

### 3

## Montagem experimental

Procurando a melhor forma de atingir a supervisão de redes WDM-PON realizou-se um diagrama de monitoramento centralizado, que não precisa de equipamentos fora do CO. Com o objetivo de supervisionar cada uma das ramificações da rede de forma individual se propõe e demonstra um OTDR sintonizável funcional para redes WDM-PON e Hybrid-PON. A técnica proposta é provada para diferentes fontes de laser sintonizáveis contínuas, e utiliza um SOA como modulador para o sinal de prova. Para realizar a montagem experimental da técnica, são utilizados vários equipamentos. Eles foram testados e medidos para obter um bom funcionamento do sistema e os testes realizados nos equipamentos principais são expostos a seguir.

#### 3.1

##### AWG

Para simular a rede WDM-PON utilizou-se um AWG de 32 canais. Este equipamento trabalha nas bandas S, C, L e U. É um equipamento típico utilizado em redes WDM-PON onde três bandas são utilizadas, tipicamente, para realizar a transmissão, recepção e monitoramento. O espectro de transmissão dos 32 canais para cada banda foi medido e o resultado é apresentado na Figura 3.1. A Figura 3.2 apresenta a medida de um canal de transmissão em alta resolução, onde pode-se observar os 0,63 nm de largura de banda a 3dB. O espaçamento entre canais na banda C é de 100 GHz conforme a ITU. Além disso, mediu-se uma razão de extinção de 35,5 dB. O equipamento utiliza um espaçamento entre canais de 0,8 nm na escala de comprimento de onda, porém o espaçamento entre frequências é de 105 GHz na banda S e de 90 GHz na banda U.

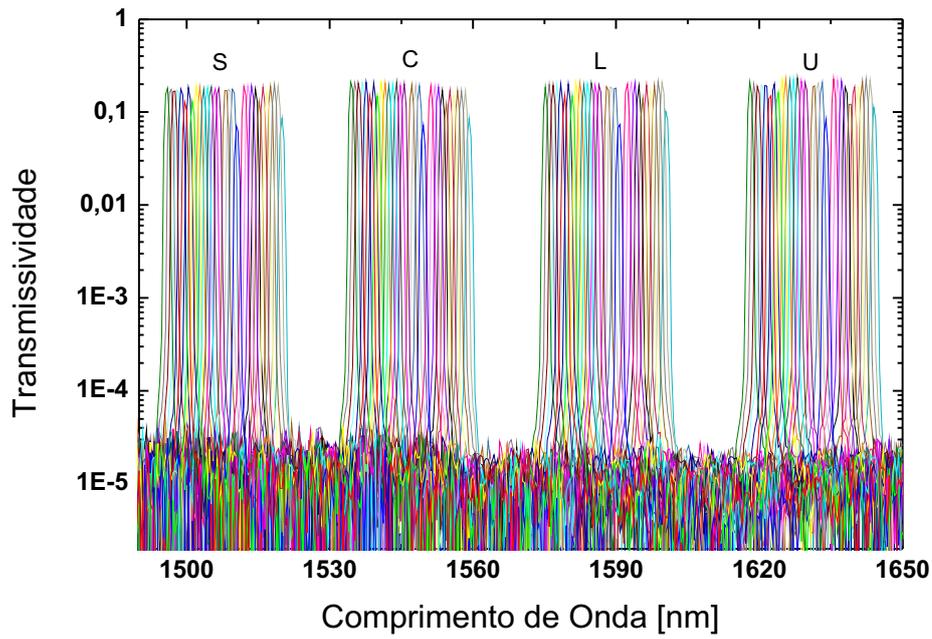


Figura 3.1: Espectro de transmissão do AWG para diferentes bandas.

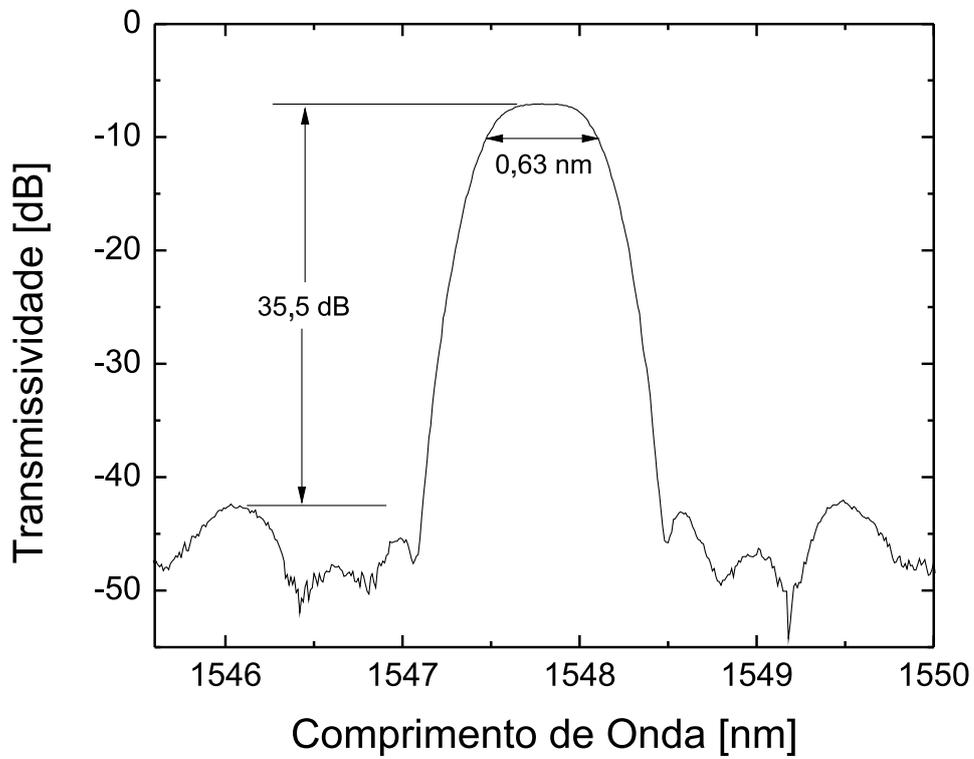


Figura 3.2: Espectro de transmissão de um canal do AWG.

### 3.2 Modulador/Comutador SOA

O OTDR sintonizável precisa de uma operação pulsada, com pulsos de prova na ordem de nanossegundos para atingir uma melhor resolução espacial. Os LASERS geralmente falham quando pulsos rápidos são utilizados e modulados por eles, então a melhor forma de obter uma fonte sintonizável para o OTDR é utilizar uma fonte laser sintonizável CW (*Continuous Wave*) e um modulador/comutador de luz funcionando ligado e desligado (ON/OFF). Desta forma, um modulador SOA com alta resposta em frequência e excelente razão de extinção cabe perfeitamente dentro de nossos objetivos. As medições com este equipamento foram feitas em dois diferentes tipos de regimes, pulsado e contínuo. Na Figura 3.3 pode-se observar o espectro da emissão espontânea amplificada (ASE) no regime contínuo para diferentes correntes quiescentes (bias).

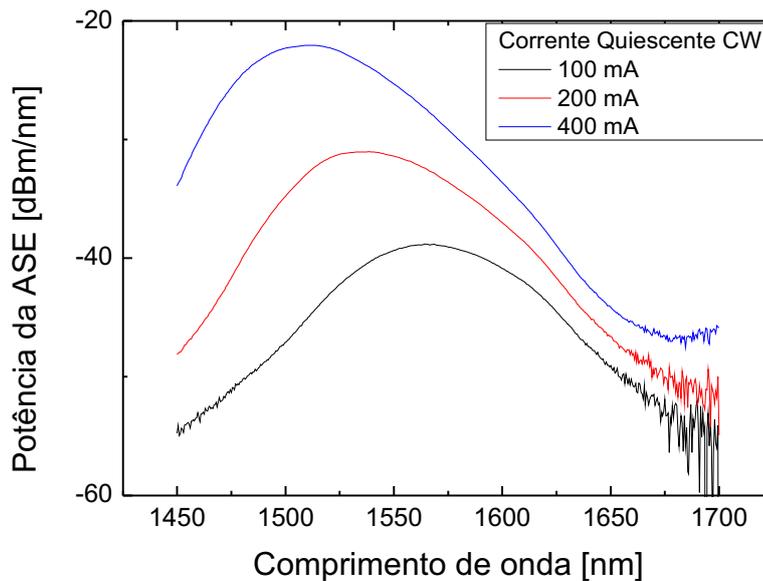


Figura 3.3: Espectro ASE do SOA para diferentes Correntes Quiescentes CW.

O pico de emissão flutua entre 1575 nm (em 100 mA) e 1510 nm (em 400 mA), onde a última é a máxima corrente quiescente sugerida pelo fabricante. Embora o espectro da ASE não seja exatamente o espectro de ganho, é muito próximo a ele. Então, observamos que o melhor funcionamento do SOA em alta potência é na banda S. De qualquer forma, pode-se observar que existe ASE na banda U, porém espera-se que o SOA possa ser utilizado como comutador, ainda que com pouca potência, na banda de monitoramento. Já que o equipamento é utilizado em regime pulsado, as medidas foram realizadas

com pulsos de 100 ns e repetições de 5 KHz. A Figura 3.4 mostra o espectro da ASE para diferentes correntes de pico pulsadas.

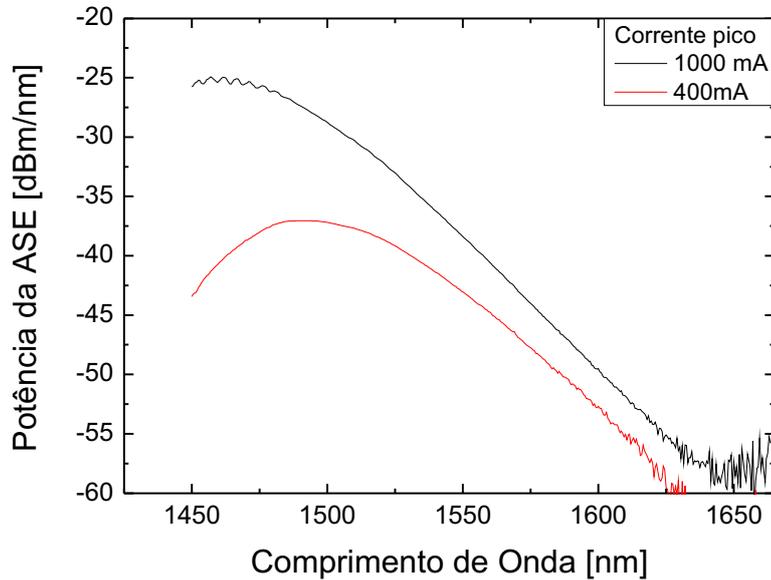


Figura 3.4: Espectro da ASE do SOA para diferentes correntes de pico pulsadas.

Dado que o regime de trabalho (*duty cycle*) é bastante pequeno, a corrente máxima pulsada pode ser aumentada acima do máximo permitido no regime contínuo. Durante os experimentos, o valor da corrente de pico máximo utilizada foi 2000 mA, quatro vezes o máximo valor da corrente em operação contínua. A potência de pico máxima e a razão de extinção medidos para diferentes comprimentos de onda são mostrados na tabela 3.1 e 3.2 respectivamente.

Tabela 3.1: Potência máxima para diferentes comprimentos de onda e regimes.

Comprimento de onda	Potência de pico (pulsada)	Potência (cw)
1520 nm	20.5 dBm	15.5 dBm
1615 nm	15.5 dBm	9.5 dBm

Para os fins esperados, observou-se que, para aplicações utilizando um OTDR convencional, o desempenho do equipamento é baixo na banda U o que significa que um SOA operando nessa janela é necessário. Moduladores de Niobato de Lítio poderiam ser utilizados, mas eles têm limitações na razão de extinção. Todavia, as experiências com este dispositivo serão realizadas dentro de uma abordagem de Prova de Princípio para uma supervisão de redes WDM-PON na banda S, mantendo-as bandas C e L para transmissão e recepção de dados.

Tabela 3.2: Razão de extinção para diferentes comprimentos de onda.

Comprimento de onda	Razão de extinção
1520 nm	83.5 dB
1615 nm	75 dB

### 3.3 OTDR Comercial

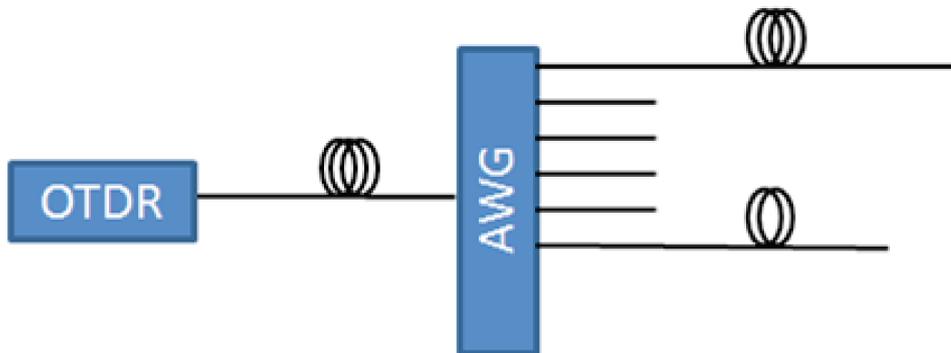


Figura 3.5: Montagem experimental do OTDR comercial para realizar o monitoramento de redes WDM-PON.

Na Figura 3.5 é apresentada a primeira montagem que foi realizada no trabalho, nesta técnica um OTDR comercial é utilizado diretamente para realizar o monitoramento de uma rede WDM-PON. O OTDR comercial é utilizado na banda U e o espectro dele atinge todos os canais da rede WDM-PON, em consequência, o problema de uma rede TDM-PON onde todos os canais da rede são sobrepostos no traço do OTDR esta presente em nossas medidas.

### 3.4 OTDR Filtrado

Na Figura 4.3 é apresentada a montagem experimental do OTDR filtrado por um AWG, esta configuração evita a superposição dos canais no traço do OTDR, mas apresenta outras dificuldades. Devido a todo o espectro do OTDR ser filtrado, uma perda significativa de potência pode ser observada e por isso uma largura de pulsos na ordem de  $\mu\text{s}$  é necessária. Por outro lado o aumento significativo da largura de pulsos gera uma redução na resolução espacial do

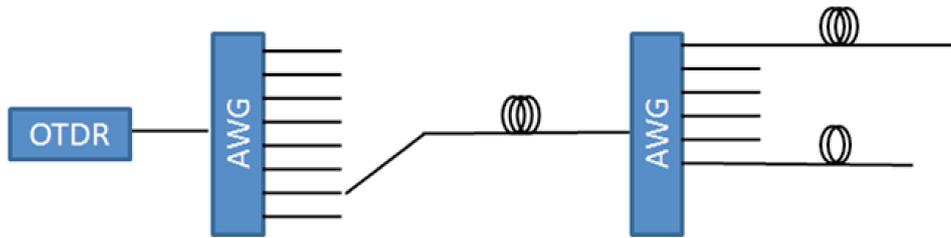


Figura 3.6: Montagem experimental do OTDR filtrado para realizar o monitoramento de redes WDM-PON.

OTDR, o que gera dificuldades na hora de realizar a detecção de uma falha dentro da rede WDM-PON inspecionada.

### 3.5

#### OTDR sintonizável

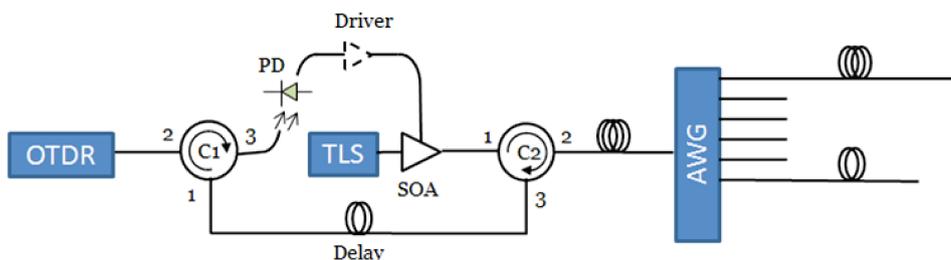


Figura 3.7: Montagem experimental do OTDR sintonizável para realizar o monitoramento de redes WDM-PON.

Na Figura 3.7 é apresentada a montagem experimental do OTDR sintonizável. Por simplicidade, um OTDR comercial é utilizado para gerar o sinal de disparo, a detecção e o processamento de sinais, já que estes parâmetros estão prontos nas opções do equipamento. O objetivo não é injetar a luz LASER original do OTDR na fibra, mas sim a luz LASER com o comprimento de onda de uma ramificação específica da rede WDM-PON. Um circulator óptico de 3 portas foi utilizado na saída do OTDR para que a luz LASER seja direcionada para um fotodetector. O pulso detectado dispara o trigger de um driver que ativa o SOA. Este último, por sua vez, dispara um novo pulso com a luz do LASER sintonizável ou, em inglês, TLS (*Tunable LASER Source*). Finalmente, o novo pulso entra na fibra através de outro circulator óptico. O tempo de processamento dos equipamentos eletrônicos é compensado por uma fibra de atraso (*delay*) que gera um tempo de retorno igual ao tempo de processamento. Cabe mencionar que, para os devidos fins, este equipamento precisa de uma fibra de lançamento para ultrapassar a zona morta gerada pelo conector na saída do OTDR e as conexões adicionais. Além disso, é preciso de um

acoplador para que a banda de monitoramento seja acoplada na fibra de alimentação da rede WDM-PON. Uma montagem similar foi realizada em nosso laboratório para realizar um estudo da amplificação Raman por reflectometria óptica sintonizável [38], [39]. Estes artigos foram importantes para a realização deste trabalho, devido a que a escolha de um modulador SOA com alta razão de extinção foi baseada no desempenho de outros moduladores utilizados nos trabalhos anteriores.

### Driver

O driver do SOA é um circuito eletrônico que pode ser modelado por um transistor bipolar de junção trabalhando entre os estados de corte e saturação. Quando o terminal de controle do transistor Bipolar de junção é excitado com um sinal de tensão acima do limiar de condução, ele entra em estado de saturação, caso contrario, permanece em corte. Quando em corte, não há corrente passando pelo circuito e o SOA esta "desligado". Em saturação, por outro lado, a corrente que entra no SOA depende apenas do resistor "R" através da relação:

$$I = \frac{12V}{R} [A] \quad (3-1)$$

Na Figura 3.8 é apresentado o circuito modelado do driver, onde R varia em 6, 12 e 24  $\Omega$  para as diferentes correntes atingidas sobre o SOA.

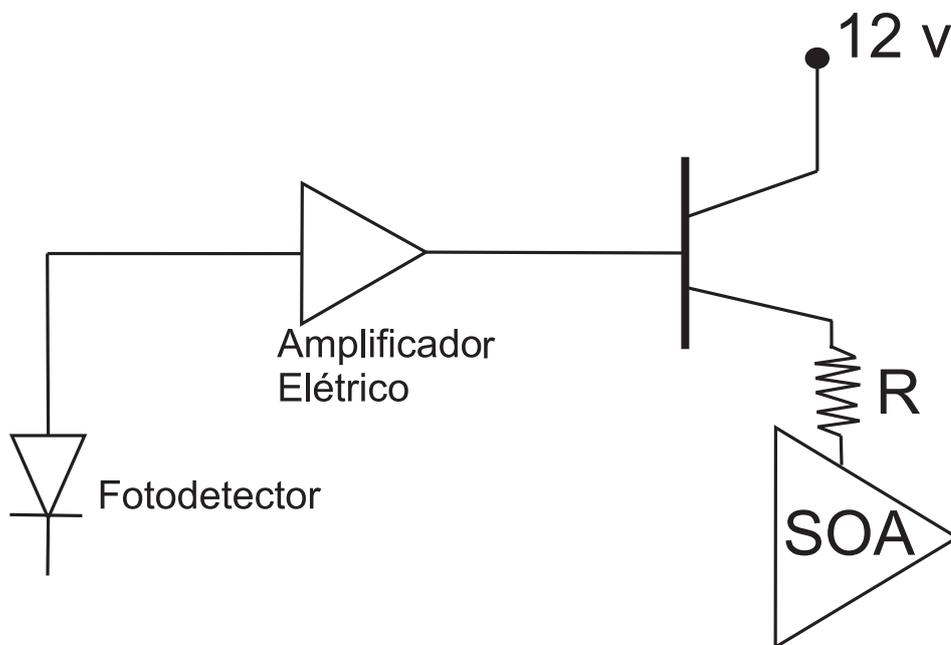


Figura 3.8: Modelo eletrônico do driver.