

**Diego Rodrigo Villafani Caballero**

**Supervisão de redes ópticas passivas  
WDM-PON**

**Dissertação de Mestrado**

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

Orientador: Prof. Jean Pierre Von Der Weid

Rio de Janeiro  
Agosto de 2013



**Diego Rodrigo Villafani Caballero**

**Supervisão de redes ópticas passivas  
WDM-PON**

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. Jean Pierre Von Der Weid**

Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações – PUC-Rio

**Prof. Guilherme Penello Temporão**

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

**Prof. Christiano José Santiago de Matos**

UPM

**Prof. Giancarlo Vilela de Faria**

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do

Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 14 de Agosto de 2013

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

### **Diego Rodrigo Villafani Caballero**

Graduou-se em Engenharia de Telecomunicações na Universidade Católica Boliviana "San Pablo" (La Paz, Bolívia). Desenvolveu junto com seu orientador durante o Mestrado ferramentas de monitoramento para redes de Fibra Óptica.

#### Ficha Catalográfica

Villafani Caballero, Diego Rodrigo

Supervisão de redes ópticas passivas WDM-PON/ Diego Rodrigo Villafani Caballero; orientador: Jean Pierre Von Der Weid. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2013.

71 f: il.(color.) ; 30 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Elétrica – Tese. 2. Redes Ópticas Passivas  
3. Monitoramento de redes PON I. Von Der Weid, Jean Pierre. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

## Agradecimentos

Primeiramente a Deus, por guia-me no caminho e me acompanhar sempre.

Ao meu orientador o Professor Jean Pierre Von Der Weid pelo apoio, ensinamentos, e confiança para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos do laboratorio, Giancarlo, Djeisson, Andrew, Gustavo, Douglas, Luis e Andrey pela amizade e ajuda no projeto.

Ao pessoal do laboratório de Optoeletrônica pelo apoio e amizade.

Ao CNPq, CAPES, Ericsson e à PUC–Rio, pelos auxílios concedidos.

Aos meus pais Jaime e Lourdes pelo apoio incondicional, amor e paciência.

Às minhas irmãs Carolina, Alejandra e ao meu cunhado Sergio pelo apoio e amor.

Aos meus amigos da PUC–Rio, que fizeram de minha estadia uma coisa mais agradável.

Aos professores e funcionários do CETUC pelos ensinamentos e apoio.

Aos meus irmãos Mauricio e Daniel por muitas coisas.

À minha família da Bolívia pelo apoio.

Aos meus tios Jaime e Sofia pelo apoio e amizade.

## Resumo

Villafani Caballero, Diego Rodrigo; Von Der Weid, Jean Pierre. **Supervisão de redes ópticas passivas WDM-PON**. Rio de Janeiro, 2013. 71p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

As redes ópticas passivas de nova geração 2 (NG-PON2) estão estudando e considerando o WDM-PON (*Wavelength-Division-Multiplexed Passive Optical Networks*) como a nova arquitetura para as redes de acesso, é provável que esta arquitetura seja adotada num futuro como o padrão. No entanto, algumas instalações já foram realizadas em todo o mundo, a maior parte delas na Coreia do Sul. Com o objetivo de reduzir os custos de operação (OPEX) e garantir a qualidade do serviço (QoS) um sistema de supervisão e localização de falhas é necessário.

Neste trabalho é proposto e demonstrado um OTDR sintonizável (*Optical Time-Domain Reflectometer*) para realizar o monitoramento de redes WDM-PON em serviço. O método apresentado é provado para diferentes fontes laser sintonizáveis CW (*Continuous Wave*) e utiliza um amplificador óptico semiconductor (SOA) como comutador para o sinal de prova. O sistema de monitoramento é provado experimentalmente numa rede WDM-PON simulada no laboratório a qual utiliza um AWG (*Arrayed Waveguide Grating*) como distribuidor. Os resultados foram melhorados utilizando diferentes métodos para mitigar os efeitos de interferência.

## Palavras-chave

Rede Óptica Passiva Multiplexada por divisão de comprimentos de onda(WDM-PON); Refletômetro óptico no domínio do tempo(OTDR); OTDR sintonizável; Amplificador Semicondutor Óptico(SOA); Arrayed Waveguide Grating (AWG)

## Abstract

Villafani Caballero, Diego Rodrigo; Von Der Weid, Jean Pierre(Advisor). **WDM-PON passive optical networks monitoring**. Rio de Janeiro, 2013. 71p. MSc. Dissertation — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The Next Generation Passive Optical Network 2 (NG-PON2) is considering and studying wavelength-division-multiplexed passive optical networks (WDM-PONs) as the new architecture for access networks, this architecture is likely to be adopted in near future as standard. However some deployments have been achieved worldwide, most of them in South Korea. In order to lower the operational expenditure (OPEX) and guarantee quality-of-service (QoS) an in-service monitoring and fault localization system is required.

We propose and demonstrate a tunable optical time-domain reflectometer (T-OTDR) for in-service monitoring of (WDM-PONs). The proposed method is proved for different continuous wave tunable laser sources (CW TLS), and uses semiconductor optical amplifier (SOA) as a switch for the probe signal. This monitoring system is experimentally proved in a simulated WDM-PON employing a cyclic AWG (Arrayed Waveguide Grating) as wavelength distributor. We improve the results using different methods to mitigate the interference effects.

## Keywords

Wavelength-Division-Multiplexed Passive Optical Network (WDM-PON); Optical Time-Domain Reflectometer (OTDR); Tuneable OTDR; Semiconductor Optical Amplifier (SOA); Arrayed Waveguide Grating (AWG)

# Sumário

1	Introdução	11
2	Aspectos Teóricos	15
2.1	Redes PON	15
2.2	Supervisão de redes PON	21
3	Montagem experimental	38
3.1	AWG	38
3.2	Modulador/Comutador SOA	40
3.3	OTDR Comercial	42
3.4	OTDR Filtrado	42
3.5	OTDR sintonizável	43
4	Resultados	45
4.1	Monitoramento WDM-PON utilizando a ASE de um OTDR comercial	45
4.2	Monitoramento filtrando a ASE do OTDR comercial	46
4.3	Monitoramento utilizando um OTDR sintonizável	48
4.4	Supervisão de uma rede WDM-PON	53
4.5	BER durante a Medição	55
5	Conclusões	60
A	Lista de acrônimos	66

## Lista de figuras

2.1	Arquitetura TDM-PON básica.	15
2.2	Arquitetura WDM-PON básica.	16
2.3	Resumo dos cenários propostos de XG-PON ( G.987.1) [8].	19
2.4	Tendências provisórias da evolução das redes PON [12].	20
2.5	Diagrama de blocos do funcionamento do OTDR.	23
2.6	Traço típico de um OTDR com os principais eventos [15].	24
2.7	Faixa dinâmica e Alcance de Medida [15] (Pg.442).	25
2.8	Zona morta de atenuação e zona morta do evento [15] (pg.443).	26
2.9	Diferença entre resolução e SNR para comprimentos de pulso diferentes [15] (pg.445).	27
2.10	Exemplo de uma Reflexão Fantasma [15] (Pag.446).	28
2.11	Bypass Ativo no CO e no RN [3].	30
2.12	Bypass Passivo utilizando um T-OTDR [3].	30
2.13	Análise Global [3].	32
2.14	Sistema de Supervisão Baseado em Refletores de Referência [17].	32
2.15	Princípio de Funcionamento do Sistema de Supervisão utilizando um BOTDR [17].	33
2.16	Supervisão utilizando um filtro DWDM [26].	34
2.17	Diagrama de blocos para o monitoramento reutilizando as fontes de downstream [27].	35
2.18	Sintonização e amplificação do comprimento de onda do SL-RSOA [29].	36
2.19	Montagem experimental do TOTDR baseado em SL-RSOA [29].	36
2.20	Cenário proposto para localização de falha com um F-P LD como luz de prova [30].	37
3.1	Espectro de transmissão do AWG para diferentes bandas.	39
3.2	Espectro de transmissão de um canal do AWG.	39
3.3	Espectro ASE do SOA para diferentes Correntes Quiescentes CW.	40
3.4	Espectro da ASE do SOA para diferentes correntes de pico pulsadas.	41
3.5	Montagem experimental do OTDR comercial para realizar o monitoramento de redes WDM-PON.	42
3.6	Montagem experimental do OTDR filtrado para realizar o monitoramento de redes WDM-PON.	43
3.7	Montagem experimental do OTDR sintonizável para realizar o monitoramento de redes WDM-PON.	43
3.8	Modelo eletrônico do driver.	44
4.1	Espectro do OTDR na banda U.	45
4.2	Monitoramento de uma rede WDM-PON utilizando um OTDR convencional.	46
4.3	OTDR filtrado para monitoramento de redes WDM-PON.	47
4.4	Traço do OTDR filtrado para uma WDM-PON de 32 canais com 2 canais conectados.	47
4.5	OTDR sintonizável para supervisão de redes WDM-PON.	48



4.6	CRN para diferentes larguras de linha.	49
4.7	Distribuição estatística da intensidade do sinal de retroespalhamento Rayleigh para a reta ajustada com diferentes larguras de linha.	50
4.8	Retroespalhamento Rayleigh para diferentes técnicas de mitigação para o ruído com uma largura de linha da fonte de 1GHz.	51
4.9	Distribuição estatística da intensidade do sinal de retroespalhamento Rayleigh para a reta ajustada, utilizando diferentes técnicas de mitigação para o ruído e diferentes larguras de linha.	52
4.10	Curva de supervisão do canal 1 apresentando a faixa dinâmica e os parâmetros de medição.	53
4.11	Curva de supervisão do canal 3 apresentando a faixa dinâmica e os parâmetros de medição.	54
4.12	Localização da falha utilizando o OTDR sintonizável.	55
4.13	Diagrama de blocos do OTDR sintonizável para medir o BER.	56
4.14	Curvas do BER medidas e ajustadas para as diferentes condições de transmissão utilizando o OTDR sintonizável como sinal de monitoramento.	56
4.15	Diagrama de blocos do OTDR filtrado para medir o BER.	57
4.16	Curvas do BER medidas e ajustadas para as diferentes condições de transmissão utilizando o OTDR filtrado como sinal de monitoramento.	57
4.17	Curvas do OTDR com e sem transmissão utilizando os mesmos parâmetros de medição.	58
4.18	Diagrama de blocos do OTDR para medir o BER.	58
4.19	Curvas do BER medidas e ajustadas para as diferentes condições de transmissão utilizando todo o espectro do OTDR como sinal de monitoramento.	59
4.20	Curvas do OTDR com e sem transmissão utilizando os mesmos parâmetros de medição.	59

## Lista de tabelas

1.1	Comparação de taxas e alcance máximo das diferentes redes de acesso. *A taxa de transmissão depende do numero de usuários, os valores listados nesta tabela são típicos.	11
2.1	Tabela comparativa das tecnologias padronizadas que utilizam TDM-PON na atualidade.	17
3.1	Potência máxima para diferentes comprimentos de onda e regimes.	41
3.2	Razão de extinção para diferentes comprimentos de onda.	42
5.1	Tabela comparativa dos diferentes esquemas de monitoramento	61