SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GLT 30
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

APLICAÇÃO DE SENSOR PARA MONITORAMENTO DA DEGRADAÇÃO DE ISOLADORES POLIMÉRICOS DE EPDM NA COELBA

N. C. Góis*				
	J. A . D. Rossi	**F. E. Nallin**	**J. A . Petrachim**	**J. M. G. Angelini**
COELBA	**Fundação CPq**	**Fundação CPq**	**Fundação CPqD**	**Fundação CPqD**

RESUMO

O uso de isoladores poliméricos em linhas de transmissão e de sub-transmissão vem aumentando de maneira bastante intensa nos últimos anos e, apesar da tecnologia estar em uso desde a década de 80, ainda persistem dúvidas a respeito de sua vida útil e de seus modos de falha preferenciais. Os polímeros são compostos orgânicos e vão se degradando com o tempo, se não estabilizados, e por isso é preciso descobrir quando acontecerá o colapso.

Com o objetivo de determinar o modo de falha preferencial dos isoladores poliméricos, foram realizados ensaios elétricos (aplicação de tensão nominal e medição da corrente de fuga) em isoladores novos, em isoladores retirados de campo com tempos diferentes de instalação, e em locais de atmosferas diversas (rural – sertão, urbana e salina) e em isoladores submetidos a ensaios de envelhecimento acelerado e outros ensaios de avaliação de degradação do material. Uma vez estabelecido o modo preferencial de falha, partiu-se então para a definição de um limiar de corrente de fuga para o isolador, baseado nos ensaios elétricos realizados e, a partir desses limiares, o desenvolvimento de diferentes tipos de sensores baseados na atuação por corrente elétrica, já que esse fator indica sua perda de capacidade de isolamento, principalmente pela perda de propriedades superficiais.

Os principais polímeros usados para fabricação de isoladores são borracha EPDM, borracha de silicone e uma mistura silicone - EPDM. O trabalho foi dirigido para isoladores de EPDM, por ser este o maior contingente instalado na COELBA, que possui isoladores, deste tipo, instalados desde 1989, com algumas ocorrências associadas ao estado de degradação dos isoladores.

Este artigo tem como objetivo apresentar modelos de sensores, capazes de monitorar a degradação de isoladores poliméricos, em EPDM, de 69 kV, através da medição de corrente de fuga, e uma metodologia para avaliar a degradação dos isoladores aplicados nas linhas de 69 kV.

Uma das conclusões foi que a degradação é mais acelerada na presença de umidade tipo névoa de baixa intensidade, comum durante a noite ou madrugada quando ocorre orvalho, assim como nas áreas litorâneas, representado pela névoa salina trazida do mar pelas brisas (fato já conhecido).

Com a utilização de um sensor, é possível estabelecer um padrão de indicação de que o isolador estaria em uma etapa de degradação próxima ao fim de sua vida útil, permitindo que a concessionária de energia fizesse sua substituição antes da ocorrência de uma falha com conseqüências mais graves.

Foram projetados cinco protótipos de sensores com variações de concepção. Desses sensores, três já estão aptos para trabalhar nos níveis de corrente projetados e, pelo menos um, não necessita de adaptações da estrutura de suporte do isolador para sua instalação. Um deles está instalado em campo há dois anos. A idéia

(*)**ncgois@coelba.com.br; jrossi@cpqd.com.br; petra@cpqd.com.br; nallim@cpqd.com.br; joceli@cpqd.com.br**

inicial era usar os sensores acoplados a cada isolador polimérico instalado, mas os resultados apontam para solução de monitoramento por amostragem e ambiente de instalação.

O trabalho envolve o desenvolvimento de protótipos de laboratório e a instalação dos mesmos em campo para avaliação do desempenho. Para a fixação dos sensores, foi necessário projetar adaptações na estrutura de sustentação do isolador, nas ferragens, e testar sua adequação à sustentação da cadeia. Os sensores ficaram instalados durante 18 meses e serão apresentados os resultados de avaliação dos protótipos retirados de campo.

PALAVRAS-CHAVE

Degradação de Produtos Poliméricos; Isoladores Poliméricos; Sensores por Corrente de Fuga.

1.0 - INTRODUÇÃO

A COELBA vem ampliando a utilização de isoladores poliméricos nas suas linhas de sub transmissão, principalmente isoladores de EPDM na classe 69 kV e, em função disso, foi estabelecido um projeto de pesquisa entre a COELBA e o CPqD para avaliar o desempenho desses isoladores, sua expectativa de vida útil e também o desenvolvimento de um sensor que indicasse o "fim de vida" do isolador. O objetivo do desenvolvimento do sensor é o de estabelecer um padrão de indicação de que o isolador estaria em uma etapa de degradação próximo ao fim de sua vida útil, permitindo que a concessionária de energia fizesse a sua substituição antes da ocorrência de uma falha com conseqüências mais graves.

Com o objetivo de estabelecer padrões para avaliar a degradação do isolador, foram estabelecidas três vertentes principais:

a) Estabelecimento de requisitos de desempenho mínimo adicionais

Esses requisitos foram estabelecidos a partir de ensaios em amostras de isoladores, comparativos a especificações estabelecidas em normas internacionais e nacionais. Com esses requisitos se consegue que os novos isoladores a serem instalados em campo tenham um desempenho que garanta uma vida útil de acordo com o especificado.

b) Determinação do modo de falha preferencial do isolador

Com o objetivo de determinar o modo de falha preferencial, foram realizados ensaios elétricos em isoladores novos, em isoladores retirados de campo e em isoladores submetidos a ensaios de envelhecimento acelerado e outros ensaios de avaliação de degradação do material. O resultado dessa avaliação é mostrado nesse trabalho.

c) Desenvolvimento de um sensor

Uma vez estabelecido o modo de falha preferencial partiu-se para o desenvolvimento de um elemento sensor, possível de ser instalado nos isoladores das linhas de 69 kV da COELBA.

Com bases em literatura e na própria experiência em modos de falha em isoladores, foi estabelecido um sensor de atuação pelo nível de corrente de fuga do isolador, já que esse fator indica a sua perda de capacidade de isolamento, principalmente pela perda de características superficiais.

Foi necessária também a avaliação de um limiar de corrente de fuga para o isolador, baseado nos ensaios elétricos realizados e, a partir desses limiares, o desenvolvimento de diferentes tipos de sensores baseados na atuação por corrente elétrica.

2.0 ANÁLISE DO MODO DE FALHA DOS ISOLADORES

A metodologia para detectar o modo de falha preferencial do isolador seguiu os seguintes passos:

a) Seleção de isoladores para avaliação

Foram selecionados isoladores novos, isoladores submetidos aos ensaios de envelhecimento acelerado e isoladores retirados de campo.

b) Ensaios para avaliação do modo de falha

Os isoladores selecionados foram submetidos à aplicação da tensão nominal de utilização dos isoladores (40 kV fase-terra) [8-10] e foram medidas suas corrente de fuga nas condições de chuva, seco e névoa limpa.

c) Análise dos resultados com análise comparativa dos valores de corrente de fuga.

d) Determinação do modo preferencial de falha.

A conclusão de que o isolador degradado mostrava-se com maior atividade elétrica em condição de "névoa" foi obtida observando-se os valores de corrente de fuga eficaz medidos, assim como através da verificação visual do tipo de atividade elétrica desenvolvida na superfície do isolador.

Dessa maneira, a primeira etapa a chamada “névoa limpa” consistia em aspergir o isolador e aplicar a tensão com medição da corrente de fuga. Com o isolador ainda úmido a corrente de fuga ainda era baixa (por exemplo menor que 1 mA).

O processo de secagem do isolador (no caso das amostras com alta corrente de fuga) não se dava de maneira uniforme, mas com a formação das chamadas “bandas secas” ou seja, secagem localizada em determinados pontos da amostra. Nesses pontos, a partir da formação da banda seca, eram observados o efeito corona e a formação de arcos de superfície, seguidos de aumento do valor da corrente de fuga (da ordem de 10 mA).

De acordo com o observado nos ensaios, e também com o descrito na literatura [11-22], o modo de falha descrito tem a ver com as características de isoladores de EPDM e sua hidrofobicidade. A condição de névoa limpa favorece que a característica de hidrofobicidade do isolador polimérico proporcione a formação de gotas de água na superfície do isolador e desfavorece a formação de filmes de água.

Na condição de isolador não poluído, a distribuição de campo elétrico depende da geometria e material do isolador, mas, normalmente, os pontos de campo elétrico mais intenso ocorrem nos eletrodos linha e terra. Quando a poluição se acumula no isolador, pode ocorrer distorção na distribuição de campo elétrico (poluição na presença de umidade mudando as características de resistividade da superfície) e, principalmente, no caso dos isoladores poliméricos, os altos campos elétricos nas gotas de água podem provocar o aparecimento de arcos elétricos parciais na superfície [19]. Estes arcos acabam causando degradação na superfície (degradação térmica pelo efeito joule conforme relatado em [21] para isoladores de silicone) e perda de características de hidrofobicidade do material [19],[20]. Para Spellman et al [19] o campo elétrico intenso nas gotas pode provocar arcos de superfície aleatórios, os quais acabam por consumir uma fina camada de polímero ao redor da gota, alterando sua hidrofobicidade. Em seguida, ainda segundo [19], com a perda da hidrofobicidade ocorre a junção das gotas, formando filamentos ou “filmes” de água que acabam aumentando a intensidade das descargas de superfície.

A formação de arcos de superfície pode levar, pelo efeito joule, ao aparecimento de “bandas secas” na superfície do isolador. Estas bandas secas acabam por proporcionar campos elétricos intensos nessas regiões (regiões de maior resistividade superficial) e, portanto, favorecendo o aumento da intensidade dos arcos de superfície.

Ainda de acordo com Spellman et all [19], os altos campos elétricos nas bandas secas provocam descargas corona que produzem ozônio e óxidos de nitrogênio; que combinando com a água formam ácido nítrico que, juntos com o ozônio atacam a superfície do isolador. Este efeito, provocado por corona e arcos de superfície, leva à ocorrência de erosão (perda de material do polímero) e “tracking” (perda de material combinado com a formação de caminho condutivo).

Uma análise de Van Wick et al [14] , quanto à hidrofobicidade, relata que essa característica dos polímeros tem a ver com a presença de elementos do grupo CH, que produzem uma baixa energia de superfície, o que leva à formação de gotas na superfície, ao invés de filamentos de água. Descargas na superfície levam à formação de grupos de hidroxilas (OH), que possuem alta energia de superfície facilitando a formação de filamentos de água. Quanto à recuperação dessa capacidade de hidrofobicidade na ausência de arcos elétricos relata que, enquanto o silicone tem essa característica, o mesmo não ocorre com o EPDM [14]. De maneira geral, as referências [12-18] relatam essa não recuperação da hidrofobicidade. Outro aspecto importante a ser considerado é que, também em função da estrutura química, o EPDM é menos resistente à alta temperatura que o silicone, tendo carbonilas como produtos de degradação, além das hidroxilas. Os fatores hidrofobicidade e formação de carbonilas e hidroxilas foram acompanhados nos ensaios realizados; também houve alterações de rugosidade e resistividade superficial.

Os ensaios realizados com “névoa limpa” padronizada (ensaios do grupo 3, realizado no CEPEL[9]) confirmaram esses resultados com correntes de fuga da ordem de 17 mA. Os resultados com névoa salina apresentaram valores bem mais elevados de corrente de fuga, justificado pela concentração de sais nas gotas formadas.

Os estudos realizados permitiram detectar um modo de falha predominante nesse modelo de isolador polimérico, tipo EPDM, classe 69kV, que envolve a atuação conjunta de ambientes com algum tipo de poluição associado à presença de umidade, produzindo degradação nas características elétricas do isolador. A degradação é mais acelerada na presença de umidade tipo névoa de baixa intensidade, comum durante a noite ou madrugada quando ocorre orvalho, assim como nas áreas litorâneas, com névoa salina trazida do mar pelas brisas.

3.0 SENSORES

Para o desenvolvimento dos sensores de corrente de fuga, partiu-se da premissa de buscar um sistema de monitoramento que sinalizasse quando fosse atingido um limiar de 10 mA eficaz. Este sistema de aquisição deve ter boa imunidade à interferência eletromagnética, pois estará sujeito a campos elétricos intensos e a interferências tipo corona, provenientes de outros pontos da linha. Deve ainda ser dimensionado para suportar condições ambientais agressivas como altas temperaturas, ultravioleta (UV), chuva, ventos, poluição, etc. Outro ponto importante diz respeito ao seu custo, já que este será agregado ao preço atual do isolador.

De posse destas informações e dos valores considerados críticos de corrente de fuga, foram projetados cinco protótipos de sensores com variações de concepção. Desses sensores, três já estão aptos para trabalhar nos níveis de corrente projetados e pelo menos um não necessita de adaptações da estrutura de suporte do isolador para sua instalação. Por facilidades construtivas, todos os protótipos propostos partem do princípio de serem instalados no lado terra das estruturas e nesse sentido, a maioria deles necessita de alguma adaptação nas ferragens de sustentação para serem instalados.

Quanto ao modo de aquisição dos valores de corrente de fuga, os sensores seguiram dois princípios elétricos de medição de correntes, quais sejam: por indução ou por sistemas tipo “shunt”. No primeiro caso, utiliza-se como “primário” o próprio elemento metálico do isolador, ou uma parte da ferragem da estrutura, e como elemento induzido um enrolamento em núcleo toroidal (vide figuras 1, 2 e 3).

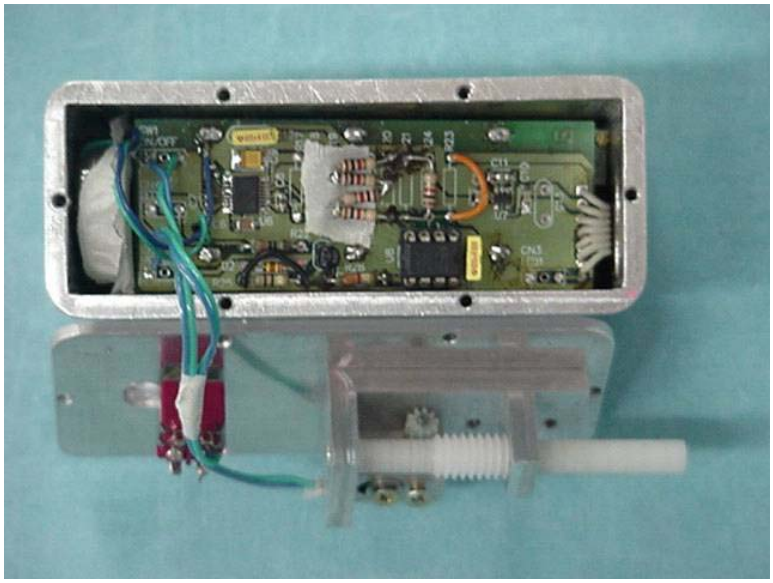

FIGURA 1 – Sensores tipo B [23]

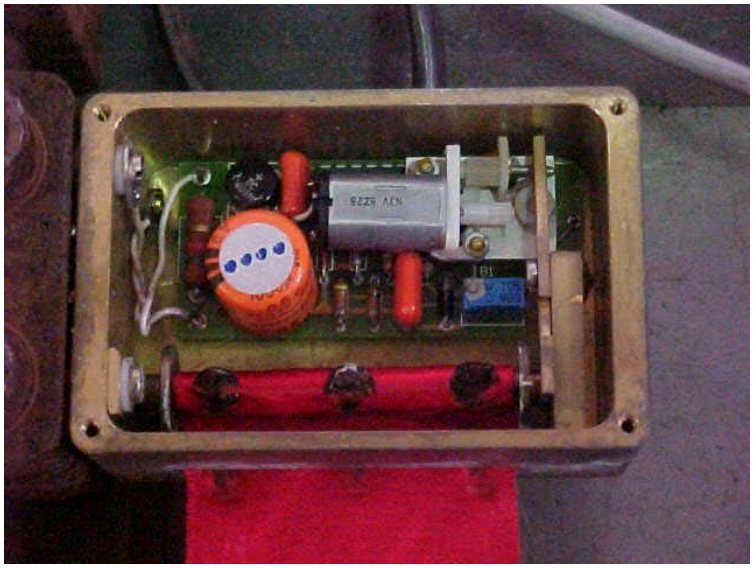

FIGURA 2 -Sensor em Teste

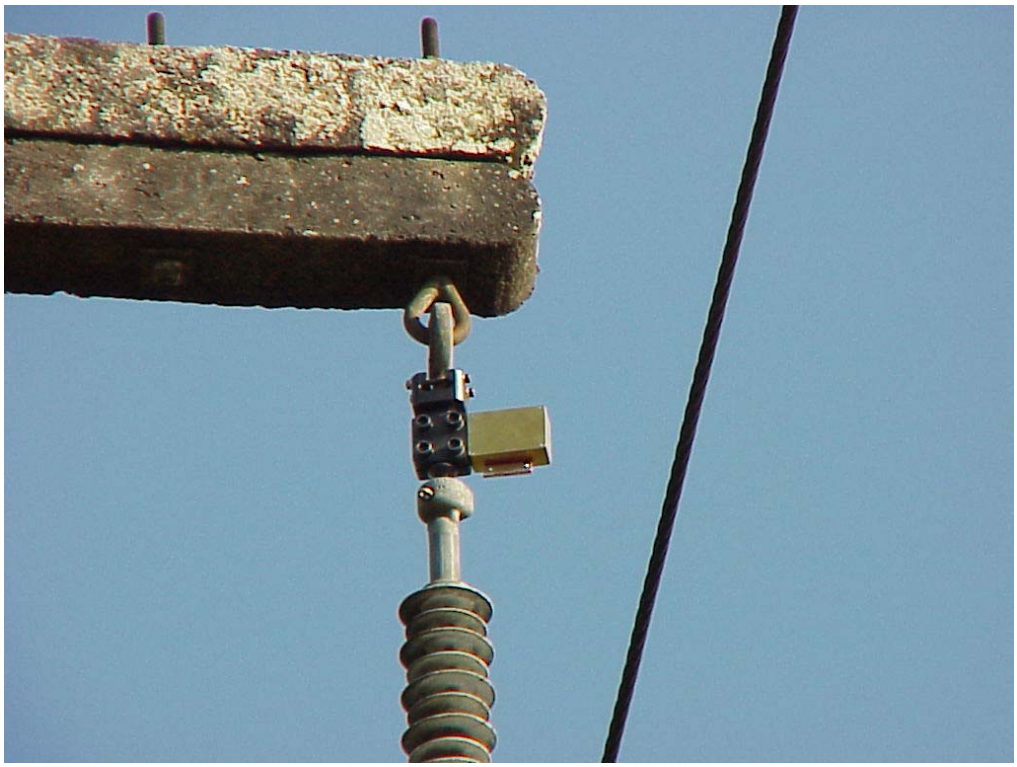

FIGURA 3 – Sensor instalado em campo

O custo estimado, por protótipo, está em torno de R$ 50,00. Para adaptação dos sensores foi necessário projetar adaptações na estrutura de sustentação do isolador (ferragens) e testar sua adequação à sustentação da cadeia.

O passo seguinte foi a instalação dos sensores em condições reais, ou seja, em uma linha de transmissão, ou em alguma linha experimental energizada, o que ocorreu há vinte e quatro meses.

4.0 CONCLUSÕES

Os primeiros sensores foram instalados numa LT de onde haviam sido retirados isoladores para testes. Durante 24 meses o local foi inspecionado para verificar a atuação (nenhum havia atuado). Testes em laboratório conformaram que os sensores atuavam ao serem percorridos por corrente em torno de 10mA, porém foi constatado que algumas peças precisam ser melhoradas.

Os sensores voltaram ao CPqD para serem melhorados. O material do adaptador apresentou sinais muito fortes de oxidação (não estavam zincados).

O próximo passo é instalar uma quantidade maior de sensores em locais onde possa ser monitorado com facilidade. Está prevista a instalação em 20 locais diferentes, no ano de 2007.

OUTRAS CONSIDERAÇÕES

Este projeto contou com contribuições da UNICAMP, CEPEL e PUCCAMP durante o desenvolvimento de parte dos trabalhos. Contou também com a participação da SEDIVER – ELECTROVIDRO, na preparação das mantas elastoméricas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Angelini, J. M. G.; Rossi, J. A . D.; "Relatório Técnico 1 - PD.12.AT.ENS.1285A/RT-01-AA - Estado da Arte em Isoladores Poliméricos ", CPqD, Campinas, 2002.

[2] Angelini, J. M. G.; Rossi, J. A . D.; ; "Relatório Técnico 2 - PD.12.AT.ENS.1285A/RT-02-AA - Estado Atual do Desempenho dos Isoladores Poliméricos em Ambiente Operacional", CPqD, Campinas, 2002.

[3] Angelini, J. M. G.; Rossi, J. A . D.; ; " Relatório Técnico 3 – PD.12.AT.ENS.1285A/RT-03-AA - Ensaios Iniciais em Isoladores Poliméricos e Mantas Elastoméricas, CPqD, Campinas, 2003.

[4] Angelini, J. M. G.; Rossi, J. A . D.; " Relatório Técnico 4 - PD.12.AT.ENS.1285A/RT-04-AA - Ensaios Ensaios em Isoladores Poliméricos e Mantas Elastoméricas – Requisitos de Desempenho para Isoladores Poliméricos", CPqD, Campinas, 2004.

[5] Angelini, J. M. G.; Rossi, J. A . D.; Relatório Técnico 5 - PD.12.AT.ENS.1285A/RT-05-AA - Ensaios Elétricos , CPqD, Campinas, 2004.

[6] Angelini, J. M. G.; Rossi, J. A . D.; "Relatório Técnico PD.12.AT.ENS.1285A/RT-06-AA - Requisitos de Desempenho para Isoladores Poliméricos", CPqD, Campinas, 2004.

[7] Angelini, J. M. G.; Rossi, J. A . D.; "Relatório Técnico PD.12.AT.ENS.1285A/RT-07-AA - Desenvolvimento de Sensores, CPqD, Campinas, 2004.

[8] Brito, F., Relatório Técnico, UNICAMP- FEE, Campinas, 2003.

[9] Mello, D. R., Relatório Técnico, CEPEL, Rio de Janeiro, 2003.

[10] J.M.G.Angelini, J. A . D. Rossi, J. A . Petrachim, N. C. Góis, A . Brito, " Sensor para Verificação de Degradação em Isoladores Poliméricos de Linhas de Transmissão" apresentado no II CITENEL, Salvador, Brasil, 2003.

[11] Angelini, J. M. G, Rossi, J. A . D., Góis, N. C. , Noronha, F., Mei, L. H. I." Performance Development Requirements for Elastomers of Electric Power Network Insulators, apresentado no Comment 2005, AMPT, em maio de 2005, Polonia.

[12] Ramirez et all "Studies on polymeric insulators for transmission systems under natural aging conditions" IEEE Transactions 1998.

[13] Kenneth, T; Lynch, M. "Analysis of Polymeric insulators" IEEE Transactions 1998.

[14] Van Wyk, L; Holtzhausen, J.P.; Vosloo, W.L. "Surface conductivity as indication of the surface condition of non-ceramic insulators" .

[15] Vosloo, W.L.; Holtzhausen, J.; Roediger, A. H. A.; "Leakage current performance of naturally aged non ceramic insulators under a severe marine environment.

[16] Sörqvist, T; Karlsson U.; Vlastós, A. E. "Surface ageing and its impact on the performance of polymeric insulators ", 9th ISH, 1995, pp 3234 – 1 a 3234-4.

[17] Sörqvist, T; Vlastós, A. E. "Hydrophobicity loss and leakage currents of long term AC and DC energized Polymeric Insulators " Nordic Insulation Symposium 96, pp 249 a 256.

[18] Karady, G. G. " Flashover Mechanism of Non Ceramic Insulators" , IEEE-T on Dielectrics and EI, vol6, n5, 1999.

[19] Spellman, C.A.; Young, H. M.et all, "Survey of Polimeric Insulator ageing factors", HVE Symposium, IEE, CP 467, 1999.

[20] Fernando, M.A.R.M.; Gubanski, S. M.; "Leakage Currents on Non Ceramic Insulators and Materials "IEEE-T on Dielectrics and EI, vol6, n5, pp 660-667, 1999.

[21] Goudie, J.J., Owen, M.J., Orbeck, T, " A review of possible degradation mechanisms of silicone elastomers in High Voltage insulatoin applications" IEEE Annual Report Conf on Electrical Insulatoin and Dielectric Phenomena, pp 120-127, 1998.

[22] Angelini, J. M. G.; Noronha, F.; Rossi, J. A, D.; Gois, N. C; Mei, L. H. I., publicado no Journal of Materials Processing Tech., Performance development requirements for elastomers of electric power network insulators, Vol 162-163C, pp 102-108, 2005.

[23] Nallin, F. E. ; Petrachim, J. A.; Angelini, J. M. G.; Rossi, J. A, D.; Gois, N. C; Sensor to verify degradation on transmission lines polymeric insulators, CLAGTEE 2005.