

NT 234

2014

## **Análise de fibras ópticas com a utilização de OTDR A experiência do Projeto “Itaquerão”**

**Wesley Felipe Alves Monteiro<sup>(1)</sup> - autor**

***Revisão técnica***

*Cláudio Pires*

*Denise Lima Lopes*

*Pedro de Angelo*

*Sun Hsien Ming*

*Virgílio dos Santos*

### **Introdução**

Em função da realização da Copa do Mundo 2014 no Brasil e a consequente construção da Arena de São Paulo em Itaquera (também conhecida como “Itaquerão”), foi elaborado um projeto de mobilidade para seu entorno, contemplando a implementação de equipamentos de controle e monitoramento de tráfego em tempo real.

Para atender a esse objetivo, o referido projeto previu a utilização dos mais variados tipos de equipamentos. Assim, foram instalados controladores semafóricos eletrônicos para o sistema de controle semafórico em tempo real, câmeras de monitoramento e, inclusive, Painéis de Mensagens Variáveis – PMVs, todos interligados às centrais e subestações de controle e monitoramento por meio de uma rede de fibra óptica.

Essa rede de fibra óptica interligou a Central de Operações da CET (localizada na Rua Bela Cintra, na região da Av. Paulista), com o Centro de Controle Leste (localizado no Centro de Itaquera, na extremidade leste da cidade de São Paulo), passando pela região da Arena de São Paulo e do entorno das alças do complexo viário denominado Jacu-Pêssego.

---

<sup>1</sup> Wesley é estudante do 4º ano do curso de Engenharia Elétrica e é estagiário da CET. Trabalha na GTI desde 18/12/2013.

Com uma extensão aproximada de 32 km, esta rede interligou ainda, ao longo do seu percurso, a Subestação do Túnel<sup>(2)</sup> e dois Centros de Controle regionais: as Centrais de Tráfego em Área (CTA) 3 e 4.

Sabendo que a rede de fibra óptica seria parte essencial e vital ao projeto em si, um rigoroso teste desta rede foi planejado e executado. O procedimento de teste, com a utilização do equipamento denominado de OTDR (*Optical Time-Domain Reflectometer*), será o foco desta Nota Técnica, apresentando a descrição do método e dos resultados obtidos na sua aplicação.

### **Por que uma rede de Fibra Óptica?**

Até alguns anos atrás, os sistemas de monitoramento e controle de tráfego eram predominantemente analógicos. No caso particular do sistema semafórico, a comunicação de dados era feita por meio de modems de sinais analógicos trafegando numa rede de cabos telefônicos.

Com o advento de sistemas digitais e o uso cada vez mais intensivo do protocolo IP (*Internet Protocol*), ficou inviabilizado o uso de cabos metálicos nas redes de transmissão de dados (ver as razões no item 3 a seguir), daí o grande avanço no uso de redes de fibra óptica. Ao contrário das operadoras de telecomunicação, a opção pelo uso de fibra óptica em sistemas de controle e monitoramento de tráfego (com exceção do sistema de câmeras de CFTV) não se deve à capacidade de largura de banda (quantidade de informação que a rede pode transportar por unidade de tempo). No sistema semafórico, por exemplo, o tráfego de dados é baixíssimo. Entretanto, o sistema semafórico exige condições de baixa latência (tempo que uma unidade de informação leva para transitar pela rede de um ponto a outro) e grandes distâncias.

---

<sup>2</sup> A Subestação do Túnel é uma edificação especialmente construída para abrigar os equipamentos responsáveis pelo sistema de alimentação elétrica, monitoramento e controle de ventilação, fumaça, incêndio, etc. do túnel próximo da Arena de São Paulo. A Subestação também concentra toda a comunicação de dados entre os equipamentos de tráfego (controladores de semáforos, câmeras de CFTV, etc.) com a CTA-3.

## Características de uma rede de fibra óptica

A fibra óptica tem como uma de suas principais características vantajosas uma perda de potência, por quilômetro, muito menor do que os sistemas que utilizam cabos metálicos.

Por exemplo, um cabo coaxial operando na faixa de frequência de 5 GHz pode apresentar perda superior a 100 dB/km<sup>(3)</sup>, enquanto que as modernas fibras ópticas podem apresentar valores da ordem de 0,2 e 0,3 dB/km, operando nos comprimentos de onda de 1550 e 1310 nanômetros, respectivamente.

Por meio de uma breve análise, é possível destacar alguns fatores, prós e contras, na utilização de fibras ópticas em projetos de comunicação.

Os fatores positivos da fibra óptica são:

- ✓ Baixa atenuação de sinal (alcança grandes distâncias sem repetidor);
- ✓ Maior capacidade de transmissão de dados (largura de banda);
- ✓ Grande redução nas dimensões e no peso dos cabos quando comparados com os cabos metálicos, principalmente no caso de cabos coaxiais;
- ✓ Condutividade elétrica nula;
- ✓ Imunidade a fatores externos, como interferência eletromagnética e umidade;
- ✓ Imunidade a oxidação;
- ✓ Elevada qualidade de transmissão (baixo ruído);
- ✓ Possibilidade de transmissão de muitos canais de comunicação independentes numa mesma fibra por meio de multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM);
- ✓ Redução de furtos de cabos, devido ao baixo valor de revenda, comparado aos cabos de cobre.

Já os fatores negativos são:

---

<sup>3</sup> dB/km: Unidade de medida para atenuação de um sinal ao longo de uma distância. **dB** é um número relativo e permite representar relações entre duas grandezas de mesmo tipo, tais como relações de potências. Portanto, é uma unidade que permite definir ganhos e atenuações de sinais. Por definição, uma quantidade **Q** em **dB** é igual a 10 vezes o logaritmo decimal da relação de duas potências, ou seja:  $Q(\text{dB}) = 10 \log (P1/P2)$ . Observe que 0 dB (zero dB) equivale a uma relação de 1; 3 dB equivale a uma relação de 2 e 10 dB equivale a uma relação de 10. Resumindo: +3 dB equivale a multiplicar por 2; +10 dB equivale a multiplicar por 10; -3 dB equivale a dividir por 2; -10 dB equivale a dividir por 10.

- ✗ Custo elevado para sistemas de pequenas larguras de banda;
- ✗ Custo elevado para transmissão em pequenas distâncias;
- ✗ Custo elevado dos equipamentos de transmissão;
- ✗ Inviabilidade para transmissão de energia junto ao sinal de transmissão (por exemplo: *Power over Ethernet* – PoE<sup>(4)</sup>);
- ✗ Elevada atenuação em conexões;
- ✗ Maior complexidade na realização de emendas;
- ✗ Maior complexidade nas derivações;
- ✗ Perda de potência do sinal em derivações passivas;
- ✗ Limitação de raio de curvatura;
- ✗ Fragilidade;
- ✗ Sensibilidade à irradiação.

Embora as características vantajosas das fibras ópticas superem, em muito, suas desvantagens, alguns efeitos indesejáveis devem ser conhecidos, já que precisam ser considerados na hora de se fazer o projeto.

### Estrutura básica da fibra óptica

A estrutura básica de uma fibra óptica consiste em um núcleo e uma casca como mostra a Figura 1. O núcleo e a casca possuem um índice de refração  $Nn$  e  $Nc$ , respectivamente, sendo que  $Nn < Nc$ .

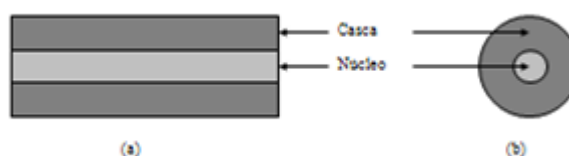


Figura 1: (a) Vista Longitudinal e (b) em corte transversal de uma fibra óptica, apresentando o núcleo e a casca, sem as suas camadas de proteção.

<sup>4</sup> PoE: É um padrão que permite transmitir energia elétrica usando o próprio cabo de rede, juntamente com os dados. Para o PoE, o padrão utilizado é o IEEE 802.3af.

Devido à sua fragilidade, a fibra óptica é revestida de elementos que lhe dão sustentação como mostra a Figura 2, concedendo assim, maior flexibilidade e facilitando seu manuseio.

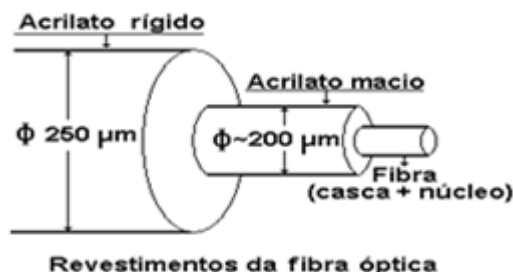


Figura 2 – Estrutura básica da fibra óptica com revestimentos.

As fibras ópticas possuem dois tipos diferentes de estruturas básicas, sendo elas do tipo monomodo e multimodo. A fibra óptica do tipo monomodo possui o diâmetro do seu núcleo muito reduzido ( $< 9\mu\text{m}$ ), e como consequência, isto permite que apenas um único modo (propagação da onda de luz) passe pela fibra. Estas fibras possuem uma atenuação muito baixa e grande largura de banda. Já a fibra óptica do tipo multimodo possui um diâmetro muito maior do que a fibra do tipo monomodo ( $> 100\mu\text{m}$ ), o que permite a passagem de múltiplos modos (através do processo de modulação de sinal). Estas Fibras possuem uma grande atenuação e uma largura de banda pequena. Consequentemente, as fibras multimodos são utilizadas em redes de pequenos alcances (redes locais  $< 300\text{m}$ ), enquanto fibras do tipo monomodo são aplicadas em redes de longa distância ( $> 1000\text{m}$ ).

A CET possui uma especificação técnica para cabos de fibras ópticas que está disponível em seu site, na seção de especificações técnicas ([Rede de cabos de fibra óptica CET](#)). Com base nessa especificação, a CET estipula que os cabos de fibras ópticas utilizados em seus projetos devem ser do tipo monomodo (devido às longas distâncias da rede) e atendam o padrão ITU-T G.852D ou superior.

Um exemplo de cabo que atende à especificação da CET é representado pela Figura 3, onde a estrutura de um cabo do tipo CFOA-SM-DD-G é apresentada.

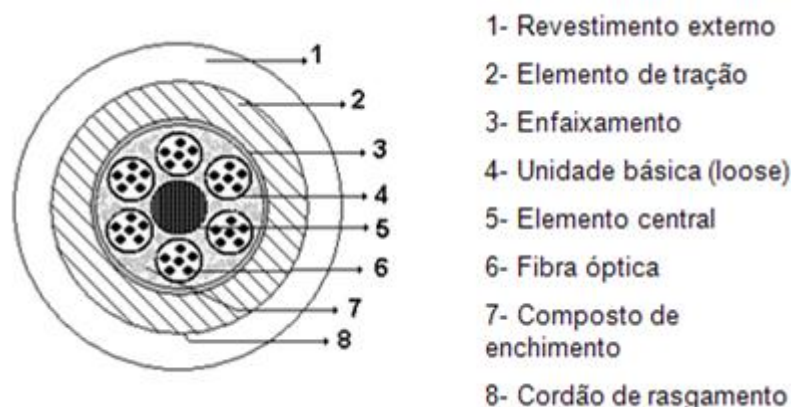


Figura 3 – Estrutura do cabo óptico tipo – CFOA-SM-DD-G.

A nomenclatura (definida pela ABNT) deste cabo significa:

- ✓ CFOA – Cabo Fibra Óptica com revestimento de fibra “Acrilato”;
- ✓ SM – *Single Mode* (Monomodo);
- ✓ DD – “Aplicação do Cabo”: Dielétrico para instalações em Dutos;
- ✓ G – Núcleo Geleado.

A evolução constante da estrutura do cabo de fibra óptica tem melhorado significativamente seu coeficiente de atenuação (atenuação por quilômetro). Ressalta-se, no entanto, que as perdas por atenuação são causadas não apenas pelo coeficiente de atenuação da fibra, mas são causadas, também, pela existência de emendas ópticas, fissuras, conectores ópticos, macro curvaturas e envelhecimento da fibra. Tirando o envelhecimento da fibra, todos os eventos citados podem ser detectados e mensurados por meio de um teste com a utilização do OTDR.

Mas antes de falar do OTDR, é preciso dar uma pequena ênfase nas emendas.

### Emendas Ópticas

Uma emenda óptica consiste na junção de dois ou mais segmentos de fibras, podendo ser permanente ou temporária, com o intuito de prolongar um cabo óptico. Uma mudança no tipo de cabo feita por uma emenda é possível desde que o tipo de fibra no novo cabo seja o mesmo. Por exemplo, a derivação de duas fibras de um cabo de 12 fibras é emendada em um cabo de 8 fibras.

As emendas ópticas devem possuir as seguintes características básicas:

- ✓ **Baixa atenuação:** típica de 0,01 a 0,5 dB por emenda;
- ✓ **Alta estabilidade mecânica:** cerca de 4 kgf de tração longitudinal;

As emendas ópticas possuem três tipos de técnicas de confecção, sendo que, para cada tipo de técnica, a emenda contém uma característica com implicações distintas quanto às perdas, facilidades operacionais, custo e etc.

As três técnicas de emendas ópticas são:

- ✓ **Emenda por Fusão:** as fibras são fundidas entre si;
- ✓ **Emenda mecânica:** as fibras são unidas por meios mecânicos;
- ✓ **Emenda por conectorização:** são aplicados conectores ópticos.

Dentre estas três técnicas de emendas, as emendas ópticas por fusão apresentam atenuações bem menores do que as mecânicas, que por sua vez, apresentam atenuações menores que em conectores ópticos.

Com a modernização dos equipamentos empregados no processo de emenda e a constante melhoria na qualidade da fabricação da fibra, a atenuação nas emendas possui como limites máximos 0,5dB para conectores e 0,1dB para emendas por fusão.

Antes de iniciar o processo de fusão, é preciso descascar e clivar a fibra óptica por meio de um equipamento conhecido como Clivador (Figura 4), para que a superfície cortada da fibra fique perfeitamente lisa e perpendicular ao alinhamento da fibra. Os núcleos das duas fibras devem estar perfeitamente centralizados e alinhados para que a fusão fique perfeita.

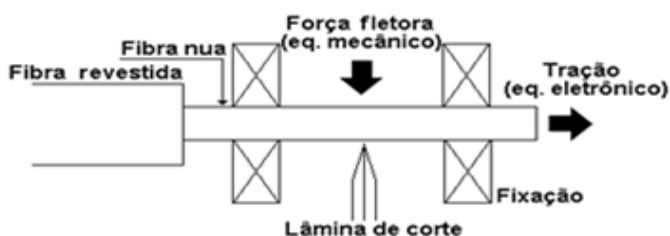


Figura 4 – Clivagem da fibra óptica

O processo de emenda por fusão utilizada atualmente consiste em soldar com uma máquina de fusão as extremidades das duas fibras ópticas como mostra a Figura 5. O processo se restringe a fibras compostas exclusivamente por sílica (ou outro vidro).

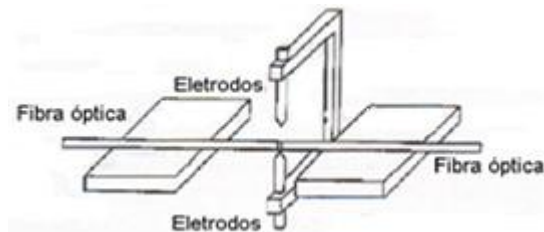


Figura 5 – Esquemático do dispositivo de fusão de fibras.

Com base na especificação da CET, o tipo de emenda utilizada para fazer a junção dos segmentos de fibra óptica é aquele obtido por meio do processo de fusão, devido a sua baixa atenuação. A atenuação máxima especificada no projeto é de 0,06 dB por emenda.

### **A Rede de Fibra Óptica do “Itaquerão”**

O trecho da rede testado foi referente ao cabo de fibra óptica principal que contém 48 fibras. Este cabo interliga a CTA-3 com a Subestação do Túnel que fica próxima à Arena de São Paulo.

O diagrama unifilar que é apresentado na Figura 6 mostra o trecho onde a fibra óptica passa e quantas emendas possuem.



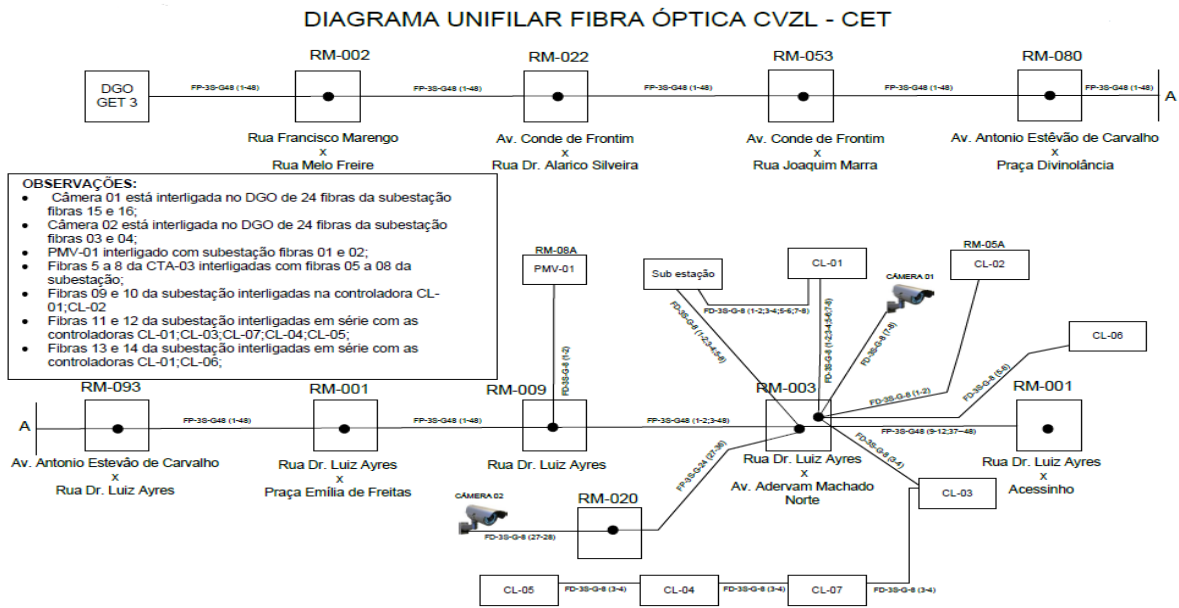


Figura 6 – Diagrama unifilar fibra óptica – Primeiro teste.

Seguindo o diagrama unifilar, o trecho testado contém as seguintes informações:

1. **Ligação Principal:** Cabo de Fibra Óptica de 48 Fibras;
2. **Emendas no Cabo Principal:** Fusão, 8 emendas;
3. **Distância total do trecho testado:** 16,2Km.

A distância entre as emendas também é conhecida e é apresentada na Tabela 1. Este dado é de suma importância, pois devido à baixa atenuação de uma emenda por fusão, o OTDR pode não detectar a emenda como um evento de atenuação. Sendo assim, é necessário fazer o cálculo de atenuação nesta região de forma manual por meio do software de análise do OTDR.

Emenda	1	2	3	4	5	6	7	8
Distância (Km)	2,5	4,25	6,75	9,25	10,5	12,8	14,25	15,3

Tabela 1 – Distância entre emendas no cabo de 48 fibras.

Com estas informações sobre o projeto, o teste de OTDR foi realizado e seu processo será descrito a seguir.

## Reflectômetros Ópticos no Domínio do Tempo (OTDR)

Para a verificação da qualidade de enlaces ópticos, o Reflectômetro Óptico no Domínio do Tempo (OTDR – *Optical Time Domain Reflectometer*) é o instrumento mais usado atualmente nos testes de atenuação em fibras ópticas. O OTDR pode medir e exibir graficamente:

- ✓ Atenuação na emenda;
- ✓ Atenuação total em distâncias específicas (trechos de fibra);
- ✓ Reflectância;
- ✓ Distância até cada falha ou emenda;
- ✓ Comprimento da fibra em teste.

Os testes podem ser realizados em diferentes comprimentos de onda, sendo mais comuns os comprimentos de 1310nm e 1550nm. De forma resumida, podemos descrever o funcionamento do OTDR por meio de um diagrama em blocos, como mostra a Figura 7.

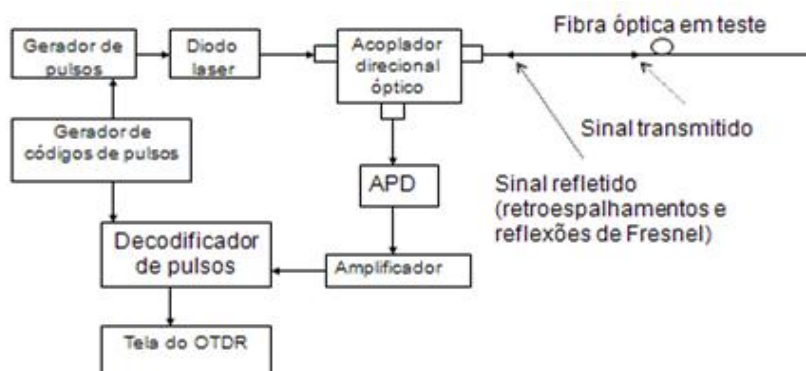


Figura 7 – Diagrama em blocos de um OTDR.

A tela do OTDR apresenta os resultados em um formato gráfico que permite a caracterização do estado da fibra. A Figura 8 mostra como o OTDR plota o gráfico de teste de uma fibra óptica.

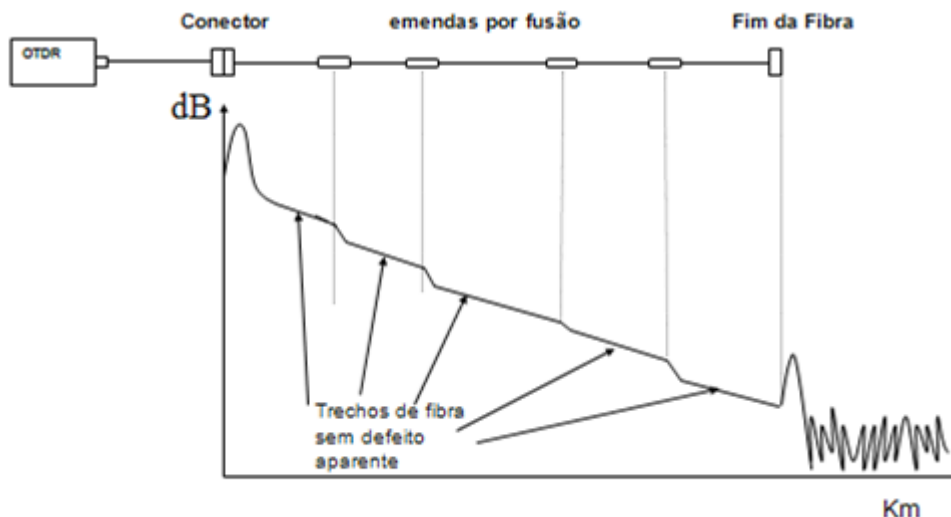


Figura 8 – Curva Típica de um OTDR.

A curva obtida na Figura 8 mostra o nível de luz retroespalhada e picos de reflexão devido às reflexões de Fresnel nos conectores das estações. Aparecem também descontinuidades devido às emendas por fusão. É também mensurável a atenuação na fibra através da inclinação da curva.

A análise do gráfico gerado por um OTDR contém curvas características, ou seja, eventos conhecidos. A Figura 9 demonstra os possíveis eventos detectados pelo OTDR.

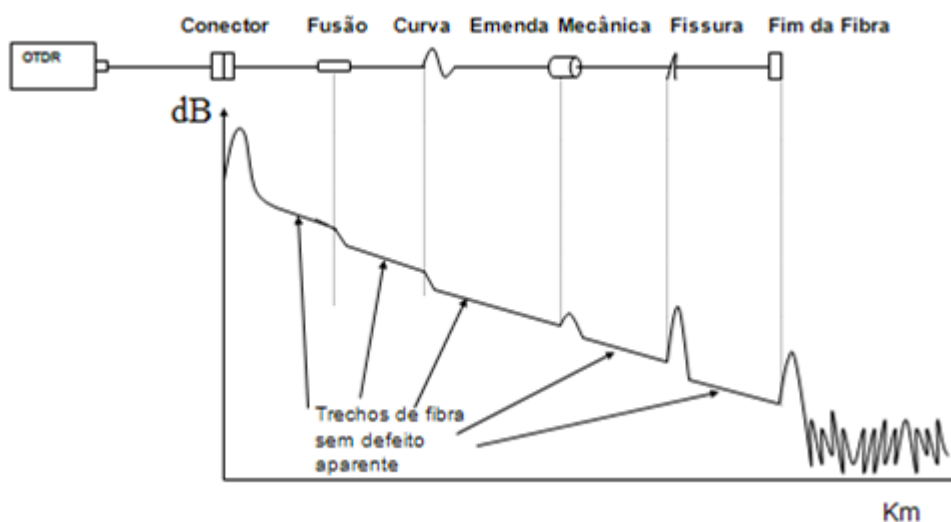


Figura 9 – Curva Típica de um OTDR.

O teste é realizado nos dois sentidos da fibra, e estes sentidos são denominados sentidos A-B e B-A. Essa medição é realizada para fins de aceitação de emenda.

Para a aceitação de emendas, o valor analisado é a média aritmética entre as medidas de atenuação realizadas entre as estações A e B. O valor medido de A para B é a atenuação neste sentido acrescida da diferença entre os coeficientes de retroespalhamento entre as fibras emendadas, ou seja:

$$\frac{AB + \Delta ab + BA + \Delta ba}{2} \leq 0,06$$

Como  $\Delta ab = -\Delta ba$ , temos:

$$\frac{AB + BA}{2} \leq 0,06$$

Se houver diferenças entre os coeficientes de retroespalhamento nos trechos de fibra em análise, o valor medido pelo OTDR não será a perda real da emenda (isso mostra a importância do teste ser efetuado nos dois sentidos da fibra). 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 emenda.

A diferença no coeficiente de retroespalhamento de uma fibra a outra pode fazer com que, na análise de uma emenda, haja certo ganho. Esse ganho superficial é representado pela Figura 10.

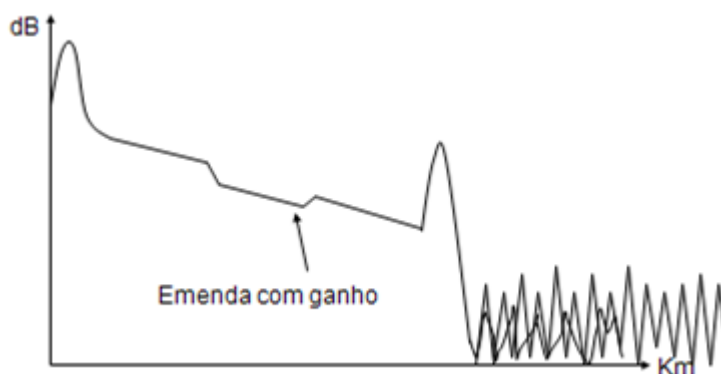


Figura 10 – Gráfico do OTDR com um ganho em uma emenda.

Neste caso, quando se faz a medida no sentido contrário, inverte-se a situação do retroespalhamento, fazendo com que este suposto ganho se torne um degrau de atenuação de valor consideravelmente alto.

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.

### Primeiro teste em campo

O teste do cabo de fibra óptica de 48 fibras, que interliga a CTA-3 e a Subestação do túnel, foi iniciado na própria CTA-3, tornando-a assim o ponto de referência A. O ponto de referência B é definido de acordo com o número da fibra, já que o cabo contém pequenas derivações no decorrer do trajeto. Os pares de fibra e seus pontos de referência B estão descritos na Tabela 2.

Fibras	Caixa de emenda Ponto B	Tamanho da fibra (Km)	Emendas na fibra
<b>1 e 2</b>	RM-009	14,25	6
<b>3 – 8</b>	RM-003	15,30	7
<b>9 – 12</b>	RM-001	16,20	8
<b>13 – 26</b>	RM-003	15,30	7
<b>27 – 36</b>	RM-020	16,40	8
<b>37 – 48</b>	RM-001	16,20	8

Tabela 2 – Ponto de referência B para traçado de OTDR.

O teste foi realizado pela empresa responsável pela instalação do cabo, sem o acompanhamento da CET e o equipamento utilizado para a realização do teste foi o OTDR MT9090A – MU909014B1 (Figura 11), fabricado pela Anritsu.



Figura 11 – OTDR Anritsu MT9090A.

O aparelho foi conectado a uma bobina de fibra óptica (como mostra a Figura 12) cujo comprimento da fibra era de aproximadamente 1000m, para que houvesse uma pequena atenuação conhecida e que, conseqüentemente, ocorresse uma garantia de estabilidade no sinal de entrada da fibra.

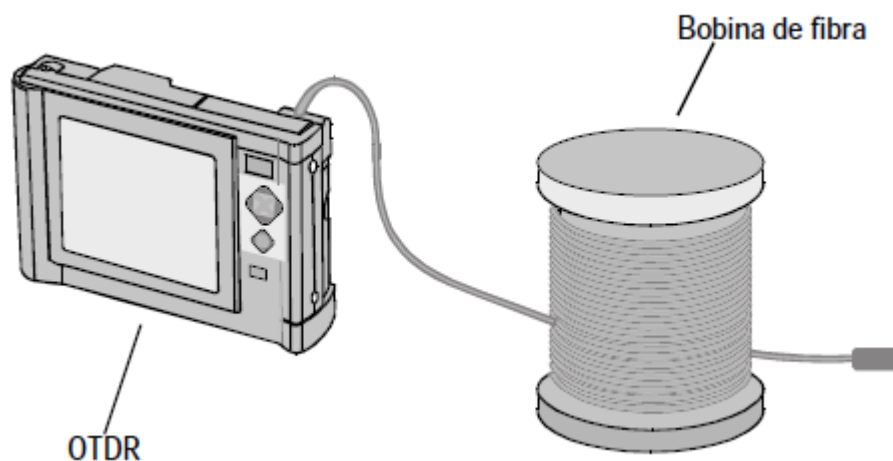


Figura 12 – Conexão do OTDR.

Por fim, os testes foram realizados e os gráficos do OTDR foram emitidos. A empresa responsável pelo teste enviou para a CET os gráficos já analisados e com os seus resultados básicos já explicitados em arquivos PDF.

Um exemplo dos dados obtidos pelo OTDR enviado pela empresa está representado pela Figura 13. Este teste foi realizado na fibra número 39 e suas características são:

- ✓ Comprimento: 16,2km;
- ✓ Emendas: 8;
- ✓ Sentido do teste: A-B;
- ✓ Comprimento de onda utilizado no teste: 1310nm.

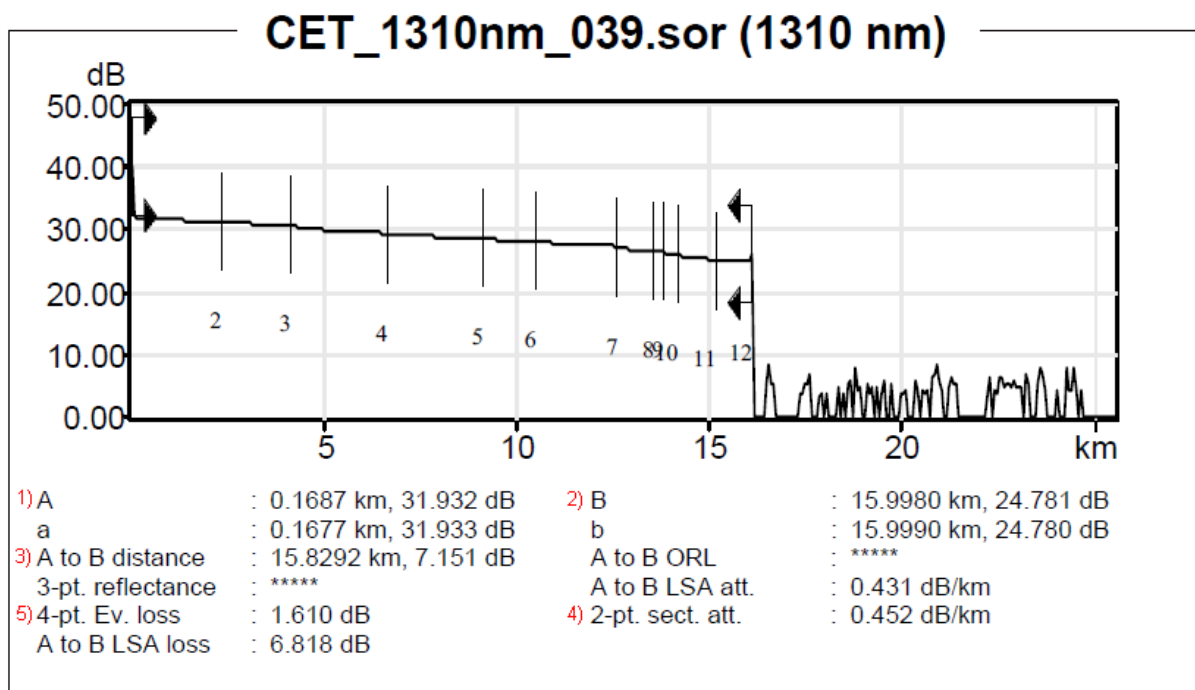


Figura 13 – OTDR 1310nm Fibra 39 sentido A-B.

Nesta análise, as informações evidenciadas são:

- 1) Referência no ponto A;
- 2) Referência no ponto B;
- 3) Distância e atenuação entre os pontos A e B;
- 4) Coeficiente de Atenuação entre A e B;
- 5) Atenuação total causada por Eventos;

Com estas informações, o processo adotado para aceitação da fibra foi realizado da seguinte forma:

1. A perda total por evento foi dividida pelo número total de emendas do projeto, resultando assim, em um valor médio de perda por emenda.

Sendo assim, temos:

$$\frac{\text{Perda Evento}}{\text{Emendas}} = \frac{1,610}{8} = 0,20125\text{dB/Emenda}$$

2. A média de perdas por emenda no sentido A-B é de 0,20125dB/emenda. No teste realizado no sentido B-A, a média de perdas por emenda foi de 0,219375dB/Emenda. Com estes dois valores, o cálculo da média aritmética foi realizado para descobrir se a fibra está em conformidade com o valor especificado:

$$\frac{AB + BA}{2} = \frac{0,20125 + 0,21938}{2} = 0,210315\text{dB/Emenda}$$

3. O resultado deve ter um valor de atenuação menor ou igual a 0,06dB para receber o aceite. Neste caso, com os dados obtidos, o valor médio da atenuação por emenda na fibra 39 está muito acima do valor especificado para o projeto (350% maior!).

Vale ressaltar que o valor das perdas por emenda obtido neste processo é o valor *médio*; ou seja, não foi possível analisar de forma precisa a atenuação de cada ponto de emenda do cabo devido ao fato de que a empresa responsável pelo teste enviou os arquivos de resultados dos testes no formato PDF e não no formato SOR (Formato de arquivo próprio do software de visualização do OTDR). Com os arquivos em PDF, não é possível conseguir a ampliação necessária do gráfico para visualizar e calcular a perda na emenda.

O coeficiente de atenuação dado pelo OTDR na fibra 39 inclui as perdas geradas pelas emendas. Sendo assim, ao multiplicarmos o coeficiente de atenuação pela distância total da fibra, teremos a atenuação total em dB na fibra incluindo as perdas geradas pelas emendas.



A especificação da CET considera o valor do coeficiente de atenuação de 0,40dB/km para o comprimento de onda de 1310nm, mas esse valor não engloba as perdas por emenda. Sendo assim, o cálculo de atenuação esperada na fibra fica:

$$At = \Delta s * \alpha + (ne * Ae)$$

Onde:

- At = Atenuação Total esperada (dB);
- $\Delta s$  = Distância Total (km);
- $\alpha$  = Coeficiente de atenuação (dB/km);
- ne = Número de emendas no cabo;
- Ae = Atenuação por emenda (dB).

Ao aplicar este conceito para análise na fibra 39, temos:

$$At = 15,8292 * 0,40 + 8 * 0,06 = 6,812dB$$

A atenuação esperada para esta fibra é de 6,812dB, sendo este o valor de referência para comparar com o valor da perda obtido pelo OTDR na fibra 39.

Como o teste foi realizado nos sentidos A-B e B-A, o valor utilizado para fazer a comparação de perdas na fibra com o valor de atenuação esperado será a média aritmética entre os valores nos dois sentidos. O resultado será a variação de atenuação ( $\Delta At$ ):

$$\Delta At = \frac{ATab + ATba}{2} - At$$

Aplicando os valores da atenuação medidos no sentido A-B (7,151 dB) e de B-A (7,266 dB) na expressão acima, e subtraindo o valor de referência (6,812 dB), temos:

$$\Delta At = \frac{7,151 + 7,266}{2} - 6,812$$

$$\Delta At = 0,3965dB$$

A variação de atenuação resultou em 0,3965 dB, ou seja, a fibra está atenuando 0,3965 dB a mais do que o valor esperado (6,812 dB). Com este resultado, a fibra número 39 não atende à especificação estipulada pela CET, e, portanto, esta fibra foi reprovada no teste.

Em suma, para que a fibra tenha o aceite neste teste de OTDR, é preciso que a fibra contenha as seguintes características:

- a) A fibra não deve apresentar fissuras, rompimento ou emendas que não sejam do tipo fusão;
- b) As emendas devem apresentar uma atenuação menor ou igual a 0,06 dB;
- c) O coeficiente de atenuação não deve ultrapassar 0,40 dB/km para  $\lambda = 1310\text{nm}$  e 0,25 dB/km para  $\lambda = 1550\text{nm}$ ;
- d) O resultado do cálculo de variação de atenuação deverá ser menor ou igual a zero;
- e) A fibra deve atender todas as condições anteriores nos testes realizados nos comprimentos de onda de 1310nm e 1550nm.

Esta metodologia de análise do OTDR foi aplicada em todas as fibras testadas do cabo. Ao término da análise, foi constatado que:

- ✓ 38% das fibras analisadas estavam fora da especificação da CET;
- ✓ O teste de OTDR não foi realizado nas fibras 27 a 36.

Com o término da análise, o resultado foi enviado para a empresa responsável e, por fim, foi sugerida uma nova realização do teste por parte da mesma. A CET concordou com o novo teste, e com um pouco mais de experiência no assunto, algumas modificações no procedimento de coleta dos dados foram colocadas em pauta com a empresa.

### **O segundo teste**

O segundo teste foi realizado quatro semanas após o primeiro teste (02/07/14), com o acompanhamento da CET. Neste período, ocorreram algumas modificações na rede principal por conta de eventos inesperados e obras complementares.

Estas modificações estão representadas no diagrama unifilar de fibra óptica (Figura 14).

Diagrama Unifilar Fibra Óptica para OTDR

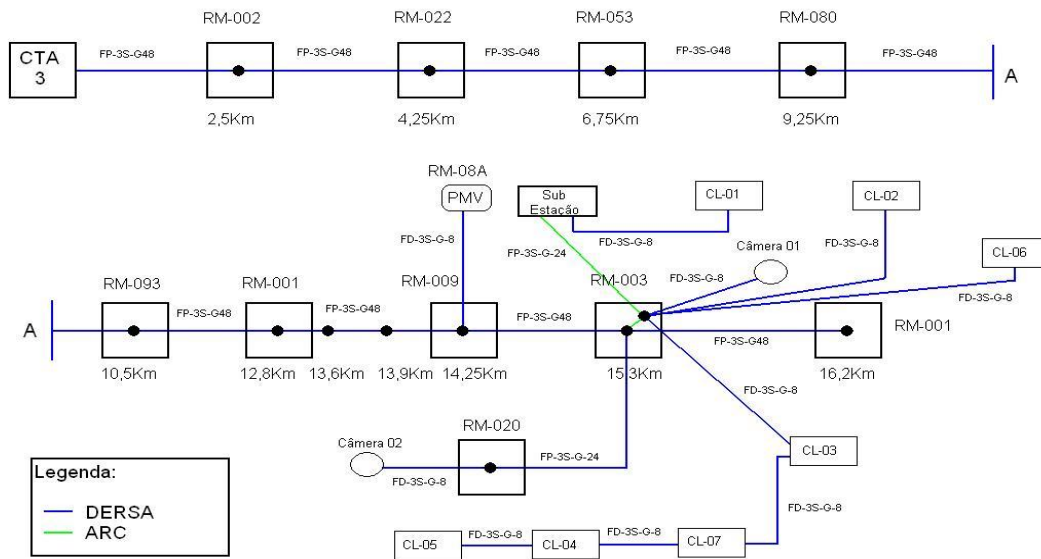


Figura 14 - Diagrama unifilar fibra óptica – Segundo teste.

As principais modificações realizadas foram:

- ✓ O incremento de duas emendas no cabo de fibra óptica de 48 fibras entre as caixas de emenda RM-001 e RM-009, devido a uma tentativa de furto. Portanto, o número de emendas totais passou de 8 para 10 emendas.
- ✓ As fibras 45 a 48 foram cortadas na caixa RM-002 e sua continuação foi emendada em um cabo de fibra óptica vinda da CTA-4.

A distância entre as emendas para serem utilizadas como referências na análise do OTDR são apresentadas na Tabela 3.

Emenda	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Distância (Km)	2,5	4,25	6,75	9,25	10,5	12,8	13,6	13,9	14,25	15,3

Tabela 3 – Distância entre emendas no cabo de 48 fibras.

Com base nestas informações, o teste das fibras foi realizado no sentido A-B sendo que apenas 40 das 48 fibras que o cabo continha foram testadas. As 8 fibras faltantes estavam “iluminadas” (em utilização) e não foram testadas, visto que seria necessário desligar toda a comunicação já estabelecida para que fosse realizado o teste.

As fibras testadas foram:

- ✓ 1-4;
- ✓ 9-36;
- ✓ 39-40;
- ✓ 43-48.

As fibras faltantes foram:

- ✗ 5-8;
- ✗ 37-38;
- ✗ 41-42.

Ao término do teste no sentido A-B, o responsável da CET por vistoriar todo o processo coletou os dados diretamente do OTDR. Assim, uma análise mais detalhada pôde ser feita por meio do software do fabricante do OTDR. Isso resultou em análises mais eficazes, pois foi possível analisar qualquer ponto do gráfico do OTDR.

O software de análise do OTDR utilizado para fazer a apuração dos dados é o Anritsu TraceView 5.0.00 e o mesmo está disponível para download no site do próprio fabricante. A interface do TraceView é representada pela Figura 15.

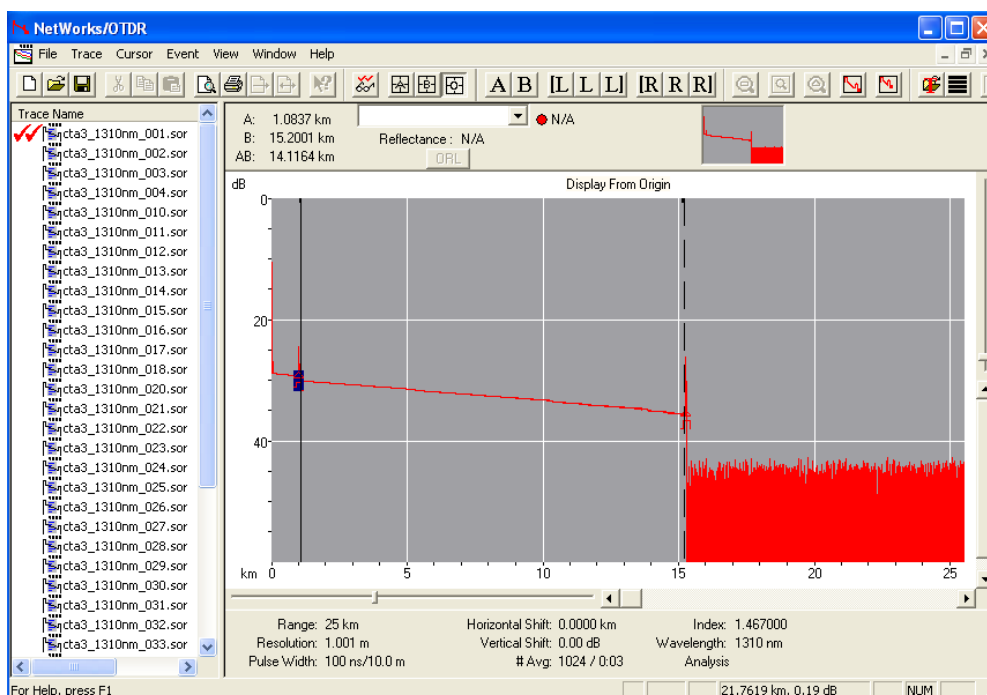


Figura 15 – Interface do Anritsu TraceView.

Para detalhar a análise do resultado do OTDR feita pelo software e ter uma base para comparação dentre os processos descritos, vamos utilizar a mesma fibra citada como exemplo do primeiro teste, ou seja, a Fibra número 39. O gráfico obtido pelo OTDR nesta fibra está representado na Figura 16.

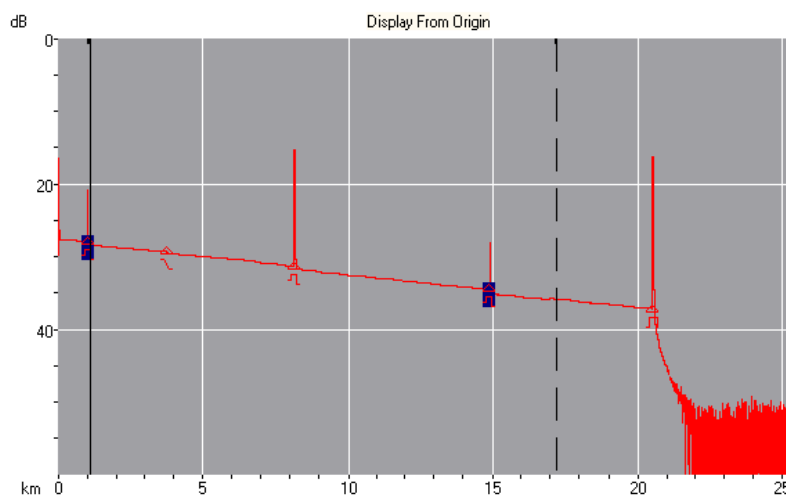


Figura 16 - OTDR 1310nm Fibra 39 sentido A-B segundo teste.

As diferenças de resultados dos OTDRs quando comparamos o primeiro teste com o segundo são gritantes. Ao analisar o gráfico do OTDR do segundo teste, vemos nitidamente uma fissura e uma emenda com problema.

Estes eventos estão causando uma atenuação muito grande na fibra e, conseqüentemente, será necessário solicitar a uma equipe de campo que o reparo nesta fibra seja feito.

Para analisar a perda na emenda, selecionamos a função "*Splice Loss*" (Perda de emenda) e posicionamos os quatro marcadores de referência para o cálculo via LSA (*Least-Square Approximation* ou Aproximação Mínima de Quadrados).

Para o posicionamento dos pontos de referência do LSA, os marcadores devem estar, obrigatoriamente, no nível do retroespalhamento da fibra, como mostra a Figura 17.

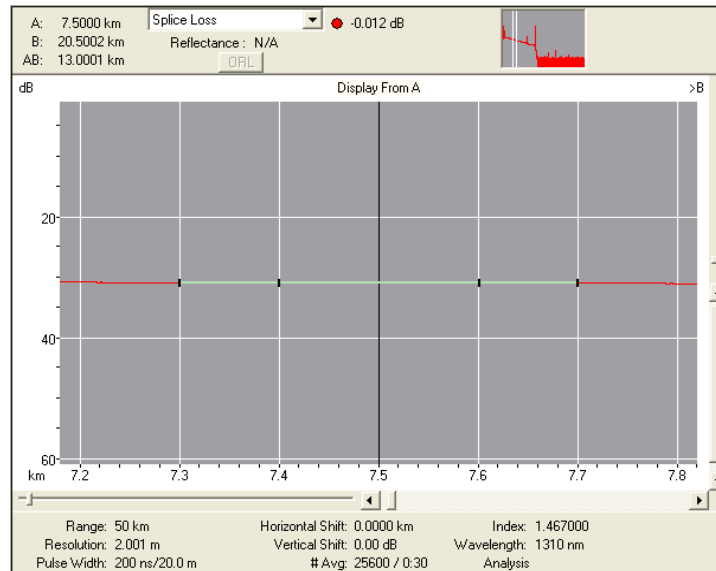


Figura 17 – Posicionamento dos pontos de referência para cálculo via LSA.

Com as referências posicionadas corretamente, o cursor “A” é posicionado antes da emenda, e sua atenuação é dada automaticamente pelo software como mostra a Figura 18.

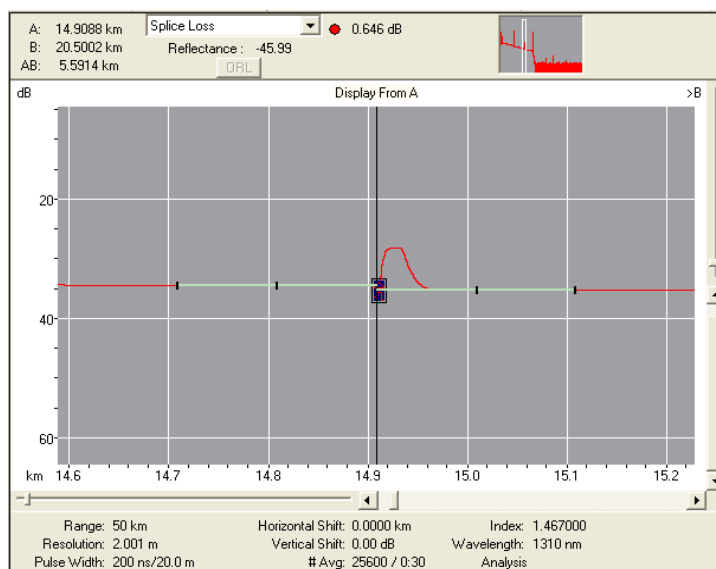


Figura 18 – Atenuação em uma emenda com problema.

Ao término da análise dos resultados, foi elaborada uma tabela na qual são apresentados todos os valores de atenuação das emendas. A Tabela 4 contém as informações das emendas da fibra 39.

Fibra	Atenuação por emenda (dB)										Atenuação Total (dB)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
39	0,274	0,017	0,131	0,027	0,085	0,040	0,015	0,647	0,011	0,073	1,320

Tabela 4 – Atenuação das emendas na fibra 39.

Para aceitação do coeficiente de atenuação da fibra e a atenuação esperada, ainda são válidas as metodologias aplicadas no primeiro teste.

Como a empresa responsável não realizou os testes no sentido “B-A”, não foi possível calcular a média aritmética de perda nas emendas. Ainda assim, o método de análise do OTDR por meio do software comprovou sua eficácia.

### A experiência do Teste

A experiência adquirida com o procedimento de teste com utilização do OTDR e as formas de análise dos dados abrem a possibilidade de desenvolver um roteiro de teste padronizado, feito especialmente para redes de fibra óptica. Desta forma, será possível padronizar toda a parte de aceitação de uma rede de fibra óptica.

Ao comparar as duas metodologias de análises dos dados, o primeiro método de envio de dados apresentou para a CET certa dificuldade de análise, já que os gráficos do OTDR foram enviados no formato de arquivo PDF e não no formato SOR.

Com esta limitação na visualização a análise de atenuação na emenda se tornou impossível e, conseqüentemente, os valores resultantes utilizados para representar as emendas são valores médios e não valores efetivos de cada emenda. Assim, se o valor médio está fora do valor especificado, reprovam-se todas as emendas (e não apenas aquelas que estão efetivamente fora do especificado).

O método de análise pelo software da Anritsu utilizado no segundo teste permitiu indicar para a empresa responsável quais são as emendas que não atendem à

especificação e isso possibilitou uma tomada de decisão por ambas as partes, a fim de remediar esta situação.

Por fim, foi acordado que a empresa irá refazer as emendas que não atenderam à especificação e reparar as fibras que apresentaram fissuras, como é o caso da fibra 39. Após o reparo, um novo teste com o OTDR deverá ser feito para a aceitação do cabo instalado.

Os resultados obtidos comprovam que é imprescindível a inclusão de realização de testes de atenuação nos procedimentos de aceitação dos serviços realizados. No caso do projeto do Itaquerão, se o cabo de 48 fibras, instalado no trecho entre a CTA-3 e a Subestação do túnel, fosse aceito sem nenhum ensaio de atenuação, teríamos corrido o risco de ter apenas 50% do cabo com condições técnicas de uso.

## **Bibliografia**

- *Especificações Técnicas – Rede de Cabo de Fibra Óptica – Revisão 1.1*
- *ITU-T G.652: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.*
- *Ribeiro, J.A.J. Comunicações Ópticas. São Paulo: Editora Érica, 2003*
- *Anritsu MT9090A Mainframe*
- *Anatel – Resolução n°299 – Normas para homologação de Cabos de Fibra Óptica.*