

# Sensor para verificação de degradação em isoladores poliméricos de linhas de transmissão

F.E. Nallim, J.M.G. Angelini, J.A.D. Rossi, J.A. Petrachim - CPqD, N.C. Góis, J.A.S. Brito - COELBA

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados obtidos no primeiro ano do projeto em andamento desde abril de 2003, com ênfase aos Relatórios Técnicos 1 e 2, quais sejam: Estado da Arte em Isoladores Poliméricos e Estado atual de Aplicação e Desempenho em Campo destes Isoladores Poliméricos. Uma introdução ao Relatório Técnico 3 é colocada.

## PALAVRAS-CHAVES

Degradação de Materiais Poliméricos; Envelhecimento Natural; Envelhecimento Acelerado; Isoladores Poliméricos; Sensores.

## I. INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento de utilização de isoladores poliméricos em linhas de 69 e 138 kV em concessionárias de energia elétrica faz-se necessário uma melhor avaliação de suas características de desempenho e de seus modos de degradação. Nesse sentido o projeto de pesquisa busca alcançar alguns resultados de fundamental importância, para a concessionária e usuários, como os seguintes:

- Minimização de risco de indesejáveis desligamentos intempestivos por falha em isoladores poliméricos;
- Metodologia para avaliar a degradação de isoladores poliméricos;
- Técnicas para detecção de falhas em isoladores poliméricos;
- Prototipagem de sensor de falha do isolador polimérico.

Assim, os seguintes objetivos foram traçados para o Projeto:

- Avaliar o desempenho de isoladores poliméricos, de acordo com Normas IEC e outras;
- Desenvolver métodos que avaliem a degradação de isoladores poliméricos;
- Definir requisitos de desempenho para o isolador polimérico;
- Desenvolver técnicas que permitam detectar os isoladores poliméricos que falhariam, antes desta ocorrência em linha de transmissão;
- Desenvolver o protótipo do sensor de falhas por degradação de isoladores (alteração de cor, de temperatura, ou de sinais elétricos, corrente de fuga, entre outros), para antecipação destas falhas nos produtos em campo;
- Consolidar a especificação técnica do sensor de falha desenvolvido.

## II. RESULTADOS

A . Levantamento bibliográfico do estado da Arte

O Relatório Técnico 1 [1] teve como objetivo apresentar resultados parciais do levantamento do estado da arte que está sendo conduzido, através de pesquisas bibliográficas sobre isoladores poliméricos e sensores de degradação, para aplicação em linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica. Pequena parte desta pesquisa bibliográfica faz-se presente a seguir:

Na avaliação de níveis de correntes de fuga em isoladores estudou-se [2] as correntes de fuga de EPDM e Silicone, durante uma moderada tempestade de saís, em janeiro de 1993. Os isoladores do mesmo fabricante, de “design” idêntico, comportaram-se muito diferentemente. O EPDM mostrou uma corrente de fuga bem maior e intensidade de arcos na superfície, enquanto o silicone manteve uma baixa corrente de fuga. Mudanças químicas foram investigadas por MEV, FTIR-ATR, (para avaliar variações em seis anos de campo), Espectroscopia por Raios X, e outras. Os resultados mostram forte relação entre condições superficiais e correntes de fuga [2].

Em avaliação laboratorial a referência [3] descreve resultados de medições por calorimetria de varredura diferencial (DSC) e por corrente termicamente estimulada (TSC) em amostras poliméricas usadas como isoladores em media tensão, em distribuição de energia. Houve tentativa de correlacionar parâmetros de carga armazenada com fenômenos de quebra observados em ensaios de resistência à voltagem em trilhamento (VTR). Medidas de DSC foram usadas para verificar se os picos de TSC aumentam num processo de relaxação associado com modificações morfológicas ou estruturais. Uma correlação é mostrada entre condutividade e resistência à tensão elétrica de trilhamento [3].

A influência do material e tensão elétrica no desempenho de isoladores poliméricos foi estudada nos campos da costa oeste da Suécia. O comportamento e estabilidade sob condições de poluição salina foram estudados para EPDM e silicone. Para isoladores de mesmo “design” foi comparada a corrente de fuga para ambos, AC e DC, isoladores energizados, e também para os de silicone expostos a diferentes tensões elétricas. O isolador de EPDM perdeu sua hidrofobicidade e apresentou alta corrente de fuga; entre os quatro EPDM submetidos ao ensaio, dois falharam durante a tempestade de saís. O de silicone, com a

mesma distância de escoamento ou fuga que os demais de EPDM, mostrou muito menor corrente de fuga. Mas os de silicone com menor distância de escoamento apresentaram picos de pulsos de corrente iguais aos de EPDM com maior distância de escoamento [4].

Uma investigação, sobre a perda temporária da hidrofobicidade de alguns isoladores poliméricos e revestimentos, foi realizada por grupo australiano. Tipos de descarga elétrica podem causar uma substancial perda desta hidrofobicidade para EPDM, PTFE e silicone; também foi observado um grande ganho desta propriedade. O tempo do processo de recobrimento foi determinado para vários isoladores comerciais; também foram discutidos aspectos de degradação, mecanismos de reparos e alguns aspectos práticos [5].

Em [6] foi desenvolvido um programa para processar medições experimentais conectadas com o fenômeno de quebra e pré-quebra em isoladores poliméricos, o que é importante para a aplicação em campos eletromagnéticos fortes. Descargas parciais é o mais importante fator contribuindo para a danificação do isolador, segundo este grupo grego. Detectaram e mediram em laboratório as descargas parciais nas quais a tensão de alto impulso é aplicada; o fenômeno tem natureza estatística, sendo, portanto, necessárias muitas medições. Um programa de computador foi usado para processar os inúmeros dados obtidos (processador de medições de descargas parciais - pdmp); pode criar uma série de curvas e tabelas que podem ajudar a guardar e estocar as informações [6].

A referência [7] apresenta os resultados de avaliação laboratorial de isoladores poliméricos de linha de Transmissão, classe 138 kV, submetidos a ensaios de envelhecimento acelerado. Coloca que “a deterioração causada pelo envelhecimento é a principal causa das falhas nos isoladores poliméricos representando 64%”. São mostrados resultados de ensaio de envelhecimento acelerado em amostras de diversos fornecedores de EPDM, silicone e vidro com RTV e também em amostras de material. Os ensaios foram realizados no CEPTEL. Sugere ainda uma complementação da avaliação com levantamento do estado de isoladores retirados de campo. São utilizadas as normas IEC 1109 e IEC 507 na composição dos ensaios realizados de envelhecimento acelerado, ensaios mecânicos e elétricos.

O silicone e o EPDM são hoje os materiais mais utilizados na confecção de isoladores poliméricos. O objetivo de [8] é estudar as propriedades dielétricas de composições de silicone, por incorporação de quantidades variadas de alumina tri-hidratada, e avaliar propriedades como rigidez dielétrica, constante dielétrica, resistividade elétrica e resistência ao trilhamento elétrico. As propriedades são avaliadas após ensaios de envelhecimento acelerado.

Ainda na linha de investigação de isoladores poliméricos classe 138 kV tipo “line post” [9], foram

conduzidos no EPRI HVTRC ensaios de envelhecimento acelerado com o objetivo de reproduzir as condições da costa da Flórida, região de concessão da Flórida Power and Light Co.

Foram comparados isoladores novos e isoladores com envelhecimento acelerado em laboratório.

Como base para os ensaios de envelhecimento, foram coletados e analisados dados das regiões em que linhas estão instaladas, divididos em condições ambientais do verão e inverno. Com isso foi desenvolvido uma câmara de ensaios com condições representando as situações mais severas de instalação. São apresentados os resultados desse envelhecimento e das condições dos isoladores após os testes.

Na mesma linha de trabalho, o artigo [10] de pesquisadores da Universidade do Arizona também trata de reproduzir em laboratório para testes de envelhecimento condições ambientais medidas em campo. Dessa maneira, são simuladas, em câmaras climáticas as condições coletadas no inverno e verão em Boston - USA. A validação dos experimentos é feita com comparação de dados de campo.

A corrente de fuga é um parâmetro importante a ser avaliado na determinação da vida útil de isoladores poliméricos.

Um artigo [11] da Chalmers University da Suécia trata de corrente de fuga em isoladores e materiais não cerâmicos com medições no campo e em laboratório. Desenvolve um sistema de medição de corrente de fuga em campo e em laboratório como correlacionar desempenho do material com a corrente de fuga.

Foram desenvolvidos diversos estudos baseados no desempenho em campo de isoladores poliméricos e os comentários a seguir relatam alguns desses estudos. Versando sobre efeitos da contaminação biológica na performance do isolador [12] a referência trata de isoladores poliméricos expostos às condições tropicais com e sem poluição, no Sri Lanka e Tanzânia. Foram observadas contaminações com algas, mas ensaios de laboratório não indicaram forte efeito dessa contaminação no desempenho dos isoladores de silicone. São apresentadas também alternativas de controle das algas.

Os resultados de uma experiência de campo conduzida na Suécia são reproduzidos [13] mostrando os resultados das investigações do uso de isoladores poliméricos em linhas de alta tensão. A avaliação é realizada em condições naturais e artificiais, são avaliados novos métodos de ensaio e os efeitos de envelhecimento e hidrofobicidade. É analisado ainda o fenômeno do “flashover” em superfícies hidrofóbicas. Ainda sobre experiência de campo em envelhecimento de isoladores de EPDM e silicone, um trabalho desenvolvido pela Universidade de Chalmers [14] mostra os resultados de um experimento de longa duração sob condições de contaminação natural, em instalações de campo. Como objetivo principal o artigo estuda a inter-relação entre as condições de superfície do isolador polimérico e o seu

desempenho elétrico, sendo avaliados em detalhes as condições de superfície, hidrofobicidade e estatística de corrente de fuga em 9 isoladores. Os resultados mostram forte relação entre as condições de superfície, especialmente a hidrofobicidade e corrente de fuga e tensão suportável.

Um experimento relacionado com exposição de isoladores poliméricos à poluição industrial é mostrado em [15]. São analisadas as variações de hidrofobicidade e performance elétrica de isoladores de silicone expostos à poluição industrial em campo por dois anos. Ao mesmo tempo são avaliados isoladores tratados com o tipo de poluição industrial característica para avaliar o efeito dessa contaminação nas suas características. Os resultados mostraram mudanças significativas das características de hidrofobicidade e desempenho elétrico nos isoladores retirados de campo e são analisadas também as variações de características dos isoladores tratados com os materiais poluentes.

## **B . Avaliação do levantamento bibliográfico**

O estado da arte da utilização de isoladores poliméricos a nível mundial foi parcialmente levantado e sua continuidade é importante.

O desempenho do produto é função de adequação de formulação de material mais “design”, além de condições de processamento, sendo fundamental a boa aditivação da formulação do polímero e a distância de escoamento adequadamente estudadas; outro fator importante é a junção entre as diferentes partes do isolador polimérico compósito.

As propriedades de superfícies, como resistividade superficial e volumétrica, e a corrente de fuga são aspectos elétricos importantes para serem monitorados.

Não há, até a percepção do momento, estudos de fatores individualmente afetando o desempenho dos produtos, o que é importante; há pouco sobre propriedades químicas relacionadas ao desempenho de produtos e sobre as propriedades térmicas, correlacionadas às variações nas propriedades elétricas e mecânicas.

Não há, até a percepção do momento, citação de formas de avaliar como um isolador polimérico está em campo e quando ele irá falhar. As caracterizações das condições ambientais de aplicação dos produtos são importantes aspectos a serem realizadas. As condições de armazenamento, manuseio e transporte, bem como do ambiente operacional de aplicação são importantes no desempenho final do produto.

## **C . Desempenho em ambiente operacional**

O estado atual de desempenho dos isoladores poliméricos em ambiente operacional, em linhas de 69 kV e 138 kV, na área de concessão da COELBA, é fundamental de ser compreendido e contextualizado, o que se pretendeu com o estudo contido no Relatório Técnico 2 [16]. Os subsídios obtidos nortearam quanto às necessidades

de coletas de mais amostras em campo, bem como para a obtenção de amostras de isoladores novos e mantas elastoméricas.

As informações foram coletadas em duas etapas. Na primeira as informações foram obtidas a partir de uma reunião realizada em Campinas, entre pesquisadores da equipe do CPqD e o gerente do projeto por parte da COELBA. Nessa reunião foram levantados o histórico da utilização de isoladores poliméricos na COELBA, as causas que levaram à sua introdução na empresa, o percentual de aplicação, classes de tensão, modelos e fabricantes mais utilizados, índice de defeitos, defeitos mais frequentes, possíveis causas de ocorrência de falhas nos isoladores, e outras informações.

Numa segunda etapa, foram obtidas informações a partir de observações e coleta de amostras realizadas numa visita à COELBA, por parte da equipe do CPqD, em junho de 2002. Nessa visita foram analisadas a forma de recebimento e estocagem do material, acompanhamento das instalação e substituição de peças em campo pelo pessoal de trabalho em linha viva, coleta de amostras em regiões determinadas, além de complemento de informações a respeito do histórico de desempenho dos isoladores em campo.

Os isoladores poliméricos retirados de campo por defeitos observados puderam dar uma idéia dos tipos possíveis de falhas encontradas e mostrar caminhos para se prevenir a falha, antecipadamente, entender os processos de degradação, melhorar os processos de inspeção, etc.

Neste momento ainda não se tem uma estatística do percentual de isoladores poliméricos retirados de campo por ocorrência de defeitos e nem mesmo informações conclusivas dos modos de falha desses isoladores, o que vai ser obtido a partir dos estudos desenvolvidos. No entanto, o histórico dos isoladores já retirados e a experiência acumulada da COELBA na observação desses defeitos podem indicar caminhos preliminares para se chegar aos resultados propostos.

Nesse sentido, é muito rica a quantidade de informações já acumulada no decorrer dos anos a respeito de isoladores já retirados de campo e com modos de degradação observáveis. Vão ser enumerados alguns deles e foram quando possível identificados com fotos ilustrativas, no relatório, dos tipos de defeitos encontrados. Essas fotos são do arquivo da COELBA da experiência acumulada nos últimos anos.

Em alguns casos é detectado que os isoladores estão com problemas por defeitos ocorridos na linha, quando então podem ser observados mais facilmente os tipos de danos ocorridos na isolação. Mas, mesmo nesses casos, muitas vezes só se observa o defeito após a ocorrência da falha, ou seja, a deterioração do isolador não foi detectada a tempo. Esse tipo de degradação do isolador, normalmente, seria observável caso o isolador fosse inspecionado de

perto já que o grau de destruição da peça é muito aparente. Um caso relatado que demonstra esse tipo de falha ocorreu em uma linha em uma região de alto grau de poluição química, com a ocorrência de destruição das saias de isoladores EPDM, com somente 3 anos de instalação em campo. O isolador degradado foi localizado pela ocorrência sistemática de falhas na linha e pela observação da fumaça que saía da torre/isolador (fumaça de enxofre, S, com água, propiciando o ataque do ácido sulfúrico, mais agressivamente, na parte de baixo do isolador, corroendo toda a saia do isolador onde a fumaça atingia).

Casos como esse, com degradação da saia de maneira drástica, seriam mais facilmente observáveis com subida na torre ou binóculos, embora muitas vezes a ocorrência esteja localizada numa face do isolador não facilmente observável para o inspetor. Um isolador com processo de “esfarelamento” do material das saias provavelmente causado por altíssimas correntes de fuga foi encontrado.

Outro ponto importante observado são os defeitos que ocorrem nas interfaces bastão de fibra de vidro/saias poliméricas e bastão mais saias/metálica. As interfaces são importantes pois são variados os processos de fabricação e portanto os tipos de junção fibra/polímero e metal/fibra, com a aplicação de colas, prensagem, extrusão e injeção. Foram observados casos de saias soltas em relação ao bastão de vidro, o que pode facilitar a ocorrência de descargas e correntes de fuga pela parte interna do bastão ao invés do caminho projetado pelas saias. O mesmo pode ocorrer se houver penetração de umidade na junção metal/fibra ou fibra/saias. Um exemplo drástico de ocorrência de falha na junção metal/fibra e o bastão se soltou deixando as fibras expostas em forma de “vassoura”, provavelmente em função de uma descarga ocorrida no isolador, propiciando a falha em um isolador já previamente degradado.

Nas junções metal/fibra podem ocorrer processos de isoladores colados e outros com processos de prensagem e materiais diferentes suportam diferentes temperaturas, diferentes contrações, etc. dando margem à ocorrência de falhas.

Foi observado isolador com queima aparente da parte metálica, perda da galvanização e degradação da saia e bastão de fibra, provavelmente, pela ocorrência de arco de potência. Um isolador em que tenha ocorrido um arco de potência, pela energia e calor envolvidos, possivelmente, já vai estar degradado e deveria ser preventivamente retirado de campo, evitando futuros desligamentos intempestivos da linha. A grande questão associada é como se identificar a ocorrência em determinado isolador. De qualquer maneira, ensaios e medições laboratoriais provocando arcos de potência em amostras novas para se avaliar o grau de danos e maneiras de identificação de ocorrência antecipada passam a ser um tema de grande interesse a ser pesquisado no decorrer dos trabalhos.

Ou seja, é de grande importância ter uma maneira du-

rante uma inspeção, de visualizar ou ter indicação que aquele isolador já foi atingido por descarga com formação de arco de potência.

Ocorrências de descargas em isoladores que deixam marcas visíveis também puderam ser observadas e podem ser devido a falhas em junções, quando se observa que as marcas nas saias aparecem no meio do produto e desaparecem em seguida ou por todo o isolador quando aparentemente descargas parciais degradaram a superfície do mesmo, propiciando a formação do arco em determinado momento. De qualquer maneira, ensaios em laboratório podem esclarecer esse tipo de comportamento e propiciar métodos de antecipar a observação de falhas que irão propiciar ocorrências mais graves.

Os casos relatados anteriormente dão conta de degradação de grande monta e que mostram uma situação de falha ou pré-falha bem caracterizada para o isolador; no entanto, ocorrem muitos outros processos de degradação, que podem levar a falhas do isolador, mas que não são tão facilmente observáveis a olho nu ou à distância. Esses casos são fundamentais de serem analisados para que se conheça os processos que levam à degradação dos elementos do isolador, em que situações isso ocorre e quais os indicadores que poderiam ser levantados para se prever o fim de vida do isolador.

Nesse sentido, foram observados alguns processos de contaminação dos isoladores em campo e que somados aos casos relatados na literatura fornecem subsídios para avaliação da sua degradação. Os isoladores poliméricos na COELBA estão instalados em diversas situações e locais que podem levar a processos diferentes de contaminação. Basicamente, essas situações podem ser resumidas em áreas sujeitas a altos índices de salinidade, nas proximidades da orla marítima, áreas com poluição industrial, como no pólo petroquímico de Camaçari, em regiões do interior da Bahia (sertão) com baixa densidade de descargas atmosféricas e na região oeste do Estado, com maiores níveis de descargas atmosféricas e de umidade.

A poluição salina e a industrial acabam acarretando degradação da superfície do isolador, com erosão, “tracking”, ou trilhamento, e posterior aumento da corrente de fuga, principalmente quando associado com aumento da umidade da superfície. No caso de poluição salina, chuvas abundantes podem favorecer a inibição dessa contaminação pela “lavagem” do isolador. Já em regiões com alta umidade, mesmo sem poluição, pode haver o aparecimento de limos e fungos, casos já relatados na literatura e também observados em campo.

Um isolador foi retirado de uma região próxima à orla marítima com aparência de contaminação na superfície e com marcas supostamente de correntes de fuga na superfície. Outro isolador foi retirado de região com poluição industrial, mas com formação também de limo na superfície. Esse isolador apresenta ainda manchas vermelhas de tinta

de respingos da pintura da torre, ou seja, um tipo de contaminação promovida pelo próprio processo de manutenção das estruturas metálicas.

Na região do Recôncavo Baiano, pela alta umidade, foi observada a formação de fungos com manchas pretas aparentes na superfície do isolador, que podem vir a aumentar os níveis de descargas parciais quando associadas à umidade.

Outro fenômeno observado, principalmente em isoladores com formulação EPDM, é a produção do esbranquiçamento ou “gizamento” do isolador.

Como conclusão do relatório 2 tem-se que:

- estado atual de desempenho dos isoladores poliméricos em ambiente operacional foi compreendido e contextualizado;
- As caracterizações de condições ambientais de aplicação dos produtos serão mais exploradas;
- As condições de armazenamento, manuseio e transporte necessitam de elaboração e revisão de procedimentos;
- As necessidades quanto à coleta de mais amostras em campo estão sendo negociadas com a COELBA, para efetivação posteriormente [16];
- As amostras de isoladores novos e de mantas elastoméricas, em processo de obtenção, juntamente com os isoladores preliminarmente coletados, e as revisões bibliográficas realizadas [1] e em andamento, foram subsídios à continuidade deste trabalho para obtenção de requisitos de desempenho de isoladores poliméricos, nos diversos ambientes operacionais da área de concessão da COELBA.

#### D. Ensaios sendo realizados

O Relatório Técnico 3 [17] teve como objetivo apresentar os resultados dos ensaios realizados nos isoladores poliméricos de EPDM, novos e retirados de campo, para aplicação em linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica. Também foram apresentados os resultados de ensaios realizados em mantas elastoméricas de EPDM e Silicone, preparadas da mesma forma que as formulações utilizadas nos isoladores.

Os ensaios realizados e em andamento são:

- Envelhecimento Térmico;
- Envelhecimento em Névoa Salina;
- Envelhecimento em água;
- Envelhecimento em Intemperismo artificial (QUV);
- Ensaios elétricos de alta tensão nos Isoladores;
- Medições de Correntes de Fuga nos Isoladores;
- Medições de Rugosidade Superficial nas Mantas Elastoméricas e Isoladores;
- Medições de Resistividade Superficial e Volumétrica nas Mantas Elastoméricas e Isoladores;
- Ensaios de Tração nos Isoladores;
- Espectrofotometria Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR);

- Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com micro-análise dos Isoladores e Mantas;
- Medições de Dureza Shore nas Mantas Elastoméricas;
- Medições de Densidade nas Mantas e Isoladores;
- Ensaios por TGA nos Isoladores;
- Análise Térmica Dinâmico Mecânica (DMTA) nos Isoladores e Mantas;
- Calorimetria Diferencial de Varredura, dinâmico (DSC) nos Isoladores e Mantas;
- Calorimetria Diferencial de Varredura, isotérmico (DSC para OIT);
- Ensaios curto-circuito nos isoladores a serem realizados.

Os resultados dos ensaios farão parte de novo trabalho a ser publicado, bem como os resultados dos desenvolvimentos dos sensores de degradação, previstos os terminos para abril de 2004.

Como ilustração estão apresentados alguns resultados obtidos por DMTA.

### III. PRÓXIMAS ETAPAS

O transcorrer do desenvolvimento do projeto está em fase com o cronograma inicialmente planejado sendo que na fase atual estão sendo desenvolvidos os ensaios previstos e os primeiros protótipos do sensor de degradação. Há expectativa de desenvolvimento, com sucesso, de três formas de avaliação de degradação do isolador polimérico.

### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Relatório Técnico 1 - Estado da arte em isoladores poliméricos, CPqD Coelba, 2002.
- [2] Sorqvist, T.; Karlsson, U.; Vlastos, A.E.; Surface ageing and its impact on the performance of polymeric insulators; Conference Title: Ninth International Symposium on High Voltage Engineering, Part vol.3, p.3234/1-4, vol.3, 1995.
- [3] Andrade, A.M.; Faria, R.M.; Fonseca, F.J.; Dirani, E.A.T.; Pinheiro, W.; Oliveira, J.J.S.; Conference Title: 8th International Symposium on Electrets. ISE 8, Proceedings (Cat. No.94CH3443-9), p.911-15, 1994.
- [4] Vlastos, A.E.; Influence of material and electric stress on the performance of polymeric insulators; Conference Title: Proceedings of the 4th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials (Cat. No.94CH3311-8); Part vol.2, p.542-5 vol.2, 1994.
- [5] Bhana, D.K.; Swift, D. A.; An investigation into the temporary loss of hydrophobicity of some polymeric insulators and coatings; Part vol.1 p.294-7, vol.1; 1994.
- [6] Moronis, A.X.; Bourkas, P.D.; Dervos, C.T.; Kagarakis, C.A.; A program to process the experimental measurements connected with the research of breakdown and prebreakdown phenomena in solid polymeric insulators; Journal: International Journal of Power and Energy Systems vol.14, no.3 p.77-83, 1994.
- [7] Garcia, W. S. e outros, " Avaliação de isoladores poliméricos submetidos a ensaio de envelhecimento acelerado", Grupo III, GLT, XIV SNPTEE, 1997
- [8] Gonzalez, E.G.C.; Sens, M.A.; Visconte, L.Y.; Nunes, R.C.R. " Propriedades dielétricas de composições de silicone para uso em isoladores de Linhas de Transmissão", Grupo III Linhas de Transmissão, GLT 009, XVI SNPTEE, 2001.
- [9] Schneider, H. M.; Guidi, W. W.; Burnham, J. T.; Gorur, R. S.; Hall, J. F. " Accelerated aging and "flashover" tests on 138 kV nonceramic line post insulators"; IEEE Trans. On Power Delivery, vol. 8, nº 1, January 1993.

- [10] Sundararajan, R.; Pelletier, C.; Chapman, R.; Pollock, T.; Nowlin, R.; Baker, T.; "Multistress aging of polymeric insulators"; Annual Report Conf. On Electrical Insulation and Dielectric Phenomena"; vol 1, pp 369-372, 2000.
- [11] Fernando, M.A.R.M.; Gubanski, S. M. "Leakage currents on non-ceramic insulators and materials" IEEE TRANS. On Dielectrics and Elect. Insulation, vol 6, n5, 1999, pp 660-667.
- [12] Gubanski, S. M.; Fernando M. A. R. M.; Pietr, S. J.; Matula, J.; Kyaruzi, A. "Effects of biological contamination on insulator performance." Proceedings of 6th Int. Conf. on Prop. And Applications of Dielectric Materials, 2000.
- [13] Gubanski, S.; Hartings, R., " Swedish research on the application of composite insulators in outdoor insulation" ; IEEE Electrical Insulation Magazine, vol 11, nº 5, 1995, pp 24-31.
- [14] Sorqvist, T.; Vlastos, A. E.; Performance and ageing of polymeric insulators; IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 12, nº4, 1997, pp 1657-1665.
- [15] Awad, M.; Said, H.; Arafa, B. A.; Rizk, M.S.; Nosseir, R.; The effect of environmental conditions on the degradation of polymeric insulators"; Intern. Conf. On Large High Voltage Electric Systems, CIGRE '98 Session Papers, Part vol 5 p 6, 1998.
- [16] Relatório Técnico 2 - Estado Atual do Desempenho dos Isoladores Poliméricos em Ambiente Operacional, CPQD Coelba, 2002.
- [17] Relatório Técnico 3 - Ensaio em Isoladores Poliméricos e Mantas Elastoméricas CPQD Coelba, 2003.

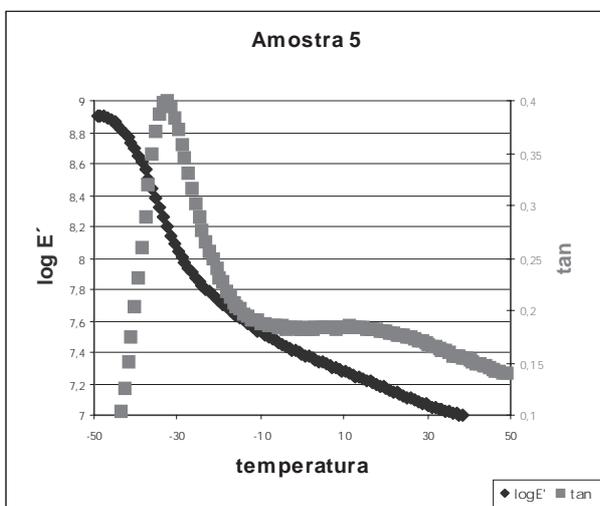
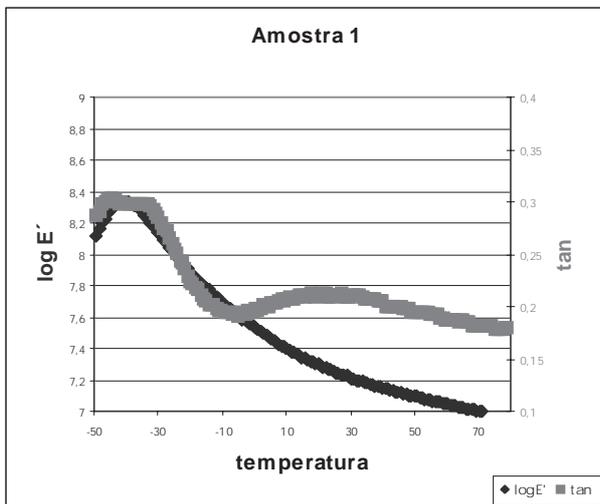
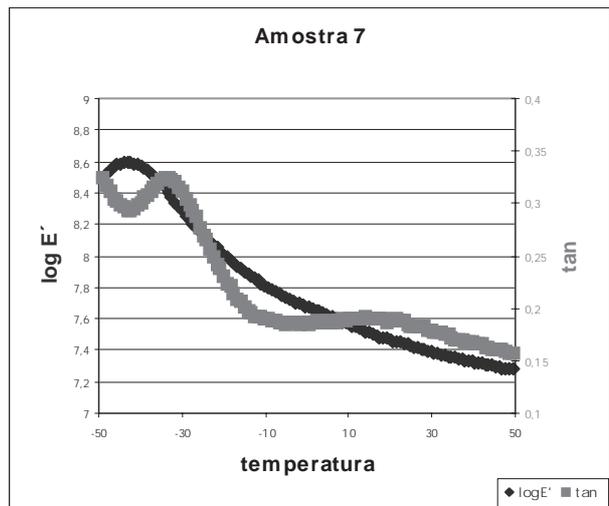
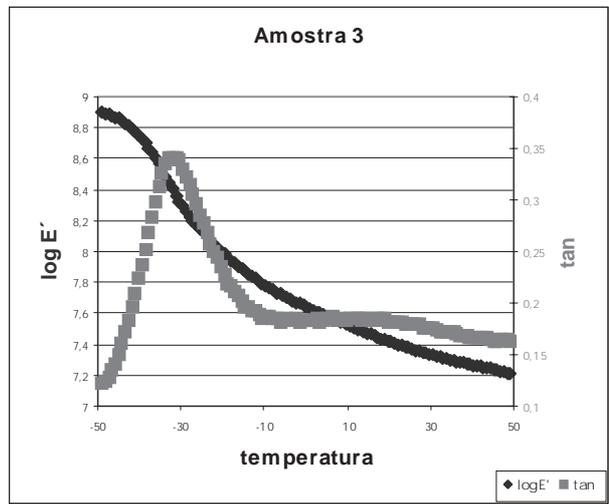


FIGURA 1 - Termograma de DMTA de amostras de isoladores: Arranjo básico do sistema elétrico (0) novo; (1) de campo (Linha Millenium Guarajuba, interior ao bairro); (3) após ciclo térmico; (4) novo; (5) após névoa salina; (7) após água



FIGURA 2 - Isolador com saias danificadas



FIGURA 3 - Isolador com saias deterioradas.