



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GTL 32
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

**GRUPO XVI
GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS
ELÉTRICOS – GTL**

**ESTRUTURA PARA AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DOS SISTEMAS ÓPTICOS DE TRANSMISSÃO DE
DADOS UTILIZADOS EM TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NAS CONDIÇÕES AMAZÔNICAS**

**Francisco Roberto
Reis França ***

ELETRONORTE

**João Guilherme
Dias de Aguiar**

Fundação CPqD

**João Batista Mello
Ayres Neto**

Fundação CPqD

**Bernardo José Guilherme
de Aragão**

Fundação CPqD

RESUMO

Visando o desenvolvimento de procedimentos a serem incorporados ao Programa de Manutenção Preventiva da rede de cabos OPGW da Eletronorte, foi realizado um estudo de caso tendo como foco o Tramo-Oeste. A aplicação dos procedimentos indicados neste projeto conferirá maior confiabilidade ao sistema de transmissão de dados evitando problemas com o aumento exagerado de atenuação e queda no desempenho dos amplificadores ópticos. Constatou-se que grande parte dos problemas observados foi ocasionada pelo despreparo da mão-de-obra envolvida na instalação, operação e manutenção da rede óptica.

PALAVRAS-CHAVE

Cabos OPGW, Sistemas Ópticos, Avaliação da Conformidade, Manutenção Preventiva.

1.0 - INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta os resultados alcançados na pesquisa realizada para a elaboração de procedimentos a serem incorporados ao Programa de Manutenção Preventiva a partir do conhecimento das condições nas quais se encontra a rede de cabos OPGW da Regional de Transmissão do Pará (CPA) considerando principalmente o ambiente amazônico. Para tanto, o Tramo-Oeste foi escolhido como um caso de estudo para embasar os trabalhos propostos, sendo realizados levantamentos e medições ópticas em campo, além da análise da documentação sobre o histórico da rota e da realização de ensaios laboratoriais em amostra de cabo OPGW do mesmo lote que o instalado em campo. Foi verificada a correlação entre os problemas encontrados em campo e a falta de capacitação das equipes que realizaram a instalação e a manutenção do sistema óptico, para a manipulação dos conectores ópticos e dos cabos OPGW. No Programa de Manutenção Preventiva foram incluídos os principais procedimentos a serem empregados na rede óptica, os quais deverão ser divulgados através de treinamentos a todas as áreas envolvidas.

2.0 - LEVANTAMENTO EM CAMPO

A Figura 1 apresenta o Tramo-Oeste, que sai de Tucuruí e segue até Rurópolis, num total de 672 km, seguindo em boa parte paralelo à rodovia Transamazônica.

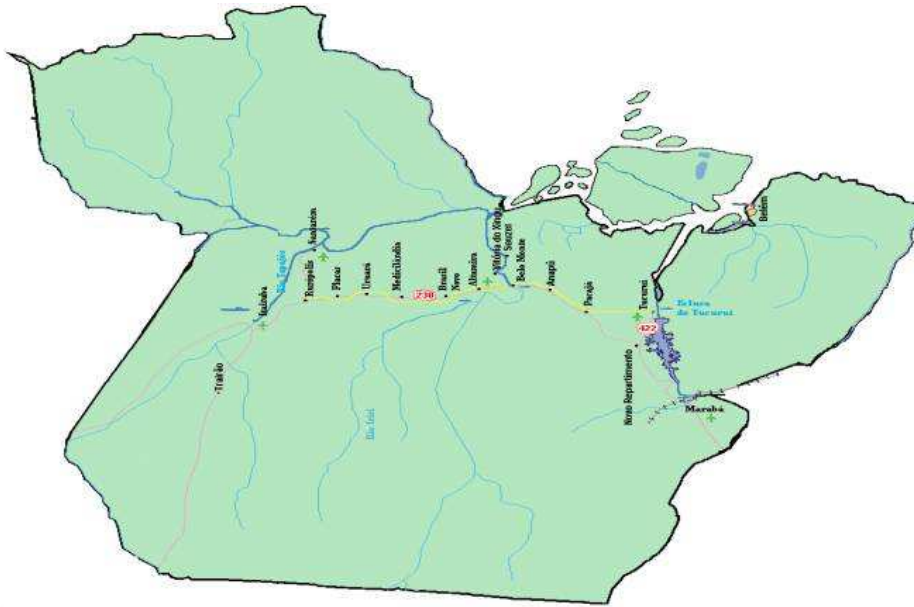


FIGURA 1 - Tramo-Oeste

A rede de transmissão de dados foi construída lançando-se um cabo OPGW com 24 fibras ópticas ao longo de toda a rota. Foram construídas estações de tratamento e amplificação dos sinais em Tucuruí, Pacajá, Altamira, Uruará e Rurópolis. Nestes pontos foram instalados amplificadores de recepção (RPA) e de transmissão (TPA) de 12 dBm e 17 dBm, conforme a Figura 2.

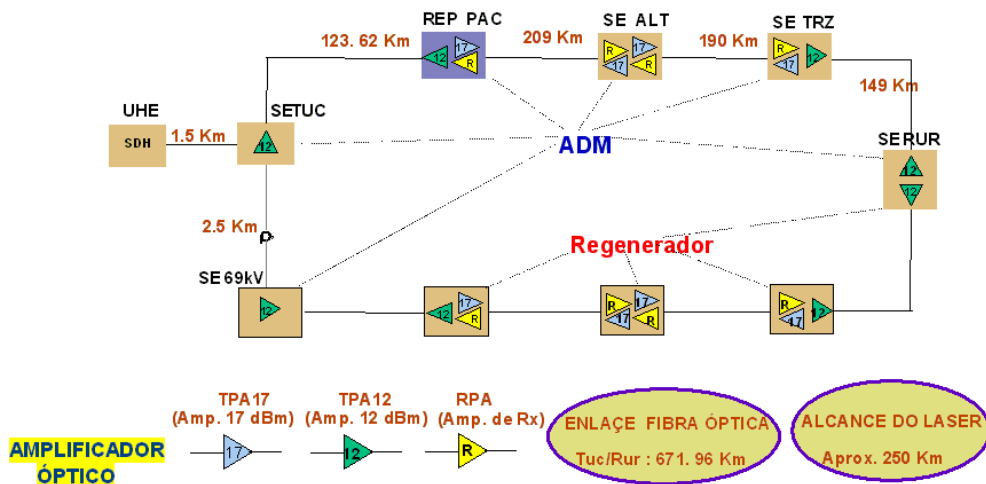


FIGURA 2 - Esquema do sistema de amplificação do Tramo-Oeste

O núcleo óptico do cabo OPGW instalado é composto por 24 fibras ópticas monomodo inseridas em 4 tubetes, localizado dentro de um tubo central de alumínio. A coroa externa é formada por 14 fios de aço-alumínio de $(2,64 \pm 0,08)$ mm de diâmetro.

Para se conhecer as condições em que se encontra o Tramo-Oeste, foi realizado um levantamento de campo em Altamira e Tucuruí, onde foram obtidas as seguintes informações:

- O anel mostrado na Figura 2 é apenas lógico, pois a rota principal e a reserva utilizam fibras ópticas do mesmo cabo OPGW. O projeto inicial considera apenas a redundância de equipamentos, não de cabos OPGW.
- Os cabos OPGW, no trecho entre Altamira e Rurópolis, apresentam aumentos de atenuação, comprometendo o desempenho do sistema de transmissão (Figura 3). Várias fibras ópticas precisaram ser substituídas, na busca de menores atenuações.

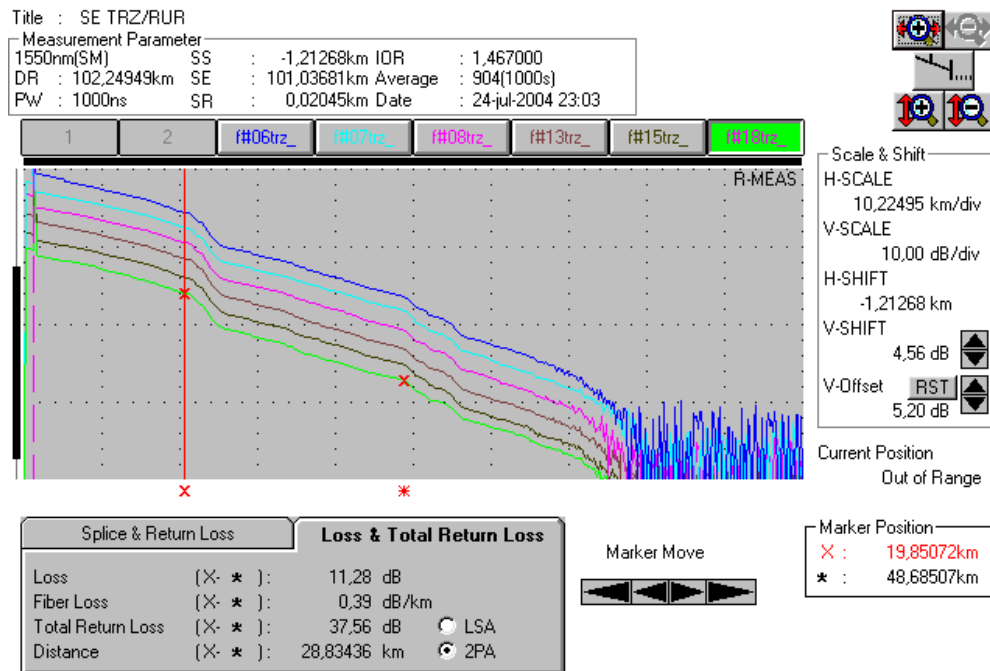


FIGURA 3 - Curvas de atenuação obtidas com OTDR

- Os amplificadores apresentaram queda em seus desempenhos, não atingindo mais as potências nominais. Vários foram enviados para manutenção, sendo que não existe número suficiente de amplificadores para ativar a rota reserva.
- As grandes distâncias a serem percorridas e as dificuldades apresentadas para o tráfego na Transamazônica dificultam os trabalhos de manutenção da rota (Figura 4).



FIGURA 4 - Trecho da rodovia Transamazônica, próximo a Altamira

- Não há histórico de problemas com corrosão e os danos provocados por descargas atmosféricas não são frequentes. O revestimento de alumínio dos fios da coroa garante boa resistência à corrosão no ambiente amazônico [1]. Porém, para a configuração do cabo OPGW do Tramo-Oeste, o diâmetro dos fios é inferior ao diâmetro ideal para manter o número de fios rompidos baixo durante a incidência de descarga atmosférica [2].

3.0 - MEDIDAS ÓPTICAS EM CAMPO

Após a análise da documentação fornecida pela Eletronorte, foi realizada uma viagem para Altamira, onde foram executadas algumas medições com o objetivo de comprovar as suspeitas que a equipe do CPqD tinha a respeito das causas dos problemas de perda de potência dos amplificadores. Nesta ocasião foram realizadas medições das potências de saída dos amplificadores e verificadas as superfícies dos seus conectores com microscópio, conforme a Figura 5.



FIGURA 5 - Setup para medições executadas em Altamira

Os valores de potência medidos nas saídas dos amplificadores foram bastante inferiores aos valores nominais, por exemplo: o TPA para Pacajá apresentou uma potência de saída igual a 9,1 dBm, quando o esperado era 17 dBm.

Verificando com o microscópio a superfície de seu conector de saída, foi observado que ela se apresentava bastante suja e com uma mancha negra sobre o núcleo da fibra óptica, conforme a Figura 6A. Mesmo após a limpeza (Figura 6B), a mancha preta se manteve no centro da fibra óptica. Esta mancha é resultado da queima de material orgânico pela ação da luz amplificada. Este material é queimado e bloqueia a passagem da luz, absorvendo mais energia e fazendo com que se propague uma trinca para o interior da fibra óptica. Esta é uma das principais causas da queda do desempenho dos amplificadores.

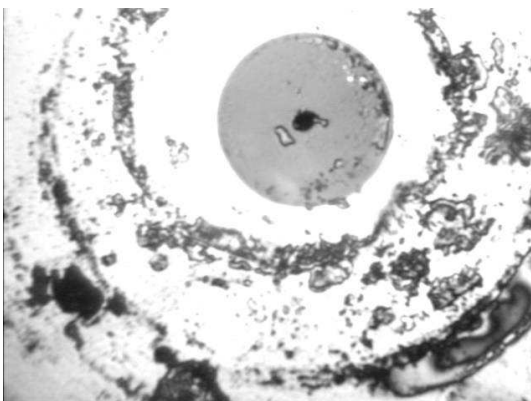


Figura 6 – (a)

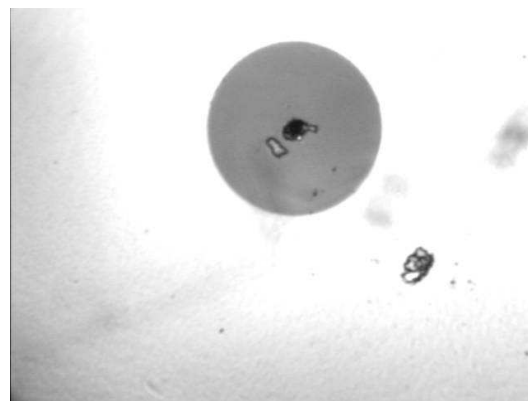


Figura 6 (b)

FIGURA 6 - Superfície do conector do amplificador TPA para Pacajá (A) após ser retirado e (B) após a limpeza

4.0 - ENSAIOS EM AMOSTRA DE CABO OPGW

Foi ensaiada no CPqD uma amostra de 300 m de cabo OPGW do mesmo lote utilizado no trecho entre Altamira e Rurópolis. Foram executados ensaios mecânicos no cabo segundo ABNT NBR 14047 [3] e físico-químicos nas fibras ópticas e na geléia de enchimento, com o objetivo de se encontrar possíveis causas para os problemas de aumento de atenuação observado em campo e de se avaliar o desempenho a longo prazo do cabo. Os ensaios realizados e os principais resultados obtidos estão descritos a seguir:

- Ensaio de tração do cabo. É realizado tracionando-se o cabo com força crescente, medindo-se a deformação das fibras ópticas (Figura 7). O objetivo deste ensaio é verificar se há aumento de atenuação das fibras ópticas com a tração do cabo e qual é a deformação do cabo a partir da qual se inicia a deformação nas fibras ópticas (margem de deformação). Desta forma, pode-se saber se nas condições de instalação as fibras ópticas estarão protegidas ou sofrerão algum dano. No ensaio de tração do cabo não houve deformação mensurável das fibras ópticas até a carga de 80% da RMC do cabo (Figura 8).



FIGURA 7 - Ensaio de tração do cabo

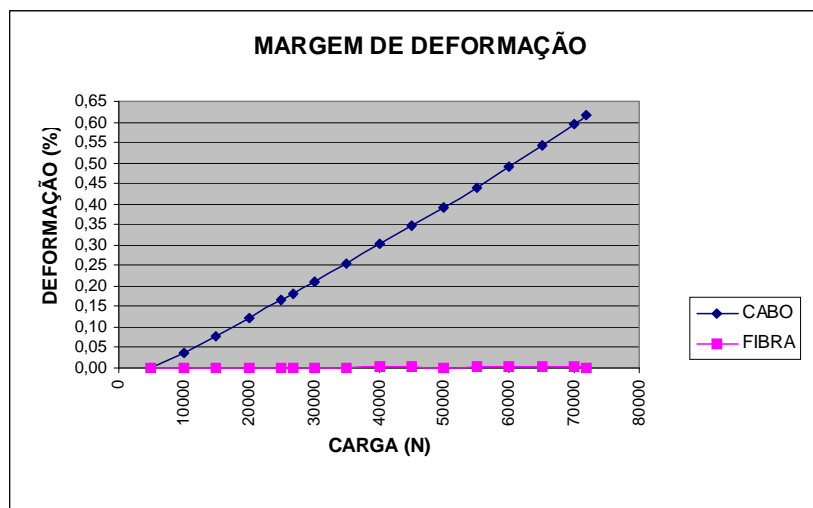


FIGURA 8 - Resultado do ensaio de tração

- Ensaio de puxamento pela polia. É realizado conforme ilustrado na Figura 9 e tem por objetivo simular as condições de lançamento do cabo OPGW, passando pelas bandolas, para verificar seu comportamento óptico e mecânico nestas condições. Neste ensaio embora não tenham ocorrido variações de atenuação

significativas, o tubo de proteção das unidades básicas apresentou deformações superiores aos 10% especificados, chegando a 14,63%.



FIGURA 9 - Ensaio de puxamento pela polia

- Ensaio de torção. É realizado em um comprimento de aproximado 10 m de cabo, com torções de 90° e monitoração da variação de atenuação de suas fibras ópticas. O objetivo deste ensaio é verificar a proteção que o cabo fornece às fibras ópticas em condições de torção, que podem ocorrer em sua instalação. Houve movimento do núcleo óptico do cabo durante o ensaio de torção, provocando aumento de atenuação.
- Os resultados dos ensaios de tração e de torção revelaram baixa vinculação entre o tubo de alumínio e o núcleo óptico do cabo OPGW. Isto, em campo, pode levar ao que se chama de efeito pistão, que é o deslocamento do núcleo óptico em relação ao tubo de proteção dentro dos conjuntos de emendas, devido a dilatações e contrações térmicas. Este deslocamento pode levar a aumentos de atenuação e, até mesmo, ao rompimento de fibras ópticas.
- Ensaio físico-químico das fibras ópticas e da geléia. Um resumo e os objetivos dos principais ensaios físico-químicos aplicáveis a fibras ópticas estão descritos na literatura [4]. Os principais resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.
- A resistência mecânica das fibras ópticas apresentou boa uniformidade e valor elevado mesmo após envelhecimento acelerado em ambiente aquoso.
- Após o envelhecimento não foram observadas mudanças visíveis no revestimento, tais como delaminação, indicando que o revestimento manteve boa proteção à superfície vítrea das fibras durante todo o envelhecimento. Porém, o revestimento secundário baixo das fibras ópticas apresentou módulo de elasticidade baixo, indicando baixa capacidade em proteger a superfície vítrea das fibras ópticas de tensões mecânicas externas. Além disso, o revestimento apresentou indícios de degradação oxidativa, com adesão reduzida do revestimento à fibra óptica e com baixa energia de ativação para degradação adicional.
- Também a geléia de enchimento apresentou indícios de degradação, tal como revelado pela predominância de baixos tempos de indução oxidativa.

TABELA 1 - Propriedades físico-químicas das fibras ópticas e da geléia medidas

Propriedade	Desempenho de referência	Desempenho encontrado
Tempo de indução oxidativa da geléia (*)	≥10 min	8,9 min / 7,8 min / 16,3 min
Módulo de Weibull (**)	64,3	25,4 / 62,2 / 86,4
Tensão de fratura a 1 GPa/s (**)	5 - 6 GPa	5 - 6 GPa
Módulo de elasticidade do revestimento secundário (**)	(6,31 ± 0,94) GPa	(3,00 ± 0,34) GPa
Força de adesão do revestimento à superfície vítrea (**)	> 21 N	(15,9 ± 7,6) N
Energia de ativação de decomposição do revestimento (**)	240 kJ/mol	160 kJ/mol

* ABNT NBR 13991:1997 ** Baseado em histórico de fibras ópticas analisadas no passado no CPqD

- Nos demais ensaios mecânicos realizados o cabo apresentou desempenho adequado, atendendo aos requisitos estabelecidos em sua especificação.

As principais conclusões obtidas com os ensaios foram:

- O cabo ensaiado apresentou-se sensível aos esforços presentes em seu ambiente operacional, conforme observado no ensaio de puxamento pela polia, e devido a não vinculação entre o tubo metálico e o núcleo do cabo, observado nos ensaios de torção e tração. Sendo assim, esforços aplicados durante o lançamento, operação e manutenção dos cabos podem resultar em aumentos localizados de atenuação, revelados como degraus nas curvas de atenuação obtidas por OTDR.
- As suas fibras ópticas apresentam desempenho mecânico adequado.
- Os fios de aço-alumínio da coroa externa garantem resistência à corrosão adequada nas condições ambientais amazônicas.
- Existem problemas construtivos do cabo e constitutivos das fibras ópticas que podem estar relacionados com o aumento de atenuação observado em campo. Além disso, esses problemas podem comprometer o desempenho óptico e mecânico a longo prazo do sistema.
- Problemas construtivos:
 - O desempenho do tubo de alumínio.
 - Não vinculação entre o tubo de alumínio e o núcleo do cabo.
 - O diâmetro dos fios da coroa externa abaixo do valor ideal pode implicar em um número elevado de fios rompidos por descarga atmosférica. Um número elevado de fios rompidos reduz drasticamente a resistência mecânica do cabo e aumenta tanto a deformação e a atenuação das fibras ópticas [5].
- Problemas constitutivos: Degradação do revestimento das fibras ópticas e da geléia de enchimento, o que pode agravar tanto a sensibilidade do cabo aos esforços presentes em seu ambiente operacional, como resultar na diminuição da resistência mecânica da fibra ao longo do tempo, ocasionando fraturas em campo.

5.0 - PROCEDIMENTOS PARA A MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A rede de cabos OPGW do Tramo-Oeste se encontra com deficiências operacionais conforme verificado durante este projeto; não apresenta redundâncias físicas ou de equipamentos, seus amplificadores estão com desempenho abaixo do especificado e existe grande aumento de atenuação nas fibras ópticas em vários trechos.

Para que ela passe a apresentar as condições desejáveis de operação, as quais deverão ser monitoradas e mantidas pela manutenção preventiva, será necessária a troca de todos os lances de cabos OPGW com problemas de aumento de atenuação e o reparo dos amplificadores, com a reposição dos retirados da rota reserva. Uma vez realizada esta ação corretiva, deverão ser executados os procedimentos aplicáveis descritos no programa de manutenção preventiva proposto neste projeto para a manutenção da rede de cabos OPGW no estado normal de operação.

O primeiro passo para se reparar os amplificadores é a análise de seus conectores com um microscópio. Caso haja sinais de degradação, realizar suas trocas por novos, sempre tomando os devidos cuidados para manter a limpeza necessária.

Por não haver uma rota alternativa, por mais cuidados que se tenha com o Tramo-Oeste, ele sempre estará sujeito a paradas inesperadas por acidentes ou vandalismos que venham a romper o cabo OPGW. Desta forma, também

é importante considerar a logística necessária para se otimizar as ações corretivas para a diminuição dos tempos de reparo e de interrupção da transmissão.

As condições encontradas no Tramo-Oeste são bastante críticas e para que sejam evitadas nas demais rotas de cabos OPGW da Eletronorte devem ser aplicados os conhecimentos desenvolvidos neste projeto em todas as atividades relacionadas às mesmas, desde a especificação e aceitação dos cabos, equipamentos e acessórios a serem instalados até nos cuidados com a limpeza de todos os conectores utilizados em sua planta. Deve ser observado que os conectores dos cordões utilizados nos equipamentos de medição são normalmente os maiores responsáveis pela contaminação dos conectores dos amplificadores, equipamentos e dos DGO.

O processo de manutenção preventiva de uma rede de cabos OPGW se inicia já nas fases de projeto, contratação, aquisição de materiais e construção da rede óptica, pois nestas fases devem ser executados procedimentos técnicos e elaborado o cadastro, de forma a construir a base de dados de referência para todas as ações executadas para a manutenção de sua integridade.

Neste projeto foram propostos procedimentos a serem aplicados nas fases de:

- Projeto da Rede de Cabos OPGW.
- Contratação dos Serviços de Implantação da Rede Óptica.
- Aquisição e Aceitação dos Materiais (cabos ópticos e acessórios).
- Construção da Rede Óptica.
- Aceitação da Rede.
- Manutenção Preventiva:
 - Critérios para inspeção visual.
 - Critérios para Testes Físicos e Ópticos.
- Ações Corretivas.
- Cálculo de Indicadores de Desempenho.
- Logística.

6.0 - CONCLUSÕES

Neste projeto constatou-se que os cabos OPGW utilizados no Tramo-Oeste da Eletronorte apresentam grande degradação, com aumento de atenuação em níveis que comprometem a transmissão. Foi verificado que uma amostra do cabo, ensaiada no CPqD, apresentou baixa vinculação entre núcleo óptico e tubo de proteção e sensibilidade à compressão sob tração, o que pode ter contribuído para o desempenho observado em campo. Os amplificadores ópticos também apresentam queda em seus desempenhos, sendo que foram observados danos nas superfícies de seus conectores, provocados pela queima de sujeira pela ação da potência óptica transmitida. Esta sujeira estava presente nos conectores devido a procedimentos inadequados de limpeza, evidenciando a importância do treinamento dos técnicos que tenham qualquer interação com a rede óptica. Os procedimentos recomendados para a execução da manutenção preventiva da rede óptica permitirão as correções dos problemas observados e o acompanhamento do estado da rede, para mantê-la em condições adequadas de trabalho. Estes procedimentos são aplicáveis às demais linhas de transmissão de dados da Eletronorte, permitindo o conhecimento e a manutenção da integridade das mesmas.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) HURTADO, M. R. F. et al. Assessment of Tropical Equatorial Climates on OPGW Cables Performance. In: 54th IWCS/Focus International Wire & Cable Symposium, 2005, Richmond. **Proceedings...** Eatontown: IWCS Inc., 2005, p. 473-482.
- (2) ALVIM, M. G. et al. Cabo OPGW – Desempenho - Quanto a Descargas Atmosféricas Critério de Aceitação de Furnas. In: XVI SNTPEE Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2001, Campinas. **Anais...** São Paulo: CTEEP-EPTE-Transmissão Paulista, 2001, Trabalho GLT-024.
- (3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cabos pára-raios com fibras ópticas (OPGW) para linhas aéreas de transmissão – Especificação. NBR 14074. Brasil.
- (4) ARAGÃO, B. J. G.; CARVALHO, G. Materials Properties Affecting Optical and Mechanical Reliability of Optical Fibers. In: IMOC 2003 International Microwave and Optoelectronics Conference, 2003, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Caetano do Sul: SBMO Sociedade Brasileira de Microondas e Optoeletrônica, 2003, v. II, p. 1013-1018.
- (5) ARAGÃO, B. J. G. et al. Recovery Analysis of Damaged OPGW Cables due to Lightning Strikes. In: 49th IWCS International Wire & Cable Symposium, 1999, Atlantic City. **Proceedings...** Eatontown: IWCS Inc., 1999, p. 650-657.