

Rede Protegida Piloto de Cuiabá - Avaliação de Equipamentos e Materiais

F. Piazza, LACTEC; G. P. Souza, LACTEC; M. Munaro, LACTEC; G. C. Silva, LACTEC; J. Tomioka, LACTEC; M. de Souza Ochiuto, REDE - CEMAT

RESUMO

Com o intuito de avaliar o desempenho dos materiais e equipamentos que compõem a rede protegida 13,8kV em solicitações climáticas do Centro-oeste do país foi idealizada a construção de uma rede piloto montada com equipamentos (cabos e acessórios), de diferentes fabricantes, para servir como campo de prova para avaliar as condições reais de envelhecimento e degradação dos equipamentos envolvidos. Diversos ensaios elétricos, mecânicos e físico-químicos, foram selecionados para avaliação em laboratório. Neste trabalho são apresentados resultados referentes à inspeção visual de espaçadores e isoladores e análise térmica dos equipamentos utilizados na rede protegida. Vazios e inhomogeneidades e excesso de carga foram observados em espaçadores e isoladores. Valores de temperatura de oxidação e de variação do alongamento a ruptura após envelhecimento, que não atendem as especificações em norma, foram encontrados para os materiais avaliados.

PALAVRAS-CHAVE

Rede protegida, espaçadores, isoladores, degradação, estresse ambiental

I. INTRODUÇÃO

Na aplicação de novos materiais e tecnologias para distribuição de energia, devido ao alto custo de investimento inerente a esta atividade, deve ser observada a adaptação ao micro clima local e quais as variações de projetos de materiais com melhor potencial de retorno e qualidade no fornecimento de energia.

Redes protegidas de distribuição tem sido utilizadas com sucesso em diversas regiões do Brasil. Entre as vantagens alcançadas com a utilização de redes protegidas podem-se citar: compactação próxima a encontrada em redes subterrâneas, diminuição do túnel de poda de árvores e aumento da confiabilidade e segurança do sistema de distribuição [1, 2].

Basicamente, uma rede protegida é composta por três condutores cobertos com camada de material polimérico, apoiados em espaçadores ou em separadores, também em material polimérico, sustentados por um cabo mensageiro de aço. Os materiais poliméricos utilizados na cobertura dos cabos são o polietileno reticulado (XLPE) e o polietileno de alta densidade (HDPE), podendo atualmente serem encontrados cabos com cobertura em dupla camada [camada interna em polietileno de baixa densidade (LDPE) ou XLPE e externa em HDPE]. Além dos espaçadores e separadores, geralmente em HDPE, outros elementos envolvidos na configuração de

uma rede aérea compacta são os isoladores e acessórios de amarração (anéis, laços e fios), os quais podem ser em HDPE, EPDM e borracha de silicone [3].

Os equipamentos (cabos e acessórios) empregados na rede protegida, quando em operação, estão sujeitos a múltiplos estresses, a saber: elétrico (campo elétrico, frequência), térmico (gradiente de temperatura, temperatura de operação), mecânico (vibração, tração, torção) e ambiental (radiação solar, umidade, contaminantes). Estes estresses, agindo de forma independente (estresse simples) e/ou sinérgica (estresse combinado), são responsáveis pelo envelhecimento e degradação do sistema isolante, o qual é constituído por materiais poliméricos. O envelhecimento e a conseqüente degradação pode levar a perda dos requisitos elétricos e mecânicos mínimos para continuidade de operação do sistema [4, 5].

Fatores relacionados ao micro-clima local de cada região, tais como temperatura, intensidade de radiação UV e umidade, afetam o desempenho dos sistemas isolantes [6, 7, 8]. Apesar de tal conhecimento, muito pouco trabalho de campo tem sido realizado com relação a equipamentos de redes protegidas, em regiões de micro-clima diferentes, para verificação do seu desempenho em condições reais de operação.

II. MATERIAS

Os cabos e acessórios em estudo são mostrados e identificados de acordo com a tabela 1.

TABELA 1
Identificação do Polímero Base Utilizados na Confecção dos Equipamentos Utilizados na Construção da Rede.

Amostra	Material polimérico
Cabo do fabricante A	Polietileno de alta densidade entrecruzado
Cabo do fabricante B	Dupla camada em HDPE e em XLPE
Cabo do fabricante C	Mistura LDPE e LLDPE entrecruzados
Espaçador do fabricante A	HDPE
Espaçador do fabricante D	HDPE
Espaçador do fabricante E	HDPE
Isolador de pino do fabricante E cinza claro	HDPE
Isolador de pino do fabricante E cinza escuro	HDPE
Isolador de pino do fabricante F	HDPE
Anel de amarração do fabricante A	Silicone
Anel de amarração do fabricante D	EPDM
Laço de amarração do fabricante E	HDPE
Isolador de ancoragem do fabricante F	EPDM
Isolador de ancoragem do fabricante G	Silicone
Braço anti-balanço do fabricante F	HDPE
Braço anti-balanço do fabricante E	Poliamida

Este trabalho teve o apoio do LACTEC e da CEMAT.

Os autores são pesquisadores do LACTEC e da REDE - CEMAT.
Contato pelo e-mail: piazza@lactec.org.br ou marilda@lactec.org.br.

III. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Por apresentar características singulares, isto é, temperatura e umidade elevadas em relação a outras regiões do país, a cidade de Cuiabá, situada na região Centro-Oeste do país, foi escolhida como campo de prova. Para tanto, foi idealizada a construção de uma rede piloto montada com equipamentos de diferentes fabricantes, a qual servirá como laboratório para avaliar as condições reais de envelhecimento e degradação dos cabos e acessórios utilizados na rede protegida. As avaliações dos equipamentos da rede piloto serão realizadas em cinco fases distintas num período de seis anos, com retiradas de amostras para ensaios de avaliação em laboratório a cada 1,5 ano.

Para avaliar a influência dos diferentes estresses da região de Cuiabá nos equipamentos (cabos e acessórios) da rede protegida piloto, faz-se necessário conhecer as características iniciais destes materiais. Para isso utilizou-se técnicas experimentais baseadas em procedimentos normalizados, levando em conta sua viabilidade técnica e econômica e também a relevância das informações dos parâmetros medidos.

Neste artigo são apresentados os resultados anteriores a instalação, com destaque aos ensaios de inspeção visual, trilhamento elétrico nos cabos, temperatura de fusão e oxidação, teor de cinzas e tração a ruptura antes e depois de envelhecimento tanto em estufa como em WOM.

A determinação da resistência ao trilhamento elétrico nos cabos foram realizada de acordo com a NBR 11873 [9].

A determinação da temperatura de fusão e oxidação foi realizada através da técnica de calorimetria diferencial de varredura - DSC. Estes resultados são importantes na caracterização inicial dos materiais poliméricos, obtendo pelas temperaturas de fusão e oxidação, informações preliminares do tipo de polímero empregado e da quantidade da aditivação presente no material, respectivamente. As amostras foram retiradas da superfície dos equipamentos com uma espessura média de 0,4mm e cortadas com vazador de 4mm de diâmetro. O ensaio foi realizado em equipamento Netzsch DSC 200, na faixa de temperatura de 30 a 300°C, com taxa de aquecimento de 10°C/min, em atmosfera de oxigênio (oxidante) em cadinho de alumínio aberto, atendendo a norma ASTM E 2009 [10].

O ensaio de tração a ruptura é bastante interessante na caracterização inicial do material, pois os polímeros utilizados na confecção de cabos e acessórios devem possuir determinadas características mecânicas iniciais para que possam atender a solicitações de serviço e manuseio.

Neste ensaio, 5 corpos-de-prova na forma de gravatas retirados das amostras dos materiais poliméricos obtidos dos equipamentos foram submetidos ao ensaio de tração à ruptura, em equipamento Instron 4467, com célula de carga 100 kN, velocidade do travessão de 250 mm/min e L_0 de 10 mm, a temperatura ambiente.

IV. RESULTADOS

As figuras 1, 2 e 3 apresentam resultados da inspeção visual realizada em espaçadores e isoladores. A figura 1 apresenta imagens de um isolador de ancoragem, nas quais pode-se observar vazios no interior da peça e no bastão central. Na figura 2 vazios no interior do espaçador também são visíveis. A figura 3 mostra inhomogeneidades presentes em um espaçador. A existência de vazios e inhomogeneidades no sistema isolante de isoladores e espaçadores pode provocar o aparecimento de descargas parciais internas e superficiais, as quais são função da distribuição do campo elétrico em regiões com diferentes permissividades. Além disto, o acabamento superficial da peça, seja de um isolador ou espaçador, pode afetar sua suportabilidade a sobretensões e surtos [11].

Segundo a Norma NBR 11873 as amostras de cabo não envelhecidas deveriam suportar a tensão de trilhamento de 2,75 kV. O cabo protegido do fabricante B foi classificado como sendo de classe 2,5kV, classe inferior portanto ao especificado pela NBR 11873 [9]. Os cabos dos fabricantes C e A foram classificados como 2,75kV, atendendo portanto ao solicitado por norma. Alterações nas suportabilidades serão verificadas no decorrer das demais fases.

Os resultados de temperatura de fusão e oxidação dos materiais estão apresentados na tabela 2.

TABELA 2
RESULTADOS DE TEMPERATURA DE FUSÃO E
TEMPERATURA DE OXIDAÇÃO

Amostra	Temperatura de fusão (°C)	Temperatura de oxidação (°C)
Cabo do fabricante A	131,3	265,6
Cabo do fabricante B	109,3 e 128,3	256,0
Cabo do fabricante C	107,6 e 121,8	266,9
Espaçador do fabricante A	129,3	285,0
Espaçador do fabricante D	134,2	230,8
Espaçador do fabricante E	134,1	230,5
Isolador de pino do fabricante E cinza claro	132,4	232,0
Isolador de pino do fabricante E cinza escuro	129,5	274,0
Isolador de pino do fabricante F	133,3	225,5
Laço de amarração do fabricante E	135,8	214,8

Pelo Projeto de norma NBR 11873 [12] e CODI [13] para cabos cobertos, os valores de temperatura de fusão e temperatura de oxidação não devem ser inferiores a 105°C e 245°C respectivamente. Dessa forma os três cabos avaliados atendem esta especificação. Como a temperatura de oxidação está diretamente ligada a qualidade do sistema de aditivação no material (antioxidantes e estabilizadores de radiação ultravioleta), observa-se que os espaçadores dos fabricantes D e E, os isoladores dos fabricantes E cinza claro e Fe o laço de amarração do fabricante E, possuem valores de temperatura de oxidação inferiores a 245°C, o que pode ser um indício de pouca aditivação [14].



FIGURA 1 - Vista do isolador de ancoragem onde são observados vazios internos.

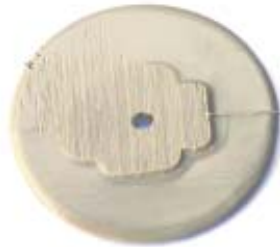


FIGURA 2 - Vista de parte de um espaçador apresentando vazios no interior da peça.



FIGURA 3 - Vista de parte do espaçador apresentando inhomogeneidades no material da peça.

Os resultados dos ensaios de tração a ruptura antes do envelhecimento estão mostrados na tabela 3. Pelas especificações das normas CODI's [13, 15, 16] os valores mínimos de tensão máxima e alongamento na ruptura, respectivamente, para o XLPE são 12,5 MPa e 200% e para HDPE 21,5 e 300%.

Os fabricantes dos cabos avaliados informaram que o material da cobertura dos cabos é XLPE e desta forma, os valores obtidos para o ensaio de tração a ruptura estão dentro das especificações para material novo.

Os materiais dos isoladores e espaçadores, todos em HDPE, encontram-se dentro das especificações com exceção do espaçador e o isolador cinza claro do fabricante E que possuem alongamento menor que 300%.

A variação máxima aceita após envelhecimento térmico em estufa é de 25% [13, 15, 16]. Dessa forma a cobertura de material polimérico dos cabos atendem a especificação, mesmo o cabo do fabricante A, cuja variação de alongação na ruptura está muito próximo do limite, como mostra a tabela 4.

TABELA 3

Resultado do ensaio de tração a ruptura

Amostra	Tensão Máxima(MPa)	Elongação a ruptura(%)
Cabo do fabricante A	26,58 ± 1,07	437 ± 71
Cabo do fabricante B	13,41 ± 0,81	314 ± 21
Cabo do fabricante C	19,00 ± 0,85	312 ± 22
Espaçador do fabricante A	41,38 ± 1,12	759 ± 20
Espaçador do fabricante D	27,42 ± 0,35	660 ± 50
Espaçador do fabricante E	32,47 ± 1,89	155 ± 18
Isolador de pino do fabricante E cinza claro	30,95 ± 0,6	243 ± 40
Isolador de pino do fabricante E cinza escuro	40,76 ± 1,4	740 ± 7
Isolador de pino do fabricante F	29,44 ± 0,17	558 ± 2

TABELA 4

Resultado do ensaio de tração a ruptura após o envelhecimento em estufa por 168h e variação em relação ao material novo

Amostra	Tensão Máxima (MPa)	Varição da Tensão Máxima (%)	Elongação a ruptura (%)	Varição da Elongação a ruptura (%)
Cabo do fabricante A	24,50 ± 1,18	7,8	545 ± 58	24,7
Cabo do fabricante B	13,81 ± 1,50	3,0	298 ± 36	5,1
Cabo do fabricante C	18,97 ± 3,34	0,2	300 ± 39	3,8
Espaçador do fabricante A	41,38 ± 5,34	0	1097 ± 164	44,5
Espaçador do fabricante D	30,23 ± 0,46	10,24	159 ± 11	75,9
Espaçador do fabricante E	34,02 ± 0,43	4,7	30 ± 2	80,6
Isolador de pino do fabricante E cinza claro	32,65 ± 0,62	5,2	29 ± 3	88,0
Isolador de pino do fabricante E cinza escuro	42,12 ± 6,69	3,3	965 ± 87	30,4
Isolador de pino do fabricante F	31,60 ± 0,63	7,3	147 ± 2	73,6

Para os espaçadores e isoladores, as variações foram maiores que 25% para o alongamento a ruptura. O ensaio de alongamento a ruptura é muito representativo das variações morfológicas do material, tais como: reestruturação cristalina; entrecruzamento e/ou quebra de cadeia causados pelo envelhecimento térmico.

Como não é possível a obtenção de corpos-de-prova para realização do ensaio tração à ruptura, diretamente dos isoladores e espaçadores, torna-se necessário a transformação destes materiais em placas através de aquecimento e pressão.

O acompanhamento em campo destes materiais é muito importante, pois pode trazer informações sobre o quanto estes resultados poderão comprometer o desempenho destes equipamentos.

A variação máxima especificada em norma CODI [13] para 2000h de envelhecimento em WOM, também é 25%. Pelos resultados da tabela 5 nota-se que os cabos dos fabricantes A e B estão fora de especificação com relação a variação do alongamento a ruptura.

TABELA 5

Resultado do ensaio de tração a ruptura após envelhecimento em câmara de WOM por 2000h e variação em relação ao material não envelhecido.

Amostra	Tensão Máxima (MPa)	Varição da Tensão Máxima (%)	Elongação a ruptura (%)	Varição da Elongação a ruptura (%)
Cabo do fabricante A	27,36 ± 0,58	2,9	125 ± 3	71,4
Cabo do fabricante B	13,57 ± 0,22	1,2	220 ± 5	29,9
Cabo do fabricante C	19,14 ± 0,53	0,7	302 ± 16	2,2
Espaçador do fabricante A	31,02 ± 2,27	25,0	657 ± 12	13,4
Espaçador do fabricante D	28,52 ± 0,17	2,9	630 ± 140	2,9
Espaçador do fabricante E	32,42 ± 0,37	0,2	124 ± 32	20,0
Isolador de pino do fabricante E cinza claro	31,53 ± 0,84	1,8	36 ± 4	85,2
Isolador de pino do fabricante E cinza escuro	29,00 ± 1,79	28,8	602 ± 47	18,6
Isolador de pino do fabricante F	32,35 ± 0,61	9,9	389 ± 38	30,2

Ainda, os isoladores de pino do fabricante E cinza claro e do fabricante F não atendem a especificação quanto a variação ao alongamento a ruptura. O isolador de pino cinza escuro do fabricante E não a especificação quanto a variação de tensão máxima.

V. CONCLUSÃO

Durante a inspeção visual foram observados vazios e inhomogeneidades em espaçadores e isoladores, o que pode vir a comprometer o desempenho da rede protegida.

Um dos cabos apresenta resistência ao trilhamento menor que o especificado para cabo sem uso. Porém, com o envelhecimento em campo, esta suportabilidade pode se manter, o que permite que este cabo continue a ser utilizado.

Alguns equipamentos (isoladores, espaçadores e laços de amarração) apresentam valores de temperatura de oxidação inferior ao mínimo recomendado, o que pode sugerir que estejam com baixa aditivção.

Os materiais poliméricos utilizados na confecção dos cabos apresentam baixos valores de grau de reticulação.

Foram observados valores de variação de tração a ruptura antes e depois do envelhecimento em estufa e em WOM, superiores aos especificados em norma. Estes resultados foram obtidos principalmente para o material de equipamentos cujos corpos de prova sofreram reprocessamento conforme descrito anteriormente. O acompanhamento em campo pode trazer informações sobre o quanto estes resultados poderão comprometer o desempenho destes equipamentos.

A continuidade do trabalho permitirá, entre outras, a definição de quais as características que os equipamentos deverão possuir para apresentar um bom desempenho frente às condições encontradas em Cuiabá.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as contribuições do Técnico Dorneles Braga e da estagiária Elaine de Andrade durante a realização dos ensaios realizados.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DOI, H.; MIYUACHI, H.; MATSUMOTO, M. T. Cabos Cobertos com XLPE para Linhas Aéreas de Distribuição. Mundo Elétrico, p. 90-93, fev. 1987. E. H. Miller, "A note on reflector arrays," IEEE Trans. Antennas Propagat., a ser publicado.
- [2] NISHIMURA, F.; CICARELLI, L. D.; MARTINS, J. P. Rede Aérea Isolada e Protegida de Média Tensão. **Eletricidade Moderna**, n. 241, p. 68-73, abr. 1994.
- [3] SILVA, G. C. **Comportamento Elétrico e Dielétrico de Cabos de Potência Extrudados Utilizados em Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. Curitiba, 2000. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais), UFPR.
- [4] MONTANARI, G. C.; SIMONI, L. Aging Phenomenology and Modeling. **IEEE Trans. Elect. Insul.**, vol. 28, n. 5, p. 775-776, Oct. 1993.
- [5] DENSLEY, R. J.; BARTNIKAS, R.; BERNSTEIN, B. Multiple Stress Aging of Solid Dielectric Extruded Dry-cured Insulation systems for Power Transmission Cables. **IEEE Trans. Power Del.**, vol. 9, n. 1, p. 559-571, Jan. 1994
- [6] SAMPER, J. Importance of weathering factors other than UV radiation and temperature in outdoor exposure. **Polymer Degradation and Stability**, vol. 76, p. 455-465, 2002
- [7] SATOTO, R.; SUBOWO, W. S.; YUSIASHI, R. Weathering of high-density polyethylene in different latitudes. **Polymer Degradation and Stability**, vol. 56, p. 275-279, 1997.
- [8] TIDJANI, A. Comparison of formation of oxidation products during photo-oxidation of linear low density polyethylene under different natural and accelerated weathering conditions. **Polymer Degradation and Stability**, vol. 68, p. 465-469, 2000
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NORMA BRASILEIRA REGISTRADA **Cabos cobertos com materiais poliméricos para redes aéreas compactas de distribuição de energia em tensões de 13,8kV a 34,5 kV**. Projeto de norma NBR 11873, Rio de Janeiro outubro 2001.
- [10] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Methods for Oxidation Onset Temperature of Hydrocarbons by Differential Scanning Calorimetry**. ASTM E 2009-99, USA, 1999.
- [11] PEEK, F. W. **Dielectric Phenomena in High-Voltage Engineering**. Mc Graw-Hill Book Company, London.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cabos cobertos com materiais poliméricos para redes aéreas compactas de distribuição de energia com tensões de 13,8 e 34,5 kV**. Projeto de Norma NBR 11873, Rio de Janeiro, Outubro 2001
- [13] COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO. **Especificação de Cabos Cobertos para Rede Compacta em Espaçadores – 15 kV**. Documento Técnico CODI-3.2.18.23.1, Rio de Janeiro, 1999.
- [14] MUNARO, M.; SOUZA, G. P. Comportamento da degradação do polietileno avaliado por estabilidade térmica. 6º Congresso Brasileiro de Polímeros e IX International Macromolecular Colloquium, p. 717-720, 2001
- [15] COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO. **Especificação de espaçador, separador e amarração para rede compacta de 13,8kV e 34,5 kV**. Documento técnico: CODI-3.2.124.1, Rio de Janeiro 2000.
- [16] COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO. **Especificação de isoladores tipo pino polimérico para rede compacta de 13,8kV e 34,5 kV**. Documento técnico: CODI-3.2.18.27.1, Rio de Janeiro 2000.