

Aplicações de um OTDR na análise de reflexões em fibras óticas

Sandra C. Martins Rodrigues n.º 201404983

RESUMO

Neste trabalho é demonstrada a utilização do OTDR para análise de perdas em fibras óticas. São analisados vários parâmetros e a sua influência nos resultados e no funcionamento do OTDR, nomeadamente a largura do pulso aplicado na fibra, o comprimento de onda do mesmo, e o comprimento da fibra. Confirma-se o comportamento da dependência do coeficiente de atenuação no comprimento de onda da radiação que circula na fibra, obtendo-se perdas menores para $\lambda = 1550\text{nm}$ relativamente às obtidas para $\lambda = 1310\text{nm}$. Verifica-se uma influência direta da largura de pulso no comprimento da zona morta, e confirma-se que o melhor método de ligação entre duas fibras é a emenda mecânica (o splice).

I. INTRODUÇÃO

A invenção do laser, e a sua demonstração em 1960, impulsionou o desenvolvimento das comunicações óticas. Uma vez encontrada uma fonte coerente, a atenção foi focada na procura de formas que permitissem a sua aplicação no ramo das comunicações. Inicialmente a ideia mais notória era a de confinar a luz usando uma sequência de lentes de gás. No ano de 1966 surge a ideia de que a melhor solução para o problema passaria pela utilização de fibras óticas. O maior problema residia, no entanto, nas elevadas perdas das mesmas.

Durante os anos que se seguiram muitos avanços foram feitos na área da fabricação de fibras óticas e as perdas foram reduzidas a aproximadamente 20dB/km durante a década de 1970, tornando-as assim num método viável de guiagem de luz para comunicações[1].

A disponibilidade simultânea de fontes óticas compactas e fibras de baixas perdas resultaram num esforço mundial para o desenvolvimento de sistemas de comunicações óticos. Com o desenvolvimento da tecnologia e a crescente demanda por mais e melhores formas de comunicação, a fibra ótica é já hoje em dia utilizada em instalações caseiras, e a indústria continua a crescer significativamente.

II. TEORIA

A. Confinamento da Luz na Fibra Ótica

1. *Retroespalhamento:* A luz é acoplada no núcleo da fibra e viaja por todo o seu comprimento por reflexões internas totais.

Os feixes de luz que viajam pelo núcleo da fibra são espalhados pelo material, e como consequência destes ocorrem perdas. Existem alguns tipos de espalhamentos que podem ocorrer, mas o mais significativo e o que efetivamente observamos no decorrer deste trabalho foi o espalhamento de Rayleigh. É o mais significativo e deve-se a irregularidades submicroscópicas na composição e na densidade do material que compõe a fibra.

Estas irregularidades traduzem-se na variação do índice de refração do material ao longo do comprimento da fibra. Apesar das irregularidades na composição do vidro poderem ser melhoradas, otimizando o processo de produção, as diferenças de densidade do mesmo estão fora do nosso controlo. Assim sendo, esta atenuação, devida às diferenças de densidade, representa o limite mínimo teórico para a perda numa fibra ótica.

Em fibras de alta qualidade o espalhamento encontra-se uniformemente distribuído por todo o seu comprimento e a potência de luz retroespalhada atenuar-se-á de forma exponencial com a distância e com o tempo de propagação.

3. *Coefficiente de Atenuação:* Em termos gerais, a variação da potência ótica que se propaga dentro de uma fibra ótica é governada pela lei de Beer:

$$\frac{dP}{dz} = -\alpha P \quad (.1)$$

onde α é o coeficiente de atenuação, tal que $P_{out} = P_{in} \exp(-\alpha L)$, isto é, a potência decresce exponencialmente ao longo da fibra, com uma constante de decaimento α [1].

As perdas de uma fibra irão depender do comprimento de onda da luz transmitida. A figura 1 mostra o espectro de perdas de uma fibra para comprimentos de onda entre os 700nm e os 1800nm. Apesar de estes dados serem referentes a uma medição específica, eles espelham bem o comportamento do coeficiente e podem ser considerados na análise do trabalho.

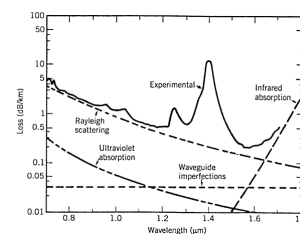


Figura 1: Espectro de perdas de uma fibra mono-modo produzido em 1979. [1]

Alguns dos traços mais notórios deste espectro passam pelo mínimo absoluto para o comprimento de onda de 1550nm, o máximo para 1390nm, e um mínimo secundário a 1300nm, sendo observável que as perdas são consideravelmente mais altas para comprimentos de onda mais baixos. Vários fatores podem contribuir para as perdas, nomeadamente a absorção do material e o espalhamento de Rayleigh.

2. *Reflexões de Fresnel:* As reflexões ocorridas no fim da fibra, na interface vidro-ar, ou em outras

interfaces como conectores, ou splices são denominadas por reflexões de Fresnel.

No caso de a interface no conector ser clivada perpendicularmente ao eixo do núcleo, o coeficiente de luz refletida dado por $r = \left| \frac{n_f - n_0}{n_f + n_0} \right|^2$ [2], não deve exceder os 4%. Contudo, os conectores nunca são perfeitos, sendo por isso difícil atingir estes valores.

Se a face clivada possuir um ângulo de inclinação superior a 3.5°, a reflexão de Fresnel não será captada pelo OTDR, uma vez que a luz irá sofrer refração parcial na interface sempre que o feixe de luz incidir com ângulo menor que o ângulo crítico. Somando todas as contribuições destas refrações parciais elas serão suficientes para atenuar a reflexão de Fresnel que seria detetada pelo OTDR. Estes detetores com ângulo de inclinação denominam-se **Angled Polish Connectors - APC**[2].

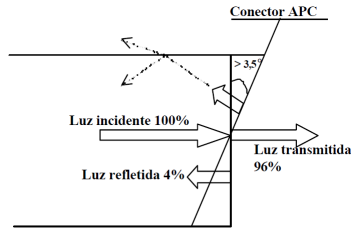


Figura 2: Reflexão de Fresnel em conectores ideais e em APC [2].

B. Princípio de Funcionamento de um OTDR

De forma a compreender a análise desenvolvida neste trabalho é necessário começar por olhar para o funcionamento do equipamento usado. Um OTDR - Optical Time Domain Refractometer é constituído por uma fonte laser de luz e um detetor ótico, juntamente com componentes de eletrónica e software de controlo. O OTDR injeta, via acoplador direcional ótico, um pulso de luz laser de duração conhecida na fibra. Ao longo da fibra a luz poderá sofrer retroespalhamento e reflexões, e essa luz retornará ao acoplador, sendo encaminhada para o fotodetector, que irá converter o sinal ótico em sinal elétrico. Este sinal elétrico será então amplificado e enviado para um microprocessador que irá calcular o atraso na propagação e na atenuação ao longo da fibra. Os resultados serão depois apresentados no OTDR na forma de um gráfico.

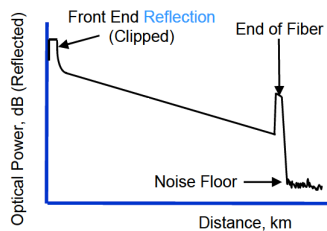


Figura 3: Gráfico dado pelo OTDR numa fibra sem defeitos[3].

A figura 2 mostra um exemplo de um gráfico do OTDR para uma fibra sem defeitos. São observáveis dois picos de reflexão, um no início, e outro no fim da fibra. São reflexões de Fresnel, que ocorrem devido a uma alteração do meio em que a luz se propaga, e conseqüente alteração no índice de refração, ar-vidro-ar. O primeiro pico mostra a existência de uma zona morta, e o pico observado no

fim da fibra vai depender do tipo de conector em uso, podendo, em alguns casos, não aparecer.

O OTDR retorna a perda em dB, através da seguinte equação [3]:

$$ORL(dB) = 10 \log \left[\frac{power(in) + backscatter}{backscatter} \right] \quad (.2)$$

1. *Zona Morta*: A zona morta, ou resolução espacial entre dois pontos, determina o espaçamento mínimo que pode ser medido entre dois eventos.

As "zonas cegas" que observamos no gráfico do OTDR ocorrem devido a eventos reflexivos que saturam o recetor do OTDR, e estas terão uma duração igual à soma da largura do pulso ótico, mais o tempo que o recetor demora a recuperar dessa reflexão.

No decorrer deste trabalho vamos estar principalmente interessados na determinação da zona morta de atenuação, que nos permitirá determinar os pontos a partir dos quais realizar medidas de valores de atenuação. Esta distância é medida no ponto onde a curva retorna ao valor que fica 0.5dB acima do nível da curva retroespalhada, como mostra a figura 3.

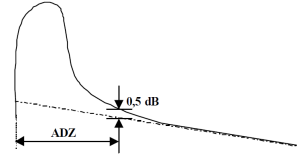


Figura 4: Determinação da zona morta de atenuação[2].

III. RESULTADOS

No decorrer do trabalho foi analisada a forma como alguns parâmetros, nomeadamente o comprimento da fibra em análise, o comprimento de onda em uso, e até mesmo a largura de pulso, influenciam as perdas obtidas e até mesmo o funcionamento do OTDR, podendo algumas combinações de parâmetros resultar em erros maiores do aparelho.

500m de fibra: Conectando uma fibra de 500m ao OTDR foi escolhido um comprimento de pulso de 50ns. Uma vez que vamos estar a trabalhar com um comprimento bastante pequeno necessitamos de uma largura de pulso também relativamente pequena, que nos permita observar em tempo real o que está a ocorrer na fibra.

A figura 5 é referente aos resultados obtidos para um $\lambda = 1550nm$. Usando o critério apresentado na parte teórica deste relatório, foi determinada uma zona morta de 29,77m. A determinação do comprimento da zona morta foi feito para permitir uma melhor medição das perdas. Assim temos uma referência do ponto a partir do qual medir as perdas, tendo sido obtida uma perda total de 0.327dB, correspondente a 0.683dB/km.

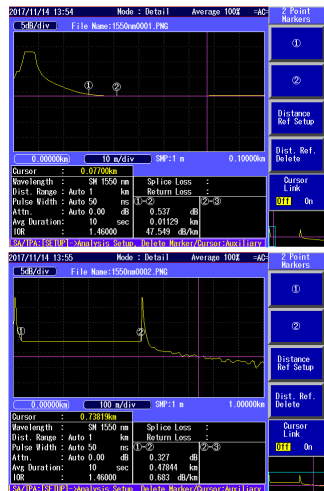


Figura 5: Determinação do fim da zona morta. Medição das perdas ao longo da fibra. (1550nm)

Na situação em que $\lambda = 1310nm$, apresentada na figura 6, foi medida uma zona morta de 25,67m e a perda foi de 0.522dB (1.082dB/km).

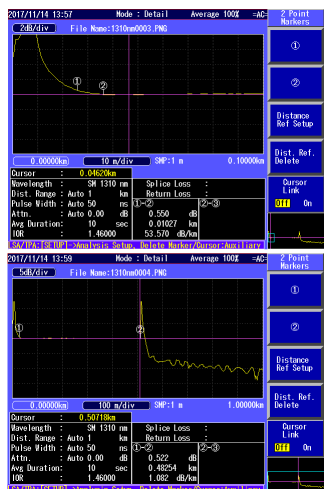


Figura 6: Determinação do fim da zona morta. Medição das perdas ao longo da fibra. (1310nm)

Confirma-se assim que de facto a perda a um comprimento de onda de 1550nm é inferior à obtida com 1310nm. Verificou-se também uma diminuição da zona morta com a diminuição do comprimento de onda do pulso incidente.

Foi ainda realizada uma outra medição com uma largura de pulso de 20ns, permitindo assim demonstrar a influência da mesma no comprimento da zona morta, tendo sido obtidos os valores 24,64m e 27,72m para comprimentos de onda de 1310nm e 1550nm, respetivamente. Conferiu-se assim que uma diminuição da largura de pulso resulta na diminuição da zona morta, e consequente aumento da resolução espacial.

1500m de fibra: Três fibras de 500m cada foram conectadas entre si, sendo a ligação das duas primeiras feita por um conector, e das últimas por um splice. Esta medição foi realizada apenas para um comprimento de onda de 1550nm, e o resultado obtido pelo OTDR encontra-se representado na figura 7.

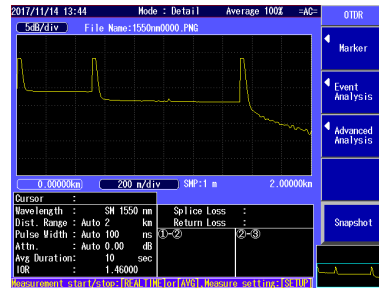


Figura 7: Gráfico do OTDR para 3 fibras de 500m ligadas por um conector e um splice.

Tal como nos gráficos anteriormente obtidos observa-se claramente a zona morta e os picos correspondentes às reflexões de Fresnel dos conectores, um primeiro no final da primeira fibra, onde existe um conector que a liga à seguinte, e outro no final da terceira, onde existe um conector na interface vidro/ar. No entanto, a ligação entre a segunda e terceira fibras está feita com um splice, e esta corresponde ao pequeno pico de reflexão observável pouco depois dos 1000m. No primeiro conector verifica-se uma perda de 1.945dB, enquanto a perda no splice é de apenas 0.075dB. Assim sendo, a emenda mecânica, ou o splice, apresenta-se como uma melhor solução para a ligação de duas fibras óticas.

50000m de fibra: Os comprimentos de fibra até agora medidos foram muito pequenos, o que faz com que os declives da atenuação não sejam observados com detalhe no OTDR sem uma alteração da escala, quer vertical, quer horizontal, o que na prática pode resultar numa pior análise dos resultados obtidos e consequente aumento dos erros. Assim sendo, de forma a confirmar que o OTDR permite de facto uma melhor análise quando o comprimento da fibra em estudo é maior, foi realizado um estudo numa fibra de 50km, apresentado na figura 8.

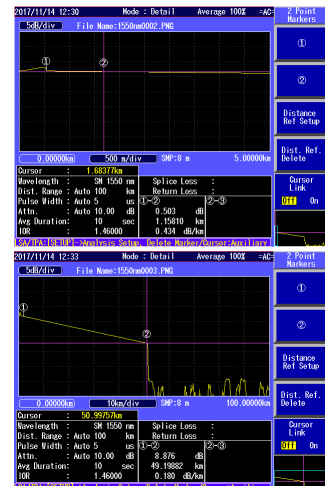


Figura 8: Determinação do fim da zona morta. Medição das perdas ao longo da fibra. (1550nm)

Uma vez que estamos na presença de uma fibra muito maior, impõe-se a utilização de uma largura de impulso também bastante maior, tendo sido usado $5\mu s$, de forma a que o OTDR consiga registar os valores. Observa-se claramente o declive correspondente à atenuação, de

forma muito mais clara do que nas medidas anteriores. No entanto, a reflexão de Fresnel no final da fibra torna-se quase inobservável a esta escala. Isto deve-se à combinação da largura de impulso que está a ser utilizada com o facto de a fibra se encontrar destruída no final, o que faz com que a interface vidro/ar não seja perpendicular ao núcleo da mesma, promovendo o espalhamento da luz, e dificultando assim a observação da reflexão pelo OTDR.

Foram obtidos valores de perdas muito próximos dos tabelados pelo fabricante da fibra, valores que se encontram apresentados na tabela 1.

	Fabricante	Experimentais
$\lambda = 1310nm$	0.324	0.319 ± 0.001
$\lambda = 1550nm$	0.186	0.180 ± 0.001

Tabela 1: Valores de perdas em dB/km.

IV. DISCUSSÃO

A variação dos vários parâmetros permitiu-nos avaliar a qualidade das fibras em estudo relativamente às suas perdas. Verificou-se a validade do comportamento da curva do coeficiente de atenuação nos seus picos inferiores, confirmando-se em todos os casos que as perdas a 1550nm são inferiores às obtidas a 1310nm. No estudo da influência da largura do pulso utilizado na análise do OTDR confirmou-se a existência de uma dependência, sendo que quanto maior for a largura do pulso utilizado maior será a zona morta observada no OTDR.

No teste das perdas obtidas com diferentes tipos de ligação constatou-se a vantagem no uso de um splice relativamente a um conector, sendo que com o primeiro foram obtidas perdas cerca de 25 inferiores à do conector.

Foi verificada a qualidade do OTDR na análise de perdas em fibras, tendo ficado também demonstrado que para comprimentos muito pequenos, como é o caso dos 500m, os resultados obtidos não possuem tanta resolução como os obtidos na análise de uma fibra de 50km, tornando a sua análise mais difícil e introduzindo possíveis erros.

REFERÊNCIAS

- [1] Govind P. Agrawal. *Fiber-Optic Communications Systems*. John Wiley & Sons, 2002.
- [2] Maria Caputo Andre Abbade. Aplicacao do otdr na analise de problemas de atenuacao em fibras opticas: Estudo de casos. *Revista Cientifica Periodica - Telecomunicacoes*, ISSN 1516-2338.
- [3] Dr Russell Ellis. Explanation of reflection features in optical fiber as sometimes observed in otdr measurement traces. Technical report, Corning, 2007.