



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

GLT 31  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

### **GRUPO III**

#### **GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO**

##### **DESEMPENHO DE ISOLADOR POLIMÉRICO POR MEDIÇÃO DE TEMPERATURA E CORONA**

**Edson G. da Costa\***

**Tarso Vilela Ferreira**

**Max G. G. Neri**

**Max Norat Cavalcanti**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**

### **RESUMO**

Os isoladores poliméricos apresentam pontos fracos merecedores de investigação mais aprofundada. As regiões onde dois ou mais materiais constituintes de um isolador se encontram são interfaces com potencial risco de falha. O diagnóstico dos defeitos ou falhas em zonas internas ao revestimento polimérico é bastante dificultado. Este trabalho procura avaliar o desempenho de isoladores poliméricos classe 230 kV, utilizados em linhas de transmissão da Chesf, empregando técnicas de monitoramento recentes, como câmeras de infravermelho (termovisão) e ultravioleta (detector de corona). Foram utilizados isoladores novos, envelhecidos em campo, poluídos e lavados e várias configurações de anéis equalizadores.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Isoladores poliméricos, termovisão, infravermelho, ultravioleta, anéis equalizadores.

### **1.0 - INTRODUÇÃO**

As falhas em isolamentos elétricos são uma das principais causas das interrupções no fornecimento de energia elétrica aos diversos consumidores supridos por um sistema de potência. Para assegurar a continuidade e um bom funcionamento da transmissão e distribuição de energia elétrica é importante a monitoração dos equipamentos que compõem o sistema e antecipar as possíveis falhas. No caso de linhas de transmissão, seu desempenho está diretamente relacionado com o desempenho dos isoladores.

Os isoladores poliméricos vêm sendo usados em sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica desde o decênio de 1980, quando surgiu a primeira versão comercial de isoladores poliméricos para linha de transmissão (1). Nos últimos trinta anos, com o advento dos isoladores poliméricos de linha, empresas operantes nos sistemas elétricos têm realizado trocas sistemáticas de isoladores cerâmicos por isoladores poliméricos. Esta troca é motivada pelas vantagens que os isoladores poliméricos apresentam frente aos isoladores cerâmicos, como: resistência ao vandalismo e à poluição, menor peso, facilidade de transporte, instalação e estoque, dentre outras.

Contudo, os isoladores poliméricos também apresentam desvantagens, pois embora a sua troca seja bastante facilitada, a sua manutenção apresenta dificuldades na identificação de indícios de falhas internas, somente sendo possível detectar os isoladores defeituosos em estado avançado de deterioração ou após uma falta. As regiões onde dois ou mais materiais constituintes de um isolador se encontram, conhecidas como Zonas de Interação (2), conforme ilustrado na Figura 1, são interfaces com potencial de alto risco de falha. Como a maioria das zonas de interação é interna ao revestimento polimérico do isolador, o diagnóstico dos defeitos ou falhas que podem surgir nestas zonas é bastante dificultado. Estas ocorrências vêm sendo relatadas por engenheiros das empresas do setor elétrico. Outra dificuldade é a sua identificação durante uma inspeção, principalmente aquelas feitas do solo.

(\*) UFCG/DEE - Avenida Aprígio Veloso, 882. Campina Grande - PB, Brasil.  
CEP: 58.109-900. Tel: (+55 83) 88375172 - e-mail: edson@dee.ufcg.edu.br

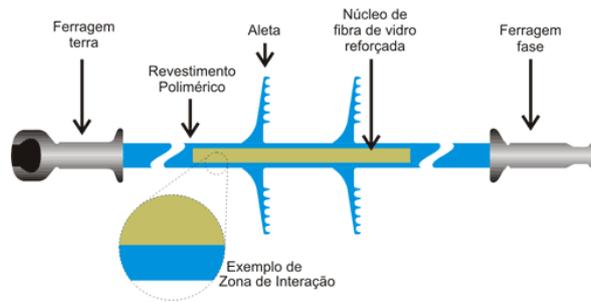


FIGURA 1 – Desenho esquemático de isolador polimérico e exemplo de área de interação.

A Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf) tem mais de 30.000 isoladores poliméricos instalados em seu sistema. A Chesf como outras empresas de energia elétrica têm relatado dificuldades em monitorar a degradação dos isoladores poliméricos. A falta de uma metodologia eficiente no monitoramento dos isoladores impede a detecção de defeitos em tempo hábil. Vários defeitos foram evidenciados apenas quando da ocorrência de descargas superficiais (*flashover*) ou rompimento do isolador e conseqüente queda do condutor.

Muitas das técnicas desenvolvidas para avaliar o estado de degradação dos isoladores utilizam ensaios em laboratório, com amostras de isoladores retiradas de operação. Outras técnicas de inspeção fazem uso de análises da microestrutura realizadas em pequenas partes da superfície do isolador para diagnosticar as suas condições, ou mesmo a medição de descargas parciais em campo (3). Recentemente, tecnologias como a detecção de corona pela radiação ultravioleta e de calor por infravermelho também estão sendo utilizadas na identificação de isoladores defeituosos (4). Mesmo com estas técnicas já em uso ou implementadas, ainda existe a necessidade de desenvolver métodos mais eficazes para detectar isoladores poliméricos defeituosos ou na iminência de falha. Como até o presente momento não existe uma técnica consolidada, uma das linhas de pesquisa é buscar conhecer o mecanismo de degradação dos isoladores poliméricos.

Este trabalho busca cruzar os resultados de inspeções termográficas e detecção de corona. Os padrões térmicos foram obtidos com uma câmera de infravermelho (termovisor *Flir P-65®*) e a ocorrência de corona registrada com uma câmera de ultravioleta (detector de corona *DayCor II®*). Os resultados indicam o baixo desempenho de alguns modelos de anéis usados em campo atualmente, além de ressaltar as diferenças de desempenho entre montagens corretas e equivocadas dos anéis.

### 1.1 Termografia

A inspeção termográfica (termografia) é uma técnica não destrutiva que utiliza os raios infravermelhos para medir temperaturas ou observar padrões diferenciais de distribuição de temperatura, com o objetivo de propiciar informações relativas à condição operacional de um componente, equipamento ou processo. A termografia se apresenta como uma técnica de inspeção extremamente útil, uma vez que permite realizar medições sem contato físico com a instalação, verificar equipamentos em pleno funcionamento e inspecionar grandes superfícies em pouco tempo. Um aspecto importante na realização de inspeções termovisivas é a emissividade do material. Um ajuste de emissividade equivocado no termovisor pode levar a conclusões equivocadas, prejudicando a tomada de decisão.

### 1.2 Detecção de ultravioleta

As descargas de corona ocorrem em torno de um eletrodo energizado, quando o campo elétrico criado pelo mesmo ultrapassa a energia de ionização do meio isolante (no caso, o ar). As descargas de corona podem provocar a degradação do material. Elas geram ondas de ultra-som, radiação ultravioleta, ozônio, oxigênio, erosão mecânica da superfície, ondas eletromagnéticas na faixa de radio recepção, entre outros fenômenos (4). Existem diversas maneiras de detectar a descarga de corona através de suas diversas manifestações, supracitadas. É possível identificar, com exatidão e sem uso de equipamentos detectores, o local onde ocorrem descargas de corona pela emissão de luz e pelo seu ruído, entretanto, tal procedimento restringe-se a ambientes silenciosos e com pouca luminosidade, e a descargas relativamente intensas. Para detectar descargas de pequena intensidade é necessário utilizar um equipamento especial, o detector de ultravioleta (detector de corona).

## 2.0 - METODOLOGIA

Um isolador polimérico, na maioria das vezes, não falha devido apenas aos esforços elétricos a que é submetido, como tensão alternada e eventualmente, surtos de manobra ou atmosféricos. Há, freqüentemente, participação de características do próprio isolador que vêm a facilitar a ocorrência da descarga, como por exemplo, defeitos internos ou externos, poluição depositada sobre o seu corpo, etc. Os defeitos que um isolador apresenta durante sua vida útil são influenciados por fatores dependentes das características químico-físicas do material (força da ligação química, o peso molecular, resistividade térmica), do tipo do enchimento, condições ambientais (contaminação, névoa, chuva e luz ultravioleta) e tensão aplicada e conseqüente campo elétrico a que se submete o material. Este último fator, em especial, pode estimular o aumento de temperatura e ressecamento do material polimérico junto ao terminal energizado do isolador, caso não sejam utilizados eletrodos de equalização adequados. Neste trabalho, examinou-se o desempenho de algumas configurações de isoladores poliméricos, variando-se o grau de poluição e a disposição dos eletrodos equalizadores. Os parâmetros de avaliação foram os gradientes térmicos (detectados com o termovisor *Flir P-65®*) e a intensidade de descargas corona (detectados com o *DayCor II®*) registradas em cada arranjo.

### 2.1 Amostras utilizadas

As amostras empregadas nos ensaios são isoladores poliméricos da classe de 230 kV pesando aproximadamente 8,8 kg. Na Figura 2 é exibida uma fotografia de um dos isoladores utilizados nos ensaios.

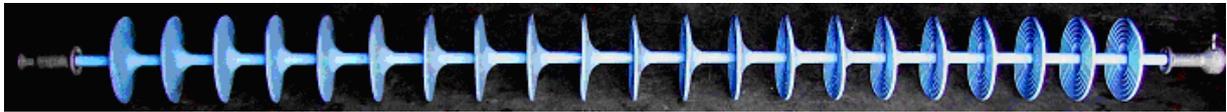


FIGURA 2 - Fotografia de uma amostra utilizada.

Os isoladores utilizados são compostos por núcleo de fibra de vidro reforçada com resinas, o qual é revestido por uma fina camada de material isolante e por aletas. A camada isolante é composta de borracha a base de Silicone HTV. O isolador possui 21 aletas e pode suportar uma carga mecânica de 222 kN. Seus terminais são do tipo concha/bola. Suas características dimensionais podem ser vistas na Figura 3.

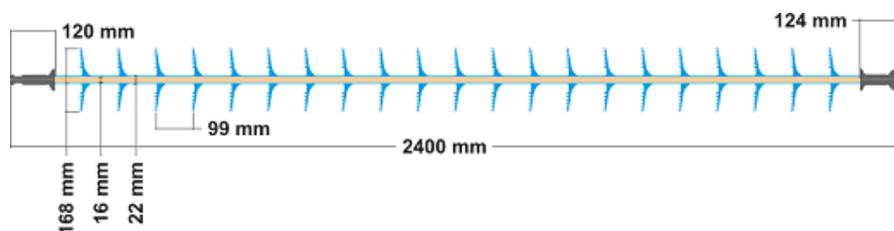


FIGURA 3 – Desenho esquemático de um isolador com características dimensionais.

Vários isoladores e configurações foram ensaiadas, contudo, neste trabalho serão apresentados resultados de dois isoladores, em três situações de poluição diferentes, como se segue:

- a) IN: Isolador novo;
- b) ICP: Isolador envelhecido por quatro anos no campo, com poluição.
- c) ICL: O mesmo isolador do item (b), após remoção da poluição e lavagem.

O isolador utilizado nas situações ICP operou durante quatro anos numa região de brejo, com umidade alta, o que proporcionou um significativo acúmulo de poluição orgânica e limo. Posteriormente a poluição orgânica e o limo foram retirados para a realização da situações ICL.

### 2.2 Configurações de anéis equalizadores utilizados

Para avaliar o comportamento de cada situações de isoladores frente a diferentes distribuições de campo elétrico, foram utilizadas quatro configurações diferentes de anéis equalizadores, conforme apresentado na Tabela 1.

TABELA 1 – Configurações de eletrodos de equalização empregados

Anel Empregado	Código	Descrição de aplicação	Esquema
Nenhum	O	Isolador energizado sem anel de equalização	
Anel de 158 mm	B	Anel instalado no isolador conforme recomendações do fabricante (13)	
Anel de 158 mm	C	Anel instalado no isolador de maneira incorreta	
Anel de 444 mm	D	Anel utilizado em cadeias de isoladores cerâmicos, classe 230 kV, instalado corretamente.	

### 3.0 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para cada uma das três situações (IN, ICP e ICL), foram realizadas inspeções termográficas e de corona, utilizando-se as quatro configurações diferentes de anéis de equalização. Assim, no total, foram analisados 12 casos diferentes, variando-se isoladores, anéis e condições de poluição.

Como os dados exportados pela câmara de corona estão na forma de vídeo, serão apresentados a seguir quadros (imagens) extraídos do vídeo. Os valores apresentados nas imagens são indicação instantânea das descargas corona, e não representam o valor médio ocorrido durante o experimento. O valor médio usado como parâmetro de avaliação é calculado através de uma média simples, que leva em consideração o valor de descargas medido em cada quadro do vídeo. Deste valor, ainda se subtraiu o valor de descargas corona correspondentes a ruído de fundo. A análise térmica foi feita a partir da diferença entre as temperaturas do ponto mais quente e a temperatura dominante no isolador (temperatura ambiente).

#### 3.1 Resultados do isolador novo (IN)

O isolador novo foi ensaiado tendo seus padrões térmicos e de descargas corona registrados (pontos) e seus valores estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 – Resultados do isolador novo (IN)

Cód	Termovisão	Deteção de Corona	Observações
Tipo IN-O			Como esperado, o isolador novo, mesmo sem anel de equalização, apresentou uma temperatura superficial praticamente uniforme. Todavia, a ausência de eletrodos equalizadores permite a formação significativa de corona junto à ferragem fase do isolador. Nesta situação, a média de descargas foi 14.460 pontos/min.
Tipo IN-B			Nesta configuração há uma pequena diferença de temperatura entre os pontos observados (0,3°C), mas tal diferença não é significativa. O anel de equalização, mesmo pequeno, diminui consideravelmente a ocorrência de descargas, baixando a média para 1.300 pontos/min.

Tipo IN-C			<p>O arranjo apresenta uma pequena diferença de temperatura pouco significativa entre os pontos observados (0,2°C). A média de descargas foi de 1.723 por minuto. A diferença em relação ao caso IN-B foi de 423 pontos/min, sem grande significância.</p>
Tipo IN-D			<p>A montagem IN-C praticamente não mostrou gradientes de temperatura (0,1°C). A configuração com um anel de diâmetro 444 mm apresentou 2.135 pontos/min, 835 descargas por minuto a mais que o caso IN-B.</p>

### 3.2 Isolador envelhecido, com poluição (ICP)

O isolador envelhecido e com presença de poluição foi ensaiado tendo seus padrões térmicos e de descargas corona registrados. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 – Isolador envelhecido, com poluição (ICP)

Cód	Termovisão	Detecção de Corona	Observações
Tipo ICP-O			<p>A presença de poluição no isolador sem eletrodo proporcionou um gradiente de temperatura de 4,6°C e uma média de descargas de 8.435 pontos/min. O nível de descargas foi, ao contrário do esperado, o menor que nos casos ICP que usam anel de 158 mm.</p>
Tipo ICP-B			<p>O uso do anel equalizador de 158 mm proporcionou um menor gradiente de temperatura (4,3°C) que ICP-O, mas o valor absoluto do ponto mais quente ainda é preocupante. O nível de descarga elevou-se para 11.053 pontos/min.</p>
Tipo ICP-C			<p>A aplicação incorreta do anel proporcionou ainda mais a elevação da diferença de temperatura, 7,8°C. Contudo, o número de descargas não se diferenciou muito da aplicação correta (ICP-B), com 12.796 pontos/min.</p>
Tipo ICP-D			<p>O uso do anel de 444 mm mostrou os menores índices de aquecimento (1,6°C) e descargas (2.161 pontos/min).</p>

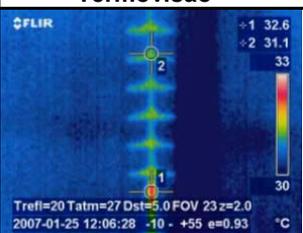
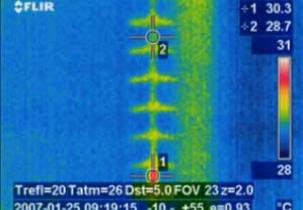
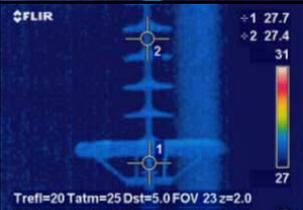
Com a presença de poluição, os gradientes de temperatura elevaram-se significativamente, quando uma equalização adequada não foi utilizada. Tanto o uso do anel de 158 mm quanto a ausência de anel de equalização desencadearam gradientes de temperatura altos, que em situações de operação, encorajariam a substituição do equipamento. O anel de 444 mm, mesmo com a presença da poluição, manteve os menores padrões térmicos e de corona do isolador ICP.

### 3.3 Isolador envelhecido, após remoção de poluição e lavagem (ICL)

O isolador envelhecido, após ensaiado com a poluição adquirida naturalmente durante seus quatro anos de operação (ICP), teve os resíduos removidos e foi lavado, se tornando ICL. Além das diferenças de padrões térmicos e de corona apresentados a seguir, observou-se a recuperação de parte da hidrofobicidade do polímero.

Após a limpeza, o isolador lavado foi ensaiado tendo seus padrões térmicos e de descargas corona registrados. Tais resultados apresentam-se na Tabela 4.

TABELA 4 – Isolador envelhecido, após remoção de poluição e lavagem (ICL)

Cód	Termovisão	Deteção de Corona	Observações
Tipo ICL-O			A ausência de eletrodos equalizadores no isolador lavado proporcionou um gradiente de temperatura de 1,5°C, bem aquém do que foi registrado com o isolador ainda sujo. Além disso, as descargas de corona tiveram uma média de 12.583 pontos/min.
Tipo ICL-B			O uso do anel de 158 mm de diâmetro de forma correta no isolador lavado proporcionou um gradiente de 1,6°C, bem próximo do valor registrado no caso onde não há anel algum instalado (ICL-O). O corona, todavia, foi bastante reduzido, tendo uma média de 3.749 pontos/min.
Tipo ICL-C			O uso inadequado do anel de corona menor proporcionou uma diferença de temperatura de 2,1°C, o maior de todos os arranjos ICL. Houve ainda uma média de descargas de 5.085 pontos/min.
Tipo ICL-D			O uso do anel de equalização de 444 mm de diâmetro proporcionou a menor diferença de temperatura dos arranjos ICL: 0,3°C. O nível de descargas também foi o menor: 1.745 pontos/min.

Após a remoção da poluição natural, adquirida numa região de brejo, o isolador teve seus gradientes de temperatura razoavelmente diminuídos. Isso demonstra que a lavagem de isoladores poliméricos até pode ser feita com menos frequência que a de isoladores cerâmicos, mas não deve ser abolida, pois tem influência no comportamento eletrotérmico do equipamento e, conseqüentemente, na vida útil do isolador.

Os casos ICL-B e ICL-C apresentaram resultados térmicos parecidos entre si, e também semelhantes ao caso sem anel de equalização (ICL-O). Por outro lado, o arranjo que utiliza o anel de equalização de 444 mm de diâmetro (ICL-D) demonstrou um comportamento similar ao que acontece quando é aplicado no isolador novo (IN-D).

### 4.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho analisou o comportamento de isoladores poliméricos utilizando padrões térmicos e de descargas corona. Além dos objetivos específicos do trabalho, evidenciaram-se os efeitos do emprego de anéis de equalização subdimensionados ou instalados incorretamente.

Os isoladores novos, com todos os tipos de anéis de equalização, apresentaram padrões térmicos razoáveis. Todavia, os resultados dos ensaios com isoladores envelhecidos demonstram padrões térmicos diferentes e comprometedores com o passar dos anos, agravando-se ainda mais se houver poluição.

A aplicação de anéis de equalização bem dimensionados é fator decisivo na vida útil do isolador, alterando o campo elétrico nas zonas de interação próximas à ferragem energizada, e, conseqüentemente, as reduzindo as temperaturas e também a incidência de poluição.

Contudo, é importante relatar que, quando instalado numa torre, o isolador estará exposto a correntes de ar muito mais intensas que no ambiente fechado de laboratório, além de sofrer incidência de radiação solar. Assim as temperaturas superficiais serão modificadas, e os padrões térmicos poderão apresentar-se da forma diferente da qual se apresentam em laboratório. Todavia, estes efeitos podem ser minimizados realizando-se inspeções noturnas.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) History and bibliography of polymeric insulators for outdoor applications - HALL, J.F.; IEEE Transactions on Power Delivery. Volume: 8, Issue: 1, Jan. 1993. Pages: 376 – 385.

(2) Proposal of a Multi-core Model for Polymer Nanocomposite Dielectrics – TANAKA, T., KOZAKO, M., FUSE, N. AND OHKI, Y., in IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 12, No. 4; August 2005

(3) Advanced PD Inference in On-Field Measurements - CAVALLINI, A.; CONTI, M.; CONTIN, A. and MONTANARI, G. C. Part II: Identification of Defects in Solid Insulation Systems. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol. 10, No. 3; June 2003. pp: 528-539.

(4) Avaliação de Técnicas de Monitoramento de Isoladores Poliméricos - NERI, M. G. G.; Dissertação de Mestrado. Copele - UFCG, 2005.

(5) Dielectrics - Corona Measurement and Interpretation. vol. I - BARTNIKAS, R.; McMAHON, E. J.; Engineering, Philadelphia: ASTM Special Technical Publication STP 669, 1979.

(6) CESI research activities in the field of corona visualization - De NIGRIS. Third UV Inspection User's Group Meeting. Orlando, Florida, USA. February 11-13, 2004.

(7) LAPP, "RODURFLEX ® Composite Insulator System Catalog", Wunsiedel, Germany.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Edson Guedes da Costa

Nascido em Ribeirão, PE, em 31 de janeiro de 1954.

Doutorado (1999), Mestrado (1981) e Graduação (1978) em Engenharia Elétrica: UFPB.

Instituição: Universidade Federal de Campina Grande, desde 2002.

Professor Associado I

Atua em isolamentos elétricos, pára-raios de óxido de zinco, descargas parciais e campos eletromagnéticos.

Tarso Vilela Ferreira

Nascido em Aracaju, SE, em 03 de julho de 1980.

Graduação (2005) em Engenharia Elétrica: Universidade Federal de Campina Grande

Instituição: Universidade Federal de Campina Grande, desde 2003, como aluno.

Engenheiro Pesquisador Júnior e aluno de Pós-graduação (mestrado).

Atua em isoladores poliméricos, pára-raios, descargas parciais, cálculos de campo e aquisição de dados.

Max Gleison Gonçalves Neri

Nascido na Prata, PB, em 28 de setembro de 1977.

Mestrado (2005): UFCG e Graduação (2004) em Engenharia Elétrica: UFCG

Instituição: Universidade Federal de Campina Grande

Engenheiro Pesquisador Sênior e aluno de Pós-graduação (doutorado). Professor Substituto, desde 2005.

Atua em isoladores poliméricos, pára-raios, descargas parciais, cálculos de campo e aquisição de dados.

Max Norat Cavalcanti

Nascido em João Pessoa, PB, em 31 de maio de 1956

Mestrado (1989) e Graduação (1980) em Engenharia Elétrica: UFPB

Instituição: Companhia Hidroelétrica do São Francisco – Chesf, desde 1983

Atua na manutenção de Linhas de Transmissão e de Equipamentos de SE

## 7.0 - COPYRIGHTS

*DayCor Camera*® e *DayCor II*® são marcas registradas de Ofil Ltd.  
*Flir P-65*® é marca registrada de Flir Systems, Inc.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de externar gratidão à **Eletróbrás**, pelo apoio financeiro na pesquisa com Isolamentos Elétricos; ao **CNPq**, pelo apoio aos pós-graduandos e à **Chesf**, pela disponibilidade dos isoladores utilizados na pesquisa.