| Figura 5: Pacote STM-1. | 23 |
| Figura 6: Ativação de uma conexão STM-1/155 Mbps destacando seu quadro constituído por uma estrutura matricial de 09x270 bytes como duração total de 125 µs, correspondente a 51,44 ns por byte. Quando 63 E ₁ 's contendo um total de 1830 canais de voz são considerados, cada canal de voz corresponderá a um byte. | 24 |
| Figura 7: Conexão de 1830 canais de voz via STM-1 utilizando a rota indicada. | 24 |
| Figura 8: Hierarquia do tráfego tributário para a formação de um quadro STM-1/155 Mbps. | 25 |
| Figura 9: Pacote Ethernet padrão IEEE 802.3. | 26 |
| Figura 10: Funções de um comutador (SWITCH) indicando funcionalidades de formação de filas, controle de fluxo, controle de conexão entre as portas e conexão <i>full-duplex</i> em cada porta. | 29 |
| Figura 11: Conexão SDH. | 32 |
| Figura 12: Conexão SDH/SONET. | 33 |
| Figura 13: Conexão Ethernet ativada na mesma taxa de uma conexão STM-1 utilizando as funcionalidades de armazenamento, enfileiramento, contingenciamento de banda passante, etc., para implementação de <i>oversubscription</i> . | 34 |
| Figura 14: Utilização de soluções SDH/SONET com 45 enlaces para obtenção de conectividade total. | 35 |
| Figura 15: Utilização de soluções Ethernet com 24 enlaces para obtenção de conectividade total. | 36 |
| Figura 16: Configuração Metropolitana utilizando CWDM, Topologia em anel e Tecnologia Gigabit Ethernet. | 40 |
| Figura 17: Conexão entre redes locais e metropolitanas e de longa distância utilizando as tecnologias Ethernet em 1 Gbps e 10 Gbps. Os anéis locais cobrem áreas com 2 km, os anéis metropolitanos podem possuir um diâmetro de 100 km e a conexão <i>intercity</i> utiliza distâncias típicas de 500 km, mas podem atender distâncias muito superiores. | 41 |
| Figura 18: Configuração de protocolos/TDM e solução Ethernet. | 43 |
| Figura 19: Topologia estrela com redundância para utilização do protocolo IEEE 802.1d. | 45 |
| Figura 20: Agregação de tráfego com 40 servidores através de um switch de 40 portas. Os usuários 1, 7 e 12 na área "A" e 1, 6, 11, 16 e 21 da área "C" formam uma VLAN. | 48 |
| Figura 21: Pacote Ethernet padrão IEEE 802.3 com VLAN. | 49 |
| Figura 22: Configuração de uma rede Metropolitana onde as redes locais A e A formam uma TLAN. | 50 |
| Figura 23: Configuração de camadas Gigabits Ethernet, 10 Gigabits Ethernet e RPR. | 57 |
| Figura 24: Rendimento Médio Mensal do Responsável pelo Domicílio | 61 |
| Figura 25: Distribuição de População. | 62 |

| | |
|---|----|
| Figura 26: O índice de desenvolvimento humano/geral é a média dos Índices de Desenvolvimento Humano/Renda/Educação/Longevidade. | 62 |
| Figura 27: Número de Domicílios com Microcomputador. | 63 |
| Figura 28: Distribuição, percentual, do tipo de imóveis nas regiões correspondentes as RA Centro, Botafogo, Lagoa, Copacabana. | 66 |
| Figura 29: Distribuição, percentual, do tipo de imóveis na região correspondente a RA Centro. | 67 |
| Figura 30: Distribuição, percentual, do tipo de imóveis nas regiões correspondentes as RA Centro, Botafogo, Lagoa, Copacabana em relação à cidade do Rio de Janeiro. | 68 |
| Figura 31: Distribuição, percentual, do tipo de imóveis na região correspondente a RA Centro em relação à cidade do Rio de Janeiro. | 68 |
| Figura 32: Rede de Fibra Óptica na cidade do Rio de Janeiro. | 69 |
| Figura 33: Rede de Fibra Óptica proposta. | 73 |
| Figura 34: Configuração do POP do anel expresso. Os trechos em fibra multimodo localizados entre as premissas dos assinantes e o primeiro <i>switch</i> de agregação e entre este último e o POP expresso possuem um comprimento médio de 200 metros. | 74 |
| Figura 35: Switch de agregação situado no POP expresso. Embora apenas 08 portas serão utilizadas, avaliou-se o custo deste elemento de rede considerando-se 10 portas. | 76 |
| Figura 36: Configuração do POP do anel Metropolitano. Os trechos em fibra multimodo localizados entre as premissas dos assinantes e o primeiro <i>switch</i> de agregação e entre este último e o POP metropolitano possuem um comprimento médio de 200 metros. | 78 |
| Figura 37: <i>Switch</i> de agregação do anel Metropolitano. | 79 |

Lista de tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Comparação entre os serviços oferecidos pelas tecnologias ATM/SDH/SONET e ETHERNET nas redes metropolitanas e longa distância. | 38 |
| Tabela 2: Arrecadação do Imposto sobre Serviços de qualquer natureza, ISS, por subgrupos de atividade, segundo as Áreas de Planejamento e Regiões Administrativas – 1999. | 64 |
| Tabela 3: Número de unidades e área por tipo de utilização de imóvel. | 65 |
| Tabela 4: Relação entre os tipos de utilização dos imóveis e os totais das RAS. | 65 |
| Tabela 5: Relação entre os tipos de utilização dos imóveis e os totais da cidade do Rio de Janeiro. | 65 |
| Tabela 6: Custo dos equipamentos no anel expresso. | 76 |
| Tabela 7: Custo de construção da infraestrutura de fibras entre as premissas dos assinantes até o primeiro switch de agregação e entre este e o POP expresso, considerando os 07 POPs e o custo de R\$ 140,00 / Metro. | 77 |
| Tabela 8: Custo dos equipamentos no anel metropolitano. | 80 |
| Tabela 9: Custo de construção da infra-estrutura de fibras entre as premissas dos assinantes até o primeiro switch de agregação e entre este e o POP metropolitano, considerando os 08 POPs, o POP externo e o custo de R\$ 140,00 / Metro. | 80 |
| Tabela 10: Resumo dos investimentos em equipamentos, infra-estrutura de fibras para acesso local e depreciação. | 82 |
| Tabela 11: Investimento total em infra-estrutura – sede operacional. | 85 |
| Tabela 12: Investimento de capital em manutenção e operação. | 85 |
| Tabela 13: Investimento de capital em gerenciamento de telecomunicação. | 86 |
| Tabela 14: Investimento total. | 86 |

Lista de abreviaturas

10GEA – 10 Gigabit Ethernet Alliance
ASIC – Application-Specific Integrated Circuit
ASP – Applied Service Provider
ATM – Asynchronous Transfer Mode
BLEC – Building Local Exchange Carriers
bps – Bits per Second
CAN – Campus Area Network
CEPTn – Committee of European Postal & Telephone n
CLEC – Competitive Local Exchange Carriers
CO – Central Offices
CoS – Class of Service
CRC – Cyclic Redundancy Code
CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
CWDM – Coarse Wave Division Multiplexing
DARPA – Defense Advanced Research Projects Agency
DEMUX – Demultiplexador
DPT – Dynamic Packet Transport
DS0 – Digital Signal Zero
DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing
E₁ – European format for digital transmission
ELEC – Ethernet Local Exchange Carriers
EPL – Ethernet Private Line
FIFO – First In, First Out
FPGA – Field-Programmable Gate Array
GbE – Gigabit Ethernet
Gbps – Gigabits per Second
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF – Internet Engineering Task Force
ILEC – Incumbent Local Exchange Carriers
IP – Internet Protocol
ISP – Internet Service Provider
ISS – Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza
kbps – Kilobits per Second
km – quilômetro
LAN – Local Area Network
LAN PHY – LAN Physical Layer
m² – metro quadrado
MAC – Médium access control
MAN – Metropolitan Area Network
Mbps – Megabits por segundo
METRO – Metropolitana
MII – Media Independent Interface
MMF – Multi-Mode Glass Fiber
MUX – Multiplexador
nm – Nanômetro
ns – Nanosegundo
Oc-n - Optical Carrier n
STS-n – Synchronous Transfer Signal n
OLEC – Optical Local Exchange Carriers
POP – Point of Presence

POS – Packet over SONET
PPP – Point to Point Protocol
QoS – Quality of Service
R\$ – Real
RA – Região Administrativa
RFC – Request for Comments
RPR – Resilient Packet Ring
SAN – Storage Area Network
SDH – Synchronous Digital Hierarchy
SLA – Service Level Agreement
SMF – Single Mode glass Fiber
SONET – Synchronous Optical Network
SRP – Spatial Reuse Protocol
SS7 – Signaling System No. 7
STM-n – Synchronous Transfer Module – n
Tbps – Terabits per Second
TCI – Tag Control Information
TCP - Transmission Control Protocol
TDM - Time Division Multiplexing
TDPI – Tag Protocol Identifier
TLAN – Transparent Local Area Network
Tn – American format for digital transmission
US\$ – Dólares Americanos
USA – United States of America
UTP – Unshielded Twisted Pair
VC – Virtual Channel
VLAN – Virtual Local Area Network
VLSI – Very Large Scale Integration
VP – Virtual Path
VPN – Virtual Private Network
WAN – Wide Area Network
WAN PHY – WAN Physical Layer
WDM – Wave Division Multiplexing
WWW – World Wide Network
X. 25 – Standard for Packet- switching Networks
 μ s – microsegundo