

# Avaliação de Redes Aéreas Compactas em Ambientes Agressivos

D. R. de Mello e R. W. Garcia, CEPEL e C. E. M. Malheiros e R. L. Silva, LIGHT

## RESUMO

O objetivo deste artigo é apresentar os resultados obtidos em um programa de estudos, com 2 anos de duração, realizado pela Light e pelo Cepel com o intuito de avaliar o desempenho dos materiais utilizados em redes de distribuição compactas, instaladas em áreas de alta poluição salina, de modo que as conclusões relatadas possam orientar a utilização destas redes nestes ambientes agressivos e nortear as Concessionárias e fornecedores de materiais poliméricos para os ajustes que se façam necessários nas especificações técnicas destes materiais.

## PALAVRAS-CHAVE

Redes aéreas compactas, ambiente agressivo e compatibilidade dielétrica.

## I. INTRODUÇÃO

O uso de materiais poliméricos em áreas sujeitas à poluição, principalmente marítima, tem limitado o emprego das redes compactas que já comprovaram seu bom desempenho ao longo destes últimos anos em várias Empresas do Brasil e do exterior. A única restrição a sua utilização continua sendo as regiões de ambientes agressivos, o que ainda se constitui num grande desafio para todos, Concessionárias, Centros de Pesquisa e fornecedores de materiais na busca de soluções para o equacionamento destes problemas.

Atualmente na Light, por imposição de suas normas de projeto, existe uma limitação para emprego destas redes a 300 metros da orla marítima.

Dentre os diversos eventos relatados pelas turmas de manutenção, os abaixo relacionados se sobressaem pela sua frequência:

- Degradação de materiais: cabos, espaçadores, amarrações e isoladores;
- Sinais visíveis e audíveis de corona;
- Rompimento de espaçadores e cabos.

Darcy R. de Mello, engenheiro eletricista, MSc., trabalha no CEPEL- Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (e-mail: darcy@cepel.br).

Ricardo W. S. Garcia, engenheiro eletricista, MSc., trabalha no CEPEL- Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (e-mail: rwesley@cepel.br).

E. M. Malheiros, engenheiro eletricista, trabalha na Light (e-mail: malheiros@lightrio.com.br).

R. L. Silva, engenheiro eletricista, trabalha na Light (e-mail: rlsilva@lightrio.com.br).

Este estudo, iniciado em 2000 e com duração de 2 anos, implicou na construção pela Light de uma rede piloto com materiais de diversos fabricantes instalada próximo ao mar.

Simultaneamente, os materiais empregados na montagem das redes piloto foram submetidos a vários ensaios, selecionados dentre os apresentados nas proposições da ABRADÉE [1 a 4], em amostras quando novas e em amostras retiradas periodicamente das redes piloto. Foram realizados, também, ensaios de compatibilidade dielétrica em modelos de rede compacta montadas de modo a abranger todos os fabricantes que forneceram materiais para a montagem das redes piloto.

A abrangência do estudo realizado permite apresentar um panorama amplo da situação dos materiais atualmente fabricados para redes compactas de distribuição e nortear o emprego destas redes, não somente na Light, como em todas as Concessionárias do Brasil sujeitas aos problemas de agressividade ambiental.

## II. PLANEJAMENTO DO TRABALHO

### A. Implantação da rede piloto

Foi selecionado um trecho da orla marítima com as seguintes características.

- local: Recreio dos Bandeirantes;
- tipo de poluição: marítima (salina);
- tensão: 13,8 kV;
- extensão: 1513m;

Um desenho resumido do trajeto percorrido pela rede piloto pode ser visto na figura 1.

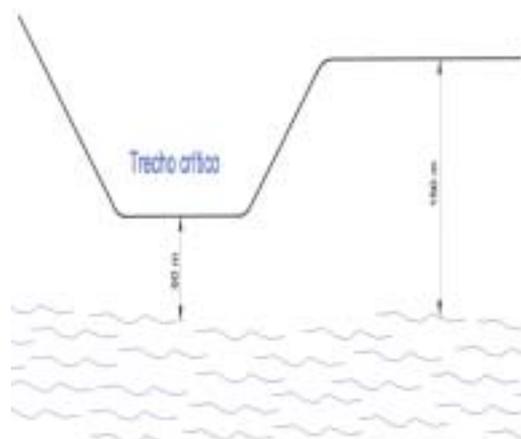


FIGURA 1 - Trajeto resumido da rede piloto instalada pela Light.

## B. Seleção de componentes

Dentre os diversos componentes poliméricos de uma rede compacta, foi definido com a Light que os abaixo relacionados serão objeto de estudo:

- isoladores bastão para 15 kV;
- isoladores pilar para 15 kV;
- espaçadores para 15;
- cabos para 15 kV.

## C. Seleção de fabricantes

A seleção dos fabricantes que foram convidados a participar dos estudos foi feita levando-se em consideração aqueles que têm uma linha de produção de materiais do tipo e modelos escolhidos, e que têm fornecido ou têm condições de fornecer esses materiais para a Light até a data de início do estudo.

Por atenderem a esses requisitos, a quantidade de fabricantes convidados pela Light foi:

- isoladores: 7;
- espaçadores: 4;
- cabos: 5.

## III. METODOLOGIA DE TRABALHO

### A. Avaliação do material instalado na rede piloto

A suportabilidade ao ambiente agressivo dos diversos materiais instalados na rede piloto, seja no trecho crítico a 50 m do mar seja nos trechos mais afastados foi avaliada segundo os seguintes critérios:

- inspeção visual no local;
- inspeção local com detetor ultra-sônico;
- avaliação laboratorial após retirada do material da rede.

## B. Avaliação do material em laboratório

A relação dos ensaios nos componentes poliméricos para redes compactas de 15 kV, realizados em laboratório, pode ser vista na tabela 1.

A metodologia de cada ensaio é definida na norma ou especificação correspondentes, indicadas na tabela 1.

## IV. RESULTADOS OBTIDOS

### A. Inspeções visuais e com ultra-som no campo

Os resultados das inspeções visuais e com ultra-som realizadas no campo podem ser vistas na tabela 2.

Devido a chuva e ao grande número de intervenções da turma de manutenção da Light, a rede foi desativada e desmontada antes que houvesse tempo hábil para realizar a inspeção dos 12 meses no local, mas o material retirado foi enviado ao Cepel para avaliação.

### B. Avaliação laboratorial do material retirado da rede após 4 meses de instalação

- foi constatado dano nos espaçadores 1 e 2 retirados pela Light, como pode ser visto na figura 2;
- foi constatado dano na parte interna dos isoladores de pino 2, 3, 4 e 5, como pode ser visto na figura 3;
- todas as amostras de isolador de pino foram aprovadas no ensaio de radiointerferência e somente a amostra do isolador 3 foi reprovada no ensaio de frequência industrial;
- a medição do nível de poluição nos isoladores indicou valores entre 0,64 mg/cm<sup>2</sup> e 0,89 mg/cm<sup>2</sup>.

TABELA 1

### RELAÇÃO DOS ENSAIOS NOS COMPONENTES PARA REDES COMPACTAS DE 15 KV REALIZADOS NO CEPEL

Componente	Ensaio	Normas
Isoladores, cabos e espaçadores		Inspeção Visual
	Compatibilidade dielétrica	
	Trilhamento Elétrico	NBR 10296 [5]
Isoladores	Radiointerferência	IEC 60437 [6]
	Determinação da tensão disruptiva em	
	frequência industrial, a seco	IEC 61109 [7]
	Perfuração sob impulso	IEC 61211 [8]

TABELA 2

### RESULTADO DAS INSPEÇÕES REALIZADAS NO CAMPO

Local	Inspeção	Pontos com indicação de dano		
		Após 1 mês	Após 4 meses	Após 8 meses
Trecho crítico	Visual	Nenhum ponto	Alguns pontos	Diversos pontos
	Ultra-som	Alguns pontos	Todos os pontos	Todos os pontos
Trecho não crítico	Visual	Nenhum ponto	Nenhum ponto	Nenhum ponto
	Ultra-som	Nenhum ponto	Alguns pontos	Alguns pontos

**C. Avaliação laboratorial do material retirado da rede após 8 meses de instalação**

- foi constatado dano nos espaçadores 1 e 2 retirados pela Light, como pode ser visto na figura 4;
- foi constatado dano na parte interna dos isoladores de pino 2, 3, 4 e 5, como pode ser visto na figura 5;
- as amostras dos isoladores de pino 4, 5 e 6 foram aprovadas no ensaio de radiointerferência e reprovadas no ensaio de frequência industrial;
- as amostras dos isoladores de pino 2 e 3 foram reprovadas no ensaio de radiointerferência e no ensaio de frequência industrial;
- todas as amostras de isolador bastão foram aprovadas nos ensaios de radiointerferência e frequência industrial.



FIGURA 2 - Danos no espaçador 2 após 4 meses no campo.



FIGURA 3 - Danos nos isoladores de pino após 4 meses no campo



FIGURA 4 - Danos nos espaçadores após 8 meses no campo.



FIGURA 5 - Danos internos nos isoladores de pino após 8 meses no campo.

**D. Avaliação laboratorial do material retirado da rede após 12 meses de instalação**

- foi constatado danos nos espaçadores de todos os fabricantes, semelhantes aos observados na figura 4;
- foi constatado acentuação no dano na parte interna dos isoladores de pino 2, 3, 4 e 5, como pode ser visto na Figura 6;
- todas as amostras dos isoladores de pino foram aprovadas no ensaio de radiointerferência mas somente o isolador 6 foi aprovado no ensaio de frequência industrial;
- foram constatados danos em diversos cabos como pode se visto na figura 7.



FIGURA 6 - Danos nos isoladores de pino após 12 meses no campo.



FIGURA 7 - Danos nos cabos após 12 meses no campo.

A Light informou que o isolador pino 1 não foi entregue em tempo hábil de ser instalado na rede experimental.

**E. Resultado dos ensaios realizados no CEPEL nas amostras de cabos novos**

- no ensaio de trilhamento elétrico, todas as amostras de cabos apresentaram bom desempenho, não apresentando falhas para níveis de tensão até 4kV, com nível de tensão inicial de 2,25kV;
- todos os cabos apresentaram pontos luminosos durante o ensaio de compatibilidade dielétrica indicando falhas na cobertura dos mesmos, como pode ser visto na figura 8, mas que, às vezes, não foram suficientes para deteriorar a cobertura;
- os cabos 1 e 2 não apresentaram deterioração visível ao término do ensaio de compatibilidade dielétrica;
- ocorreu deterioração na cobertura dos cabos 3, 4 e 5 no ensaio de compatibilidade dielétrica, como pode ser visto na figura 9.

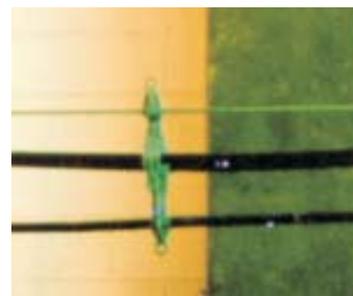
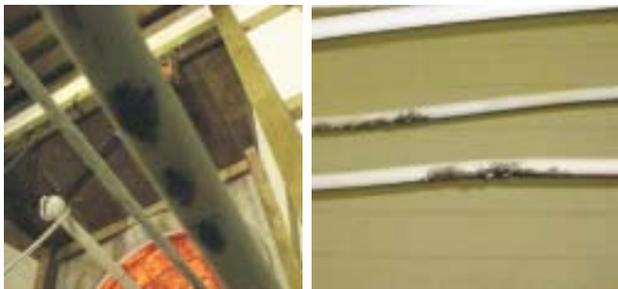


FIGURA 8 - Pontos luminosos indicando falha na cobertura do cabo durante ensaio de compatibilidade dielétrica.



(a) - cabo 3

(a) - cabo 4



(a) - cabo 5

FIGURA 9 - Danos nas coberturas dos cabos após ensaio de compatibilidade dielétrica.

#### F. Resultado dos ensaios realizados no CEPEL nos espaçadores novos

- os espaçadores não foram submetidas ao ensaio de trilhamento elétrico devido às particularidades de dimensões e geometria das amostras que dificultaram a obtenção de corpos-de-prova;
- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 1, os espaçadores 3 e 4 não sofreram dano, o espaçador 2 sofreu dano decorrente da corrente de fuga e o espaçador 1 derreteu (ver figuras 10 e 11);
- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 2, os espaçadores 3 e 4 não sofreram dano, o espaçador 2 sofreu dano decorrente de corrente de fuga e o espaçador 1 derreteu;
- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 3, todos os espaçadores sofreram danos (alguns danos observados são mostrados na figura 12);
- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 4, o espaçador 3 derreteu e todos os demais espaçadores sofreram dano (alguns danos observados são mostrados na figura 13);
- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 5, foram observados danos nos espaçadores 3 e 4 (ver figura 14).



FIGURA 10 - Espaçador 1 derretido durante ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo do fabricante 1.



FIGURA 11 - Danos no espaçador 2 após ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 1.



FIGURA 12 - Danos no espaçador 4 após ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 3.



(a) - Espaçador 2



(b) - Espaçador 4

FIGURA 13 - Danos nos espaçador es após ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 4.



(a) - Espaçador 4



(b) - Espaçador 3

FIGURA 14 - Danos nos espaçador es após ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 5.

#### G. Resultado dos ensaios realizados no CEPEL nos isoladores bastão novos

- no ensaio de trilhamento elétrico, os isoladores bastão 2 e bastão 3 não suportaram pelo menos três níveis de tensão por hora, com tensão inicial de 1,25kV, durante os ensaios;
- nenhuma amostra de isolador bastão apresentou sinais visíveis de deterioração após os ensaios de compatibilidade dielétrica realizados com qualquer um dos tipos de cabos avaliados;
- no ensaio de compatibilidade dielétrica com os cabos 1, 2, 4 e 5, todos os isoladores bastão foram aprovadas nos ensaios de radiointerferência e frequência industrial;

- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 3, todas as amostras de isolador bastão foram aprovadas no ensaio de radiointerferência mas a amostra do isolador bastão 1 e a amostra do isolador bastão 3 foram reprovadas no ensaio de frequência industrial.

**H. Resultado dos ensaios realizados no CEPEL nos isoladores de pino novos**

- no ensaio de trilhamento elétrico, os isoladores pino de 1 e 2 atenderam aos requisitos da NBR 10256 [5] e os isoladores de pino 3, 4, 5 e 6, apesar de atenderem aos requisitos da norma, incendiaram ou apresentaram perda de material durante a ocorrência de trilhamento ou falha, como pode ser visto na figura 15;
- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 1, os isoladores de pino 1, 2, 3, 4 e 5 apresentaram sinais visíveis de deterioração como pode ser visto em alguns exemplos de deterioração mostrados na figura 16;
- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 2, nenhum dos isoladores ensaiados apresentou sinais visíveis de deterioração;
- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 3, somente as amostras do isolador de pino 2 apresentaram sinais visíveis de deterioração, como pode ser visto na figura 17;
- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 4, os isoladores de pino 1, 2, 3, 4 e 5 apresentaram sinais visíveis de deterioração como pode ser visto em alguns exemplos de deterioração mostrados na figura 18;
- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 5, os isoladores de pino 1, 2, 3, 4 e 5 apresentaram sinais visíveis de deterioração como pode ser visto em alguns exemplos de deterioração mostrados na figura 19;
- os resultados obtidos nos ensaios dielétricos de radiointerferência e frequência industrial realizados nos isoladores, ao término do ensaio de compatibilidade dielétrica com os cabos 1 a 5, podem ser vistos na tabela III.



FIGURA 15 - Amostras de isoladores de pino com queima de material durante ensaio de trilhamento.v



(a) - Isolador de pino 1 (b) - Isoladores de pino 2 a 5

FIGURA 16. Exemplo de dano observado nos isoladores de pino após ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 1.



FIGURA 17. Dano na interface isolador-cabo em amostra do isolador de pino 2 após ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 3.



(a) - isolador de pino 1 (b) - isolador de pino 2

FIGURA 18. Danos nos isoladores de pino ao fim do ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 4.



(a) - isolador de pino 1 (b) - isolador de pino 4

FIGURA 19. Danos nos isoladores de pino ao fim do ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 5.

**I. Resultado do ensaio de perfuração sob impulso nos isoladores novos**

- todos os isoladores bastão foram aprovados;
- os isoladores de pino 2, 3 e 6 foram aprovados;
- os isoladores de pino 4 e 5 tiveram uma amostra perfurada cada. Por norma, teria de ser feito o reteste, mas não havia quantidade de amostras suficiente;
- não havia quantidade de amostras suficientes para fazer o ensaio no isolador de pino 6.

**V. CONCLUSÕES**

Nenhuma das amostras de isoladores atendeu ao critério de aprovação do ensaio de trilhamento solicitado pelo CODI/ABRADEE, talvez esse seja o motivo do grande número de danos observados nos isoladores.

Entre os isoladores de pino, o pino 6 foi o único que pode ser considerado como aprovado nos ensaios de compatibilidade dielétrica e nos ensaios de campo. Os motivos para tal resultado podem ser um valor de trilhamento bem próximo ao valor solicitado pelo CODI/ABRADEE e o uso de pino de material polimérico no lugar de pino metálico como elemento de sustentação mecânica.

Os isoladores bastão, apesar de reprovados no ensaio de trilhamento, não apresentaram danos nem no ensaio

saio de campo e nem no ensaio de compatibilidade dielétrica (talvez por não haver contato direto entre o polímero do cabo e o polímero do revestimento do isolador).

Todos os cabos foram aprovados no ensaio de trilhamento, mas todos apresentaram sinais de dano no ensaio de compatibilidade dielétrica, nos locais onde houve gotejamento da água da chuva ou nas interfaces com os isoladores pino. Quanto ao ensaio de campo, o resultado da inspeção de 12 meses mostrou uma degradação semelhante a observada no ensaio de compatibilidade dielétrica.

O ensaio de radiointerferência não deve ser utilizado como critério de avaliação do ensaio de compatibilidade dielétrica pois o valor da tensão de ensaio não é suficientemente elevado para que os danos superficiais alterem o resultado do ensaio.

O ensaio de frequência industrial deve ser utilizado na avaliação dos isoladores submetidos ao ensaio de compatibilidade dielétrica, pois ele consegue mostrar a degradação que o isolador sofreu durante o ensaio.

O ensaio de compatibilidade dielétrica apresentou resultados coerentes com os obtidos com os isoladores instalados no campo, indicando que se constituiu num critério adequado para avaliar materiais para rede de distribuição com cabo coberto e que o modo como os componentes da rede interagem entre si (por exemplo os conjuntos cabo - espaçador e isolador de pino - cabo) é muito importante para a confiabilidade do sistema.

O ensaio de perfuração sob impulso deve ser exigido para garantir que os isoladores fornecidos tenham a mesma confiabilidade dos isoladores de porcelana que estão substituindo, pois as solicitações representadas por este ensaio continuam presentes tanto em rede comum como em rede protegida.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Isoladores tipo pino polimérico para rede compacta de 13,8 kV e 34,5 kV, especificação CODI-3.2.18.27.1.
- [2] Espaçadores e amarrações para rede compacta de 13,8 kV e 34,5 kV, especificação CODI-3.2.18.24.1.
- [3] Cabos cobertos para rede compacta de 13,8 kV e 34,5 kV, especificação CODI-3.2.18.23.1.
- [4] Isoladores compostos poliméricos tipo bastão para rede compacta de 13,8 kV e 34,5 kV, especificação CODI-3.2.18.28.1.
- [5] Material Isolante Elétrico - Avaliação de sua Resistência ao Trilhamento Elétrico e Erosão sob Severas Condições Ambientais, norma NBR 10296.
- [6] Radio interference test on high-voltage insulators, IEC Standard 60437, 1997.
- [7] Composite insulators for systems with nominal voltage greater than 1000 V, IEC Standard 61109, 1992.
- [8] Insulator of ceramic material or glass for nominal voltage above 1000 V - Puncture Test, IEC Standard 61211, 1994.
- [9] Técnicas de Ensaio de Alta Tensão - Procedimentos, norma NBR 6936, 1992.