

Aplicação do OTDR na Análise de Problemas de Atenuação em Fibras Ópticas: Estudo de Casos

André Luis da Rocha Abbade e Maria Regina Campos Caputo

Instituto Nacional de Telecomunicações

Resumo - O uso do OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer) agiliza e auxilia o trabalho das equipes de implantação, operação e manutenção de fibras ópticas. O objetivo deste trabalho é detalhar alguns procedimentos adotados na avaliação de resultados obtidos com o uso do OTDR. Serão apresentados alguns casos ocorridos em campo, enfocando-se aspectos relevantes na interpretação dos resultados medidos. No intuito de facilitar a compreensão e interpretação destes resultados, serão apresentados inicialmente alguns conceitos básicos de propagação da luz na fibra óptica e serão também definidos os principais parâmetros de configuração do OTDR.

Abstract - The use of OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer) can help and fast the work of Implantation, Operation and Maintenance groups of optical fibers. The objective of this work is to detail some procedures used in valuation of results getting by using OTDR. It will show some real cases, it focuses important aspects to understand the results. In sence of facility the comprehension and interpretation this results, it will show initially some basic concepts of propagation of light in optical fibers and it will also define the most important parameters of OTDR configuration.

I. PRINCÍPIOS DE TRANSMISSÃO EM FIBRAS ÓPTICAS

I.1. INTRODUÇÃO.

A tecnologia em fibras ópticas tem evoluído rapidamente nos últimos anos, conseguindo-se avanços significativos no desenvolvimento de fibras com baixa atenuação, baixa dispersão e baixa eficácia na geração de efeitos não-lineares. Sua aplicação nos mais diversos setores de telecomunicações e informática é hoje muito intensa. A redução do custo das fibras ópticas tem viabilizado a utilização de sistemas ópticos nos troncos das redes de telefonia. Também nas linhas de assinantes locais a utilização de sistemas ópticos já é uma constante em projetos.

Para a verificação da qualidade dessas redes, vários instrumentos de teste têm sido desenvolvidos com diferentes aplicações. O reflectômetro óptico no domínio do tempo (OTDR-Optical Time Domain Reflectometer) é o instrumento mais usado atualmente para testes de atenuação em fibras ópticas. O OTDR pode medir: atenuação na emenda, atenuação total em distâncias específicas (trechos de fibra), reflectância, distância à falha ou à emenda e o comprimento da fibra em teste.

Este trabalho tem como objetivo mostrar como o OTDR pode facilitar a solução de problemas em cabos ópticos. Na primeira parte serão apresentados alguns conceitos básicos relativos ao funcionamento do OTDR e na segunda parte serão apresentados alguns casos analisados em campo.

I.2. CONFINAMENTO DA LUZ NA FIBRA ÓPTICA.

A luz é acoplada no núcleo da fibra e viaja por todo o seu comprimento por um processo conhecido como reflexão interna total. Quando o feixe de luz alcança o limite do núcleo com a casca podem acontecer duas situações. Para alguns ângulos, o feixe óptico sofre reflexão parcial, sendo parte de sua energia transferida para a casca em cada reflexão. Na outra situação, prevê-se a existência de um ângulo a partir do qual a luz será totalmente refletida para o núcleo. Este ângulo é conhecido como ângulo crítico. Logo, os raios que possuem ângulo de incidência maior que o ângulo crítico, viajam ao longo do núcleo. [1,2,3,4,5,6].

I.3. REFLEXÃO DE FRESNEL

Ocorrem reflexões internas no núcleo advindas de diversos fenômenos e se estendem ao longo de toda a fibra. Ocorrem também reflexões no fim da fibra (interface vidro/ar) e em outras interfaces como, por exemplo, conectores, emendas mecânicas e também em locais onde a densidade do material da fibra varia. Se a interface no conector for ideal, isto é, clivada perpendicularmente ao eixo do núcleo, então o coeficiente da luz refletida não excederá 4% [1,6], para os valores comuns de índice de refração da fibra óptica, tem-se $n_f \cong 1,50$ e $n_0 \cong 1,00$. [5]

$$\Gamma_p = \left| \frac{n_f - n_0}{n_f + n_0} \right|^2 \cong 0,04$$

O pulso de luz é refletido e essa reflexão é conhecida como uma reflexão de Fresnel. Detectando-se essa reflexão na tela do OTDR, pode-se calcular a sua distância em relação ao início da fibra. Se a face clivada possuir um ângulo de inclinação maior que $3,5^\circ$, como mostrado na figura 1, a reflexão de Fresnel não será percebida pelo OTDR [1], pois irá sofrer refração parcial na interface núcleo/casca, todas as vezes que este feixe de luz incidir nesta interface com ângulo de incidência menor que o ângulo crítico. O somatório destas refrações parciais será suficiente para atenuar a reflexão de Fresnel, de tal forma

que a parcela desta que retornará, não será suficiente para ser detectada pelo OTDR. Esta situação pode ser observada com a utilização de conector do tipo APC (Angled Polish Connectors – conectores angulares polidos).

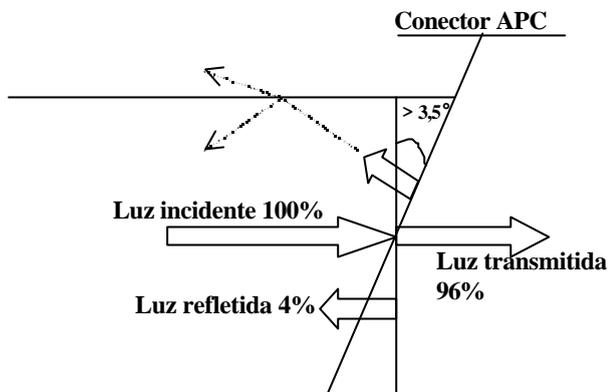


Figura 1: Reflexão de Fresnel em conectores clivados a 90° e em conectores APC[1].

I.4. RETROESPALHAMENTO

Os feixes de luz que viajam pelo núcleo da fibra são espalhados pelo material. Como consequência destes espalhamentos, ocorrerão perdas que incluem reduções na amplitude do campo guiado por mudanças na direção de propagação, causadas pelo próprio material e por imperfeições no núcleo da fibra. Citam-se a dispersão linear de Rayleigh, a dispersão linear de Mie, a dispersão estimulada de Raman e o espalhamento estimulado de Brillouin [5].

Em termos quantitativos, o espalhamento de Rayleigh é o mais importante e resulta em consequência de irregularidades submicroscópicas na composição e na densidade do material. Estas alterações podem surgir durante o processo de fabricação da fibra ou em função de defeitos próprios na estrutura molecular do vidro. As dimensões físicas e a separação dessas irregularidades são bem pequenas comparadas ao comprimento de onda da luz no meio (1/10 ou menor). O resultado dessas irregularidades é uma flutuação no valor do índice de refração do material ao longo da fibra óptica. As irregularidades decorrentes da composição do vidro têm sido controladas através de um aperfeiçoamento dos processos de fabricação, mas as originadas por diferenças de densidade do material são intrínsecas ao vidro e não podem ser evitadas. Portanto, se pudesse ser construída uma fibra óptica absolutamente perfeita em termos de pureza, a perda de potência por este espalhamento persistiria. Ou seja, esta atenuação representa o limite mínimo teoricamente possível para a perda na fibra óptica. É inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda e é independente da amplitude do campo óptico guiado [5].

Como existe o espalhamento do pulso enquanto a luz viaja pelo núcleo, uma quantidade dessa luz espalhada será refletida de volta à fonte óptica (luz retroespalhada). Em fibras ópticas de alta qualidade o espalhamento de luz

é uniformemente distribuído por toda a fibra. A potência da luz retroespalhada irá se atenuar de acordo com uma relação exponencial com a distância e consequentemente com o tempo de propagação.

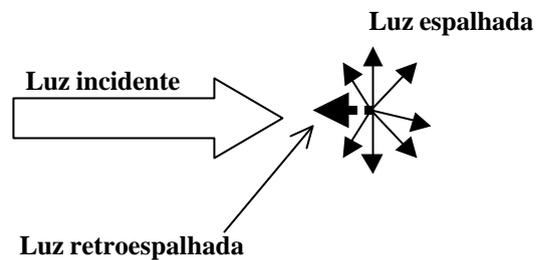


Figura 2: Ilustração para se estabelecer o conceito de Retroespalhamento da luz na fibra óptica[1].

O OTDR é projetado para detectar exatamente esta luz retroespalhada pela fibra. Sendo o nível desta luz retroespalhada muito baixo, da ordem de um milhão de vezes inferior à luz incidente em fibras monomodo, ou seja 60 dB, sua detecção é difícil [7]. Por este motivo os OTDRs ópticos são instrumentos de alta sofisticação tecnológica e de difícil construção.

II. REFLECTÔMETROS ÓPTICOS NO DOMÍNIO DO TEMPO (OTDR)

Um OTDR pode testar diversos aspectos de uma fibra óptica, como serão descritos neste trabalho. Inicialmente descreveremos o princípio de funcionamento destes instrumentos.

II.1. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO OTDR

O diodo laser do OTDR é um conversor elétrico-óptico (E/O) acionado por um gerador de pulsos. O pulso de luz é acoplado numa fibra em teste via um acoplador direcional óptico. As reflexões geradas pelo retroespalhamento e pela reflexão de Fresnel retornam ao acoplador direcional e são encaminhadas para o fotodiodo, do tipo avalanche (APD), que converterá o sinal óptico em um sinal elétrico (O/E). O sinal elétrico é amplificado e enviado para um microprocessador que calcula o atraso de propagação e a atenuação percebida pelo APD. A tela do OTDR apresenta os resultados num formato gráfico que permite a caracterização do estado da fibra [1].

Os parâmetros reconhecidos pelo OTDR são: o tempo em que o pulso é enviado na fibra, sua largura de pulso e a velocidade com que ele viaja pela fibra óptica. O tempo que o pulso de luz gasta para viajar pela fibra, se refletir e voltar para o detector do OTDR pode ser medido precisamente. Conhecendo-se este tempo, o OTDR pode calcular a distância (km). Na figura 3, podemos ver como o OTDR mostra os eventos que comumente ocorrem em um enlace. O eixo das ordenadas é o nível de potência

refletida e o eixo das abscissas, a distância ao ponto de interesse. A distância d onde ocorre o evento pode ser calculada por:

$$d = \frac{v_g \cdot t}{2} = \frac{c \cdot t}{2 \cdot n_g}$$

onde:

- c = velocidade da luz no vácuo,
- v_g = velocidade de grupo do sinal óptico na fibra,
- n_g = índice de refração de grupo da fibra,
- t = intervalo de tempo entre o sinal transmitido e o recebido pelo OTDR.

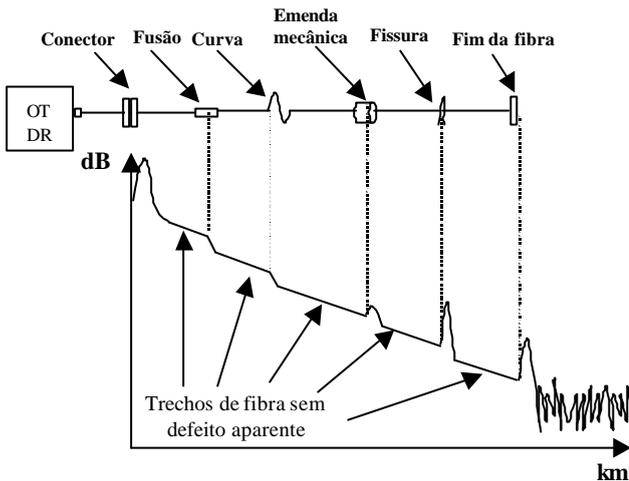


Figura 3: Curva típica de um OTDR [7]

A curva obtida na figura 3 mostra o nível de luz retroespalhada e picos de reflexão devido às reflexões de Fresnel em um conector, em uma emenda mecânica e em uma fissura. Aparecem também discontinuidades devido a emenda por fusão ou curvatura acentuada da fibra. É também mensurável a atenuação na fibra através da inclinação da curva. É importante observar que, caso não haja um conector (ou o conector seja do tipo APC) na outra extremidade da fibra em teste, pode não existir o pulso no final da fibra, como descrito em I.3.. Nesta situação haveria uma brusca descontinuidade do sinal, evidenciando-se o aparecimento do ruído. Com base neste ruído, pode-se determinar o alcance dinâmico do OTDR.

II.2. ALCANCE DINÂMICO (DR – DYNAMIC RANGE)

Uma das formas de se definir alcance dinâmico é a diferença de nível de retroespalhamento no início da fibra e o nível de ruído onde a relação sinal/ruído é igual a 1, medido em dB. O alcance dinâmico determina o comprimento máximo de fibra possível de ser medido pelo OTDR, considerando-se a atenuação na fibra, nas emendas e nas conexões.

Deve-se também considerar que quanto maior o comprimento da fibra, mais o sinal retroespalhado se aproxima do ruído, aumentando a margem de erro das medidas e fazendo com que pequenos eventos sejam dificilmente detectados. Para se medir uma perda de

emenda com valor de precisão de 0,1 dB, necessita-se de uma relação sinal ruído de aproximadamente 6,5 dB acima do nível de pico do ruído. Para um valor de precisão de 0,05 dB, necessita-se de uma relação sinal ruído de aproximadamente 8dB acima do nível de pico de ruído, que por sua vez está a aproximadamente 2,3 dB acima do nível médio de ruído (SNR=1).[8]

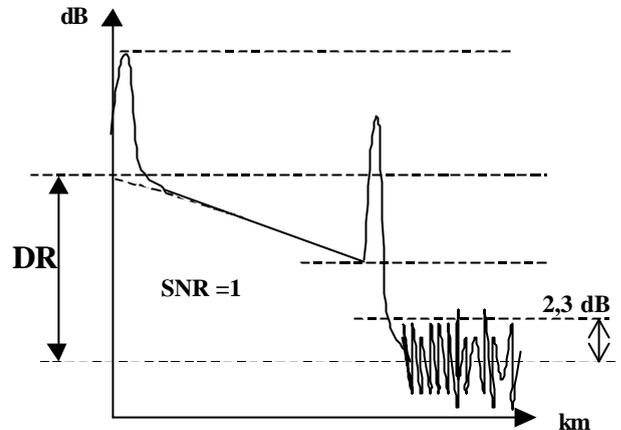


Figura 4: Método de aferição de alcance dinâmico (DR) para SNR=1

Os OTDRs enviam pulsos repetidamente para a fibra. São tiradas médias dos resultados para que o ruído aleatório do receptor seja suavizado no tempo. Na tela do OTDR, o nível de ruído será reduzido com o tempo. Quanto maior o tempo, maior será o alcance dinâmico. As maiores melhorias do sinal ocorrem no primeiro minuto[7].

A maioria dos OTDRs têm suas faixas dinâmicas especificadas após três minutos de medição, de acordo com a Bellcore TR-TSY-000196.[7]

II.3. ZONA MORTA

A zona morta é definida como a distância entre o início de um evento e o ponto onde um evento consecutivo pode ser detectado[8]. A zona morta é também conhecida como resolução espacial entre dois pontos, pois determina o espaçamento mínimo que pode ser medido entre dois eventos [7]. Na curva do OTDR existem trechos “cegos” que ocorrem devido a eventos reflexivos, que saturam o receptor do OTDR[8]. Estes trechos “cegos” têm a duração igual à soma da largura do pulso óptico mais o tempo que o receptor demora para recuperar-se da reflexão[8].

Existem dois tipos de zona morta: zona morta de evento e zona morta de atenuação, como descritos a seguir:

II.3.1. ZONA MORTA DE EVENTO (ZME OU EDZ - EVENT DEAD ZONE)

Define a distância mínima a partir de um ponto onde ocorre um evento, até outro ponto onde um outro evento de mesma natureza pode ser detectado. Entretanto esse evento só pode ser detectado e não se pode medir a perda associada a ele[8]. Quanto a sua natureza, os eventos podem ser reflexivos (quando há reflexões de

Fresnel) ou não-reflexivos (quando há degraus por variação do nível do sinal retroespalhado). Para eventos reflexivos, a zona morta de evento é definida como a distância medida no ponto onde a curva cai 1,5 dB do nível de saturação devido à reflexão de Fresnel, como mostrado na figura 5. Para eventos não reflexivos, a zona morta de evento é definida como a distância entre os pontos de início e fim de um degrau com atenuação inferior a 1,0 dB e variando 0,1 dB dos valores inicial e final, como mostrado na figura 6[9]. Usualmente, esta zona morta é um valor fixo e depende somente da largura de pulso aplicada. Esta definição não é freqüentemente utilizada, mas será útil para a compreensão de alguns casos que serão comentados na seção 3.

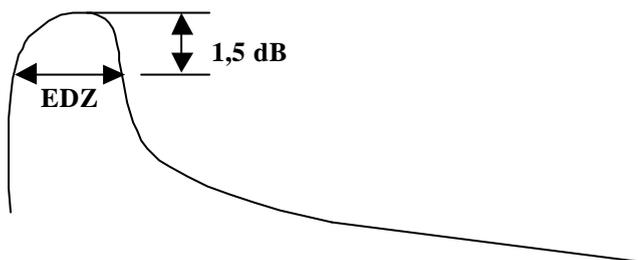


Figura 5: Método de aferição de zona morta de evento para eventos reflexivos [8,9]

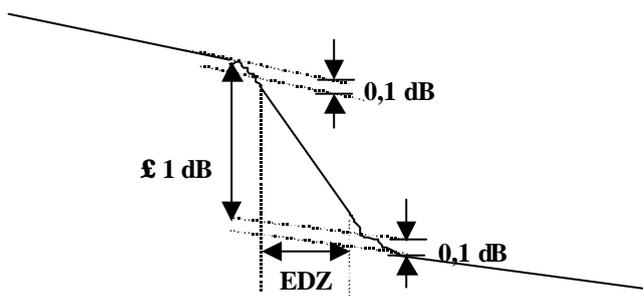


Figura 6: Método de aferição de zona morta de evento para eventos não-reflexivos [9]

II.3.2. ZONA MORTA DE ATENUAÇÃO (ZMA OU ADZ - ATTENUATION DEAD ZONE)

Define a distância mínima do ponto a partir do início de uma reflexão e o ponto onde o traço do retroespalhamento pode voltar a ser detectado, podendo ser realizadas medidas para a verificação da localização de eventos discretos (não reflexivos). Esta distância é medida no ponto onde a curva tenha retornado a 0,5 dB acima do nível da curva retroespalhada, extrapolada para a esquerda [8], considerando uma reflectância de -30 dB [9]. Geralmente, quanto maior a potência refletida, maior será a zona morta.

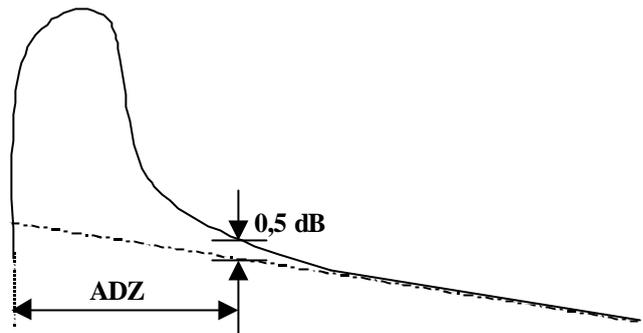


Figura 7: Método de aferição de zona morta de atenuação (ADZ) [8,9]

II.4. MEDIDAS DE ATENUAÇÃO EM EMENDAS

Para a aceitação de emendas o valor analisado é a média aritmética entre as medidas de atenuação realizadas nos dois sentidos. A medição nos dois sentidos faz-se obrigatória. O valor da medida de atenuação que é apresentado pelo OTDR é resultante das diferenças observadas na curva do OTDR antes e após a emenda. Esta curva é gerada pelo sinal retroespalhado e este não varia apenas de acordo com o nível do sinal incidente, mas também com o coeficiente de retroespalhamento dos trechos de fibras em análise. Se houver diferenças entre estes coeficientes o valor medido pelo OTDR não será a perda real da emenda. Entretanto, quando realizamos a medida nos dois sentidos e calculamos a média aritmética, estas diferenças se cancelam e o valor obtido é o valor médio, real, da atenuação na emenda.

II.4.1. EMENDA COM GANHO

Freqüentemente é verificado um ganho como resultado da análise de uma emenda, como mostrado na figura 8. A explicação para este ganho é que a fibra que está após a emenda está retroespalhando mais luz do que a fibra que está antes da emenda. Isto pode ocorrer mesmo que haja perda na emenda. Quando faz-se a medida em sentido contrário, inverte-se a situação do sinal retroespalhado e a média aritmética das duas medidas deverá sempre ser uma atenuação, pois uma emenda é um elemento passivo e nunca irá amplificar a luz que está sendo transmitida. Entretanto a imprecisão do OTDR e a falta de cuidado do operador, na inserção dos dados no OTDR, pode resultar em uma conclusão de que a emenda está amplificando o sinal.

Vale ainda ressaltar que sempre que houver um ganho no OTDR é porque existe uma emenda neste local, pois, com certeza, temos duas fibras diferentes nos trechos antes e depois do evento.

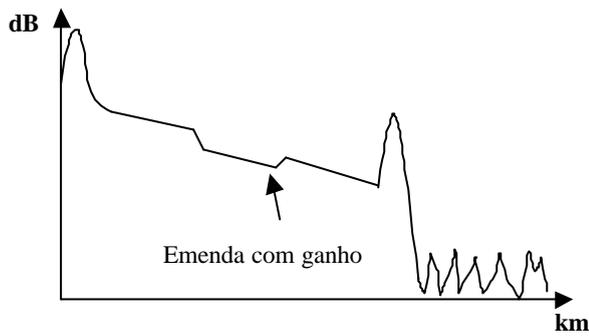


Figura 8: Gráfico do OTDR com um ganho em uma emenda.

III. ANÁLISE DOS RESULTADOS MEDIDOS EM CAMPO: ESTUDO DE CASOS

Nos enlaces analisados em campo, todas as emendas são por fusão e nas estações os cabos são emendados em BEO (bastidor de emenda óptica) e distribuídos em DIO (distribuidor intermediário óptico); ou emendados e distribuídos em DGO (distribuidor geral óptico).

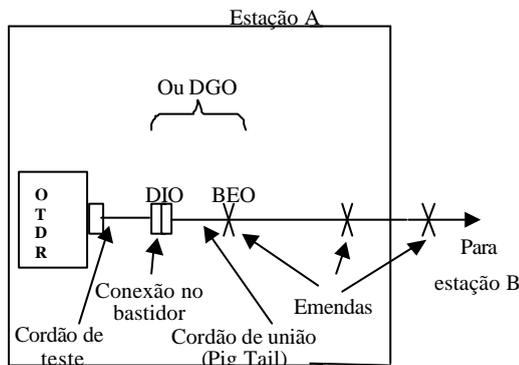


Figura 9: Pontos de conexões e emendas em um enlace óptico tradicional

III.1. CASOS DE EVENTOS PRÓXIMOS AO PONTO DE TESTE

Para detectar o local exato da interrupção, é necessário configurar o OTDR na menor largura de pulso (LP) disponível no instrumento e analisar o gráfico obtido.

III.1.1. CASO 1 - ROMPIMENTO COM REFLEXÃO DE FRESNEL A MAIS DE 3M DO BASTIDOR

Freqüentemente, no ponto de ruptura haverá uma reflexão de Fresnel na tela do OTDR e neste caso, a definição do ponto do rompimento é feita expandindo-se a imagem (zoom) e focando a última reflexão de Fresnel que estiver na tela. As figuras 10 e 11 mostram um exemplo da tela do OTDR para um enlace de 5km, sendo testado com uma LP de 1000ns (ZME= 120m e ZMA=150m). Neste exemplo a fibra estava interrompida próxima à estação B. O teste a partir da estação A faz parecer que o enlace óptico está inteiro e expandindo a curva no fim da fibra, não foi verificada nenhuma variação

brusca do sinal retroespalhado antes do início da reflexão de Fresnel. Testando com o OTDR na estação B, a fibra não foi detectada, pois só é visto o pulso de entrada do OTDR.

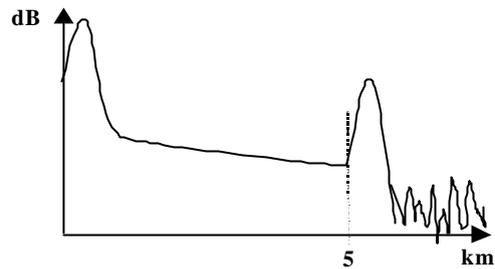


Figura 10: OTDR na estação A

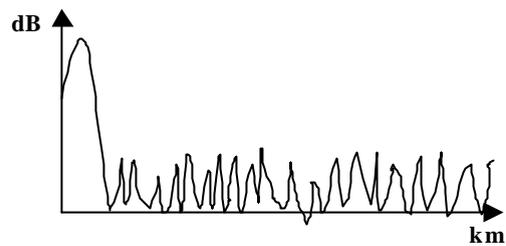


Figura 11: OTDR na estação B

Considerando ainda o OTDR na estação B e configurando-o com uma LP de 10ns (ZME=3m e ZMA=15m), será observado o gráfico da figura 12.

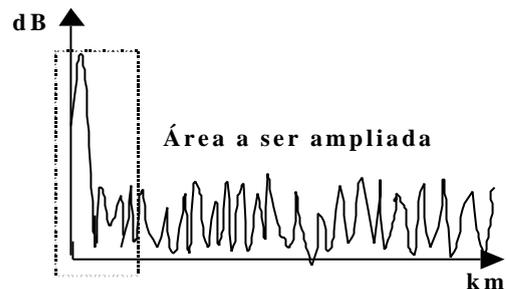


Figura 12: Tela do OTDR com LP=10 ns.

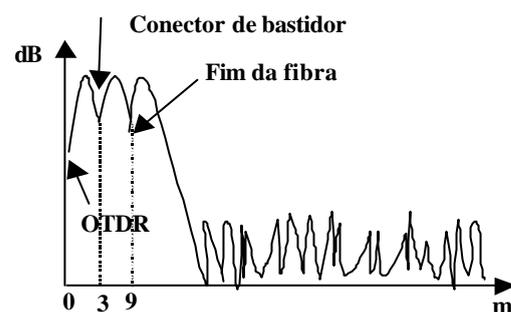


Figura 13: Reflexões de Fresnel ampliadas e a identificação do fim da fibra.

O gráfico da figura 12 é muito semelhante ao da figura 11, porém com um pulso um pouco mais estreito, visto que para LP de 10ns as zonas mortas do evento e atenuação são bem menores. Isto possibilita uma análise mais precisa deste pulso. Expandindo a imagem da última reflexão (que nas figuras 11 e 12 aparentam ser apenas uma reflexão), será observado o gráfico da figura 13, onde podemos concluir que a fibra está interrompida a 6m da

conexão do bastidor (DGO ou DIO). Esta afirmação baseia-se no seguinte: na figura 13 existem 3 pulsos, o primeiro é a reflexão na conexão do OTDR, o segundo é a reflexão na conexão do bastidor e o terceiro é a reflexão no fim da fibra. Como os cordões de união (que unem o BEO ao DIO ou a emenda ao conector no DGO) possuem normalmente de 2 a 5m, é possível concluir que a interrupção estará de 1 a 4 metros após a emenda. Neste caso, estava interrompida no ponto de abertura das unidades básicas do cabo óptico e foi danificada por rato que roeu a fibra neste ponto.

A localização exata deste problema não foi detectada antes do teste com o OTDR, pois a unidade básica fica fixada na parte traseira do bastidor (BEO), sendo de difícil visualização, mas com os resultados mostrados pelo OTDR, a fibra foi puxada a partir da emenda e realmente estava solta. Foi então possível iniciar os serviços de manutenção corretiva.

Para minimizar os riscos de novas ocorrências deste caso, algumas medidas podem ser adotadas:

- Desratizar todas as estações (procedimento normal em todas as operadoras, mas às vezes com cronogramas não adequados).

- Colocar uma manta termo-contráctil na saída da unidade básica, não deixando a geléia do cabo exposta, pois esta foi a causa provável do acidente. Este procedimento oferece ainda a vantagem de evitar a ocorrência de curvaturas acentuadas na saída da fibra da unidade básica.

- Instalação de DGO no lugar de BEO/DIO, pois os DGOs oferecem acesso fácil a todas as partes nele distribuídas, facilitando a visualização de qualquer evento semelhante ao caso citado. Esta medida também reduz o espaço físico necessário para a terminação dos cabos ópticos nas estações.

III.1.2. CASO 2 - ROMPIMENTO SEM REFLEXÃO DE FRESNEL A MAIS DE 15 METROS DO BASTIDOR

Caso no ponto do rompimento não seja verificada uma reflexão de Fresnel na tela do OTDR (como observado na figura 13), será verificado, então, o gráfico da figura 14, desde que a interrupção esteja a mais de 15m do bastidor, para um OTDR com ZMA=15m na LP=10ns (menor LP).

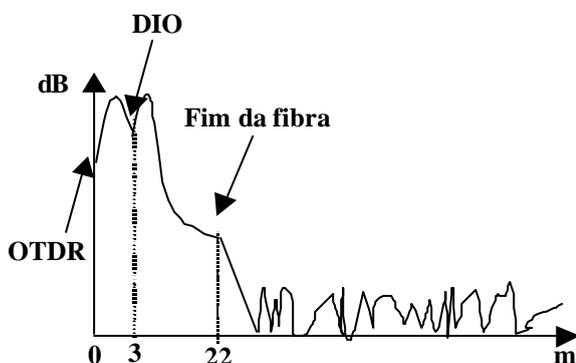


Figura 14: Tela expandida para observar o ponto com descontinuidade do sinal retroespalhado no fim da fibra.

Assim como na figura 13, neste caso, o primeiro pulso é a conexão do OTDR, o segundo a conexão do bastidor, mas não foi observado o terceiro pulso. Porém pode-se observar o início do retroespalhamento do sinal na fibra e a queda do sinal sem a reflexão de Fresnel. É possível afirmar, então, que o problema está a 19m da conexão no bastidor. Avaliando o comprimento do cordão de união e as sobras de cabo na estação, foi verificado que a interrupção estava na galeria da estação. Esta interrupção foi provocada por esforço no cabo, pois o mesmo foi dobrado durante os serviços de instalação de novos cabos na estação. A acomodação do cabo na galeria foi suficiente para o restabelecimento do sistema óptico.

Para minimizar os riscos de novas ocorrências deste tipo, as seguintes medidas podem ser adotadas:

- cabos ópticos devem ser acomodados em dutos, degraus e esteiras independentes dos cabos metálicos (que são mais pesados e mais rígidos).

- acompanhar/orientar todas as pessoas que forem prestar serviços em caixas subterrâneas, galerias ou outras áreas onde existem cabos ópticos e informá-las sobre a sensibilidade da fibra à curvatura acentuada do cabo.

III.1.3. CASO 3 – ROMPIMENTO SEM REFLEXÃO DE FRESNEL A MENOS DE 15M DO BASTIDOR

Caso na medida com o menor pulso não seja possível visualizar o início do retroespalhamento na fibra, existem três alternativas para, a partir daí, podermos avaliar a distância até o problema:

- Fazer verificação visual, visto que 15m é uma distância pequena o suficiente para uma rápida avaliação;
- Trocar o cordão de união, pois se o problema estiver nele, a segunda reflexão de Fresnel já é o fim da fibra;
- Colocar uma bobina de teste conectada em uma extremidade ao OTDR e emendá-la à fibra em teste na outra extremidade. A bobina ficará no lugar do cordão de união.

Como o tamanho da bobina é conhecido (200 metros para o exemplo), será verificada uma emenda nesta distância com ZME=3m, ou seja, o degrau da emenda irá ocupar 3m na tela do OTDR. Será observado um trecho de fibra antes da queda do sinal, como mostra a figura 15. Neste caso a fibra estava interrompida a 10m da emenda.

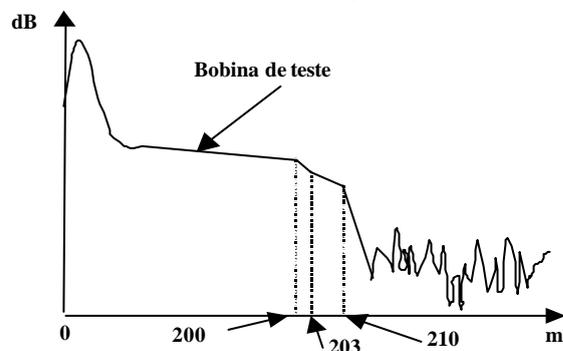


Figura 15: Gráfico expandido em uma fibra testada com bobina de teste.

Este caso foi observado em um cabo aéreo com emendas enterradas no leito de uma rodovia. No teste com o OTDR, foi verificado o rompimento a 22km da estação A, sendo que o enlace era de 70km. Havia uma emenda no ponto verificado, mas nada de anormal foi detectado nesta emenda, a mesma foi refeita e o problema persistia. Levando o OTDR até a emenda, foram feitos testes nas direções das duas estações. O teste indicou que em direção a estação A, não havia problema, mas também indicou que não havia sinal óptico na tela do OTDR, na direção da estação B, isso mesmo com LP=10 ns. Após o teste com a bobina, verificamos que o problema estava a 10m da emenda, que correspondia à distância até a curva da subida lateral junto ao poste. Foi então aberta a vala da caixa subterrânea até o poste (2 metros) e foi verificado que não havia curva na base do tubo de ferro. O que ocorreu foi que o mesmo havia descido e estava provocando um esforço no cabo. O tubo foi alteado e fixado ao poste, o cabo foi acomodado e desamassado e o sistema normalizou.

Para minimizar os riscos de novas ocorrências deste tipo, as seguintes medidas podem ser adotadas:

- (a) Exigir a instalação de curvas na base de toda subida lateral, antes da implantação do cabo;
- (b) Orientar todas as pessoas que forem prestar serviços de lançamento de cabos ópticos sobre a sensibilidade a curvaturas acentuadas no cabo.

III.2. CASOS DE EVENTOS DISTANTES DO PONTO DE TESTE

III.2.1. CASO 4 - EVENTO FANTASMA (GHOST)

Fantasmas são pulsos que aparecem na tela do OTDR em pontos onde não existe interface fibra/ar. São reflexões de Fresnel sendo retransmitidas pela fibra repetidas vezes, ou seja, a reflexão de Fresnel “viaja” de volta pela fibra e quando chega à outra interface fibra/ar, haverá uma reflexão de Fresnel da primeira reflexão. Esta reflexão da reflexão de Fresnel irá “viajar” pela fibra no mesmo sentido do sinal transmitido e na interface fibra/ar haverá outra reflexão de Fresnel. Se o nível do sinal desta terceira reflexão for superior ao do retroespalhamento do sinal original, aparecerá um pulso na tela do OTDR neste ponto. A curva do sinal retroespalhado antes e após o fantasma não sofrerá nenhuma modificação, mas o trecho onde aparece o fantasma não poderá ser analisado com precisão. Desta forma, se houver algum evento neste trecho, não será possível precisar a distância até este evento.

Os fantasmas aparecem com mais frequência em OTDRs com fibra interna. Para um OTDR com 200metros de fibra interna, é comum a presença de fantasmas nas distâncias múltiplas de 200 metros, como mostrado na figura 16. Alguns enlaces curtos, normalmente com menos de 10 km, costumam representar uma curva fantasma atenuado de pelo menos 14 dB em relação a curva real. Isto pode ocorrer quando o conector na outra extremidade não for APC e estivermos utilizando um

OTDR com grande alcance dinâmico. A Figura 17 mostra um exemplo de curva fantasma.

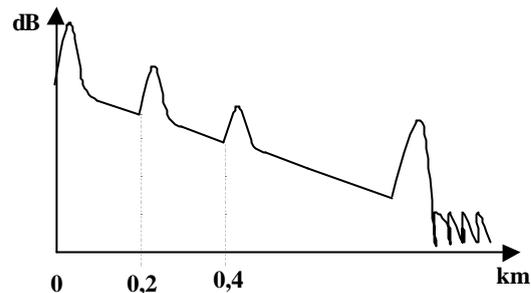


Figura 16: Tela de um OTDR com 200 metros de fibra interna, mostrando dois fantasmas, a 200 e 400 metros.

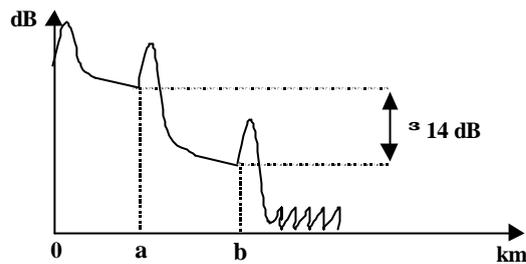


Figura 17: Tela de um OTDR com curva fantasma. Neste caso, $b = 2 \cdot a$

III.2.2. CASO 5 - EVENTOS NÃO-REFLEXIVOS MUITO PRÓXIMOS ENTRE SI

Quando existem dois eventos não-reflexivos muito próximos, dependendo da largura de pulso aplicada os dois podem se misturar gerando uma distorção na curva do OTDR como mostrado na figura 18.

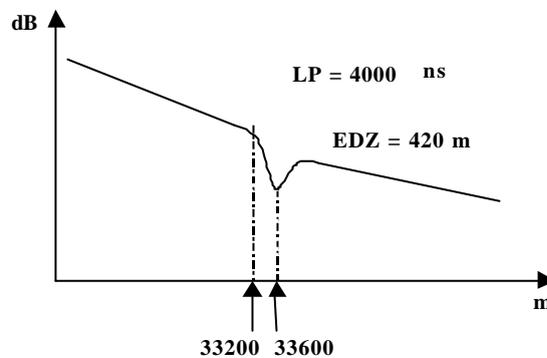


Figura 18: gráfico ampliado no ponto com dois eventos próximos, com LP=4000ns.

Para uma boa interpretação deste evento, deve-se fazer nova medição com uma LP menor. Para este exemplo foi utilizado uma LP de 1000ns (a primeira medição havia sido feita com 4000ns). Pode-se observar nitidamente na figura 19 o início e fim dos dois eventos.

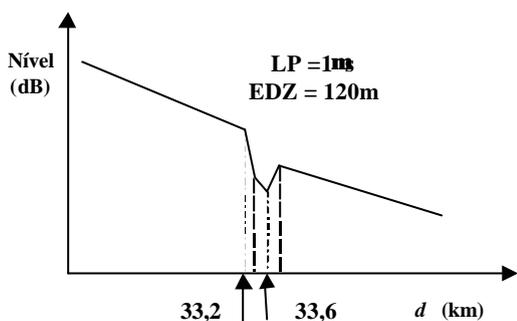


Figura 19: gráfico ampliado no ponto com dois eventos próximos, com $LP=1000ns$.

É importante aqui ressaltarmos que na figura 18 os dois eventos consecutivos geram a falsa impressão de um pulso negativo. Porém isto não seria possível, visto que para haver um pulso negativo do sinal retroespalhado seria necessário uma redução brusca do sinal retroespalhado e depois de um tempo o retorno do sinal. Neste caso, o que acontece é que temos uma emenda com atenuação e depois uma emenda com ganho, como pode ser observado na figura 19. Esta atenuação seguida de um ganho muito próximo, pode gerar esse erro de interpretação se o OTDR estiver configurado com uma largura de pulso grande. De qualquer forma, vale ressaltar que não existe nenhuma possibilidade de haver um pulso negativo, o que ocorreu foi apenas o efeito da mistura de dois eventos não-reflexivos.

IV CONCLUSÕES

Como foi verificado ao longo desse trabalho, a atenuação é um parâmetro muito significativo também nas redes ópticas atuais. O OTDR continua sendo o melhor instrumento para gerenciar e garantir a confiabilidade dos parâmetros de atenuação destas redes. De maneira geral, o operador do OTDR deve sempre se lembrar que o parâmetro mais significativo na configuração de um OTDR é a largura do pulso que será utilizada no teste. Sendo assim, na grande maioria dos casos, a escolha correta da largura de pulso será suficiente para solucionar o problema. Como regra básica, para enlaces longos são utilizados pulsos maiores e para enlaces curtos são utilizados pulsos menores, entretanto, quando existe um problema em um ponto específico do enlace, o operador do OTDR precisa se lembrar de desprezar o resto do enlace e escolher a largura de pulso adequada para o evento em questão.

Para os técnicos de campo, muitas vezes, as literaturas existentes são muito complexas, dificultando a correta interpretação do texto. Acreditamos que este trabalho possa auxiliar no aprendizado destes técnicos, viabilizando a realização de testes de atenuação confiáveis na instalação e manutenção das redes ópticas. Sabemos que outros problemas e dúvidas não abordados neste trabalho possam surgir, mas é praticamente impossível esgotar todas as possibilidades. Mas sabemos também que os exemplos citados se não forem idênticos aos que estiverem sendo analisados em campo, podem pelo menos servir de referência para um novo estudo de

caso. Nesse sentido, acreditamos que seja útil a elaboração de trabalhos semelhantes a esse, enfocando-se os diversos instrumentos de medida existentes no mercado.

Para a verificação dos sistemas ópticos atuais, vários parâmetros novos precisam ser avaliados. Em função disso, diversos equipamentos têm sido oferecidos pelos fabricantes no intuito de garantir a qualidade desejada, principalmente para sistemas DWDM. Entre os principais equipamentos disponíveis no mercado, podemos citar:

- (a) OSA - Analisador de espectro óptico;
- (b) MWM - Medidor de multi comprimento de onda;
- (c) Medidor de dispersão cromática;
- (d) Medidor de PMD.

A correta interpretação dos resultados apresentados pelos instrumentos é essencial para assegurar a qualidade das redes e também para possibilitar a correta e rápida solução de problemas detectados nos sistemas em operação.

BIBLIOGRAFIA

- [01]PADILHA, C.A., ARAÚJO, J.R.M. e GORDO, S.D. – *Medidas com OTDR*, Rio de Janeiro, Anritsu, 1995
- [02]ABBADE, A.L.R. e CAPUTO, M.R.C., *Aplicação do OTDR na Análise de Problemas de Atenuação em Fibras Ópticas: Estudo de Casos*, Monografia de conclusão do curso de Especialização em Engenharia de Redes e Sistemas de Telecomunicações, INATEL, 2002.
- [03]CAPUTO, Maria R.C., *Sistemas de comunicações ópticas*, Santa Rita do Sapucaí, INATEL, versão 2001.
- [04]TEKTRONIX – *Optical Time-Domain Reflectometry*, Tektronix, 2000.
- [05]RIBEIRO, José A.J. – *Fundamentos de comunicações ópticas*, Santa Rita do Sapucaí, INATEL, 1999.
- [06]KEISER, Gerd – *Optical fiber communications*. New York, McGraw-Hill, 1983.
- [07]HEWLETT-PACKARD – *Usando um Refletômetro Óptico(OTDR) para Diagnosticar Falhas na Rede Óptica*, Brasil, HEWLETT-PACKARD, 1999.
- [08]TELECOMUNICAÇÕES BRASILEIRAS – *Especificação funcional e por desempenho de refletômetro óptico monomodo - Prática 235-700-725*, Maio, 1994.
- [09]Laferrrière, J., Taws, R. e Wolszczak, S. – *Guide to fiber optic measurements*, WAVETEK, France, March, 1998.

André Luis da Rocha Abbade nasceu em São José do Rio Preto-SP em 1967. Em 1990 e 2002, obteve respectivamente os títulos de Engenheiro Eletricista e Especialista em Engenharia de Redes e Sistemas de Telecomunicações pelo Inatel. Atuou como engenheiro de processos de 1990 a 1991 na NEC do Brasil. Atuou como engenheiro responsável em diversas obras de rede externa de telefonia nas empreiteiras SIRET e ARCOS de 1991 a 1994. Atuou como engenheiro da TELEMIG/TELEMAR no período de 1994 a 2001, ocupando diversos cargos nas áreas de implantação de redes até 1998 e de

operação e manutenção de rede de acesso e de transporte até 2001. Foi professor no Inatel no período de 1999 a 2001 da disciplina de Técnicas de Atendimento a Terminais e atualmente ocupa o cargo de Gerente de Treinamento do Inatel Competence Center. Atualmente faz mestrado no Inatel.

Maria Regina Campos Caputo: engenheira pelo INATEL (1975), doutora pela UFMG (2000). Atualmente é professora (tempo integral) no INATEL (graduação e mestrado) e consultora na SOLITTONS Engenharia de Telecomunicações Ltda. Trabalhou com planejamento, projeto e implantação de sistemas de telecomunicações via rádio e por fibras ópticas nas empresas de consultoria técnica Engevix Engenharia S.A, Belo Horizonte (1985 à 1989) e Main Engenharia S.A., São Paulo (1983 à 1985); na Italtel Società Italiana Telecomunicazione, em Belo Horizonte (1979 à 1982); na ESCELSA- Espírito Santo Centrais Elétricas S.A., Vitória/ES ES (1978 à 1981). Nesses períodos executou serviços para as empresas: Eletronorte, Furnas, Itaipu Binacional, Chesf, Eletrosul e Cemig. Integrou comissões da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Possui publicações técnicas em revistas nacionais e internacionais e obteve os seguintes prêmios: Prêmio Telexpo/Equitel (3.º lugar-1995), Prêmio Telexpo/Equitel (2.º lugar-1996) e Prêmio Telexpo/Equitel (4.º lugar-1999). No Inatel integra o grupo de pesquisa de Microondas e Comunicações Ópticas, que inclui a linha de pesquisa em Sistemas DWDM, na qual orienta alunos de Mestrado e alunos de Especialização. Integra o corpo de editores de área da Revista de Telecomunicações do Inatel.