



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

Versão 1.0  
XXX.YY  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

**GRUPO -VIII**

**GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE**

**AValiação de Equipamentos de Subestações Contaminados com Limo**

**Darcy R. de Mello(\*)**  
CEPEL

**Joceli Maria G. Angelini**  
CPQD

**Francisco R. R. França**  
ELETRONORTE

**Rosildo Paiva**  
UPPA

**Ana Rosa C. L. Duarte**  
UFPA

**Eliane Brabo de Sousa**  
UFPA

**Ivan Lobato Jr**  
UFPA

**RESUMO**

Este artigo apresenta os resultados das pesquisas realizadas com o objetivo de reduzir ou eliminar a contaminação dos isoladores de vidro, porcelana ou poliméricos assim como de outros equipamentos das subestações da ELETRONORTE instaladas na região amazônica, por agentes biológicos denominados limo.

Os estudos abrangeram a identificação dos agentes biológicos e de seu processo de fixação e crescimento, a avaliação dielétrica de equipamentos com cobertura biológica, a identificação de produtos para a eliminação do agente biológico ou com capacidade de reduzir sua velocidade de crescimento e a avaliação dielétrica desses produtos.

**PALAVRAS-CHAVE**

Contaminação biológica, Isolador, Subestação, Avaliação dielétrica

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A contaminação de isoladores de vidro, porcelana ou poliméricos, assim como de outros equipamentos das subestações da ELETRONORTE instaladas na região amazônica, por agentes biológicos denominados de limo (ver Figura 1), requerem manutenção e limpeza diária, usualmente em linha viva, colocando pessoas em risco e aumentando a possibilidade de falha devido à tarefa de remoção desta cobertura biológica (limo). Além disso, o deslocamento dos equipamentos necessários para fazer a lavagem dos equipamentos da subestação com água "desmineralizada" sob pressão, pelas estradas da região amazônica, nem sempre é possível, como pode ser visto na Figura 2, fazendo com que o custo da limpeza de uma subestação tornasse essa operação proibitiva.

O propósito deste artigo é apresentar os resultados laboratoriais e de campo devido aos estudos para encontrar soluções para reduzir os problemas causados pela contaminação biológica de equipamentos das subestações da ELETRONORTE, instaladas na região amazônica, baseados em práticas sustentáveis para preservar o ambiente.

O primeiro passo foi avaliar se a cobertura biológica causava redução da suportabilidade dielétrica, de modo a verificar se a remoção do limo tinha somente finalidade estética ou se era necessário pois o limo provocaria aumento da corrente de fuga, devido à umidade acumulada no seu interior, causando aumento das perdas e degradação dos equipamentos por ele cobertos.

Constatado aumento da corrente de fuga em isoladores, o segundo passo foi identificar o tipo de agente biológico responsável pela contaminação de isoladores e equipamentos elétricos de subestações instaladas no Estado do

(\*) Endereço Av. Olinda s/nº – Adrianópolis – CEP 26053-121 - Nova Iguaçu, RJ, – Brasil  
Tel: (+55 21) 2666-6312 – Fax: (+55 21) 2667-3079 – Email: darcy@cepel.br

Pará, saber como ocorre o crescimento dos organismos que formam o limo e como estes podem ser evitados, com o objetivo de propor medidas preventivas e corretivas, eliminando essas inconveniências ou, pelo menos, aumentando os prazos de lavagem, minimizando procedimentos operacionais em áreas de risco utilizando soluções com impactos ambientais positivos, dentro dos padrões de preservação do ecossistema.



FIGURA 1 – Equipamento contaminados com limo em subestações da ELETRONORTE



FIGURA 2 – Situação de estradas na região amazônica

O estudo foi desenvolvido através de atividades em campo e em laboratórios, com reproduções paralelas dos crescimentos vegetativos dos organismos que formam o limo, em câmaras de laboratórios e em corpos-de-prova de equipamentos, com acompanhamento por observações visuais e avaliação dos níveis de contaminação, sendo avaliados os sinergismos e antagonismos entre os vários fatores além da avaliação das soluções alternativas de controle destas contaminações com ensaios em campo (uso da subestação de Rurópolis, próxima à floresta amazônica, e Utinga como subestações piloto) e em laboratórios (UFPA, CPqD e CEPEL), seguindo a seguinte seqüência:

- retirada de amostras de limo em subestações da ELETRONORTE;
- identificação dos tipos de depósitos de limo e avaliação dos diferentes modos, formas e velocidades de crescimento em laboratório;
- verificação como a forma desses depósitos de limo afetam os diferentes substratos, superficialmente, e como afetam as propriedades dielétricas;
- reprodução do crescimento vegetativo, em amostras de diversas superfícies;
- verificação da adequabilidade das soluções propostas em laboratório (ensaios dielétricos e de envelhecimento acelerado);
- aplicação no campo, utilizando a SE de Ananindeua, das soluções que tiveram melhor desempenho em laboratório.

## 2.0 - AVALIAÇÃO DIELETRICA DE ISOLADORES COBERTOS COM LIMO

Considerando diversos artigos [1, 2, 3, 4] sobre a influência do limo na propriedade dielétrica de isoladores, foi realizada a medição da corrente de fuga, com aplicação de névoa limpa, em isoladores de disco retirados de subestações, considerando o isolador totalmente coberto com limo e após sua limpeza parcial até atingir a total remoção da cobertura poluente. Os resultados obtidos podem ser vistos na Figura 3 onde se pode verificar que se pode quantificar a quantidade de limo através da medição da corrente de fuga. O mesmo ensaio foi repetido em

um isolador pedestal, que foi dividido em 4 seções e os resultados obtidos após a remoção do limo de cada seção podem ser vistos na Figura 4, sendo que foram obtidas conclusões semelhantes às encontradas no ensaio com os isoladores de disco.

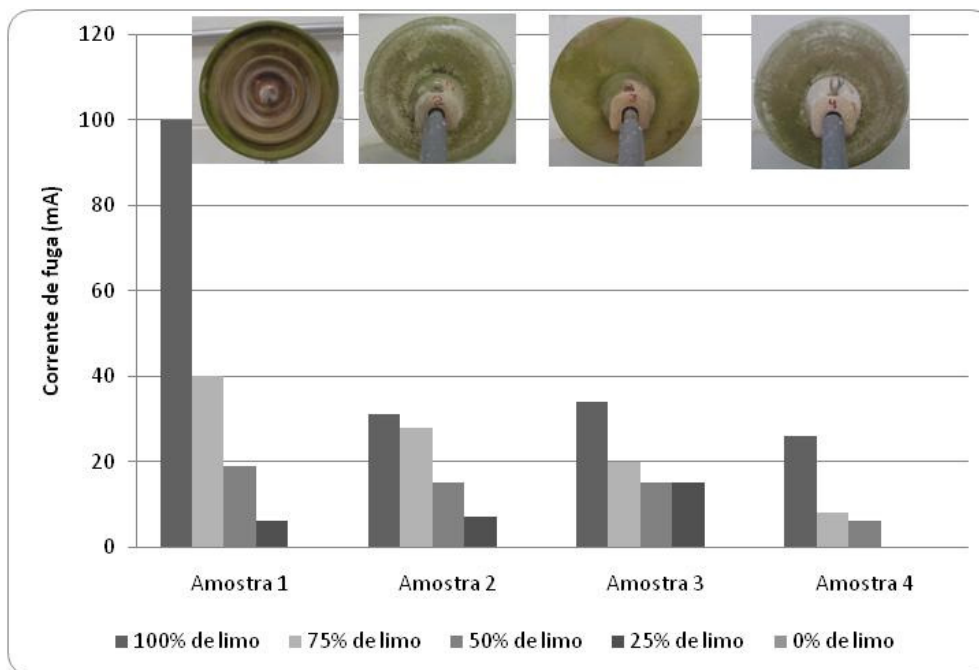


FIGURA 3 – Medição da corrente de fuga em isoladores de disco com a aplicação de 30 kV com névoa limpa

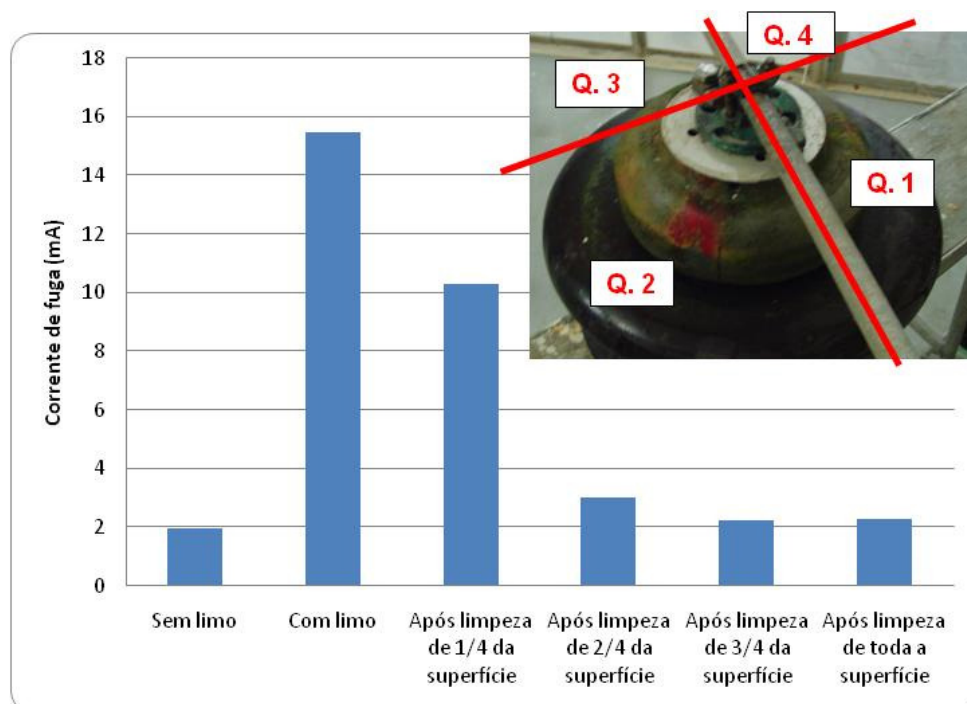


FIGURA 4 - Medição da corrente de fuga em isolador pedestal com a aplicação de 60 kV com névoa limpa

Para complementar os ensaios realizados, decidiu-se avaliar o desempenho de um isolador com limo seco e morto. Os resultados obtidos (ver Figura 5) indicam que um isolador com limo seco possui o mesmo desempenho que um isolador sem limo ou seja o conteúdo celular do limo vivo é o responsável pelos valores elevados de corrente de fuga medidos.

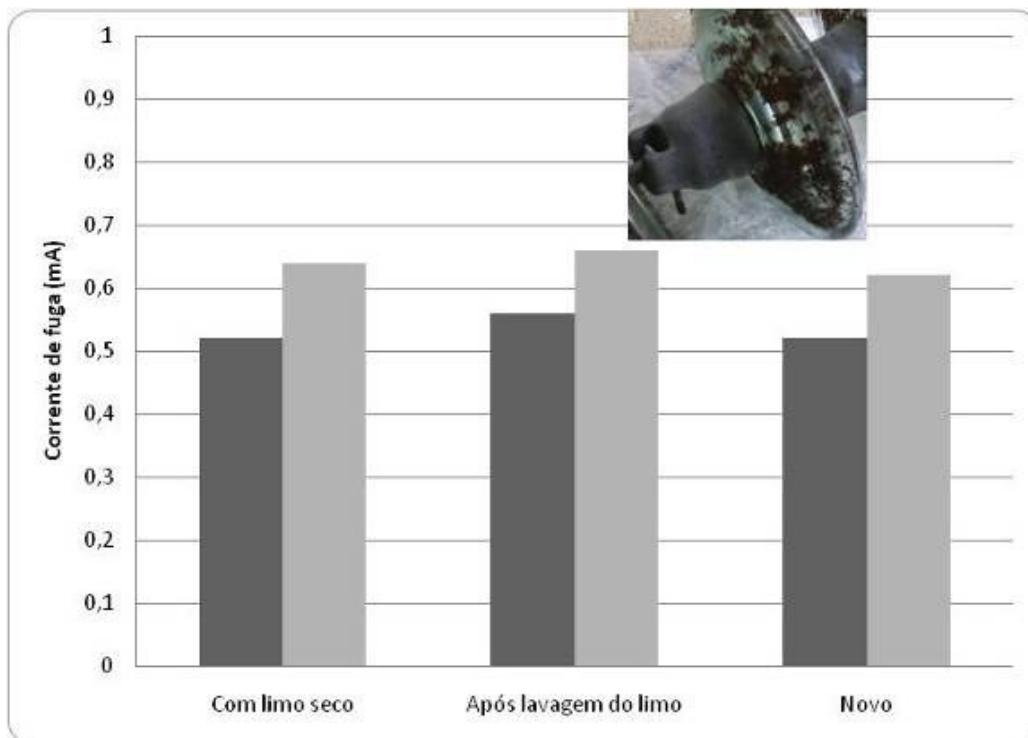


FIGURA 5 - Medição da corrente de fuga em isolador de disco, com limo seco, com a aplicação de 30 kV

### 3.0 - IDENTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DO LIMO

Foram realizadas as análises do limo coletado na superfície dos equipamentos e britas das subestações de Guamá, Utinga e Rurópolis (Estado do Pará), nos meses de maio e outubro de 2006. O limo foi retirado da superfície dos equipamentos através de escovações leves utilizando escova dental estéril e posteriormente fixado com formol neutro a 4%. A retirada do limo das britas ocorreu por meio de tratamento laboratorial (ver Figura 6).

Por meio de observações utilizando o microscópio óptico binocular, foi possível identificar:

- Cyanophyta (cyanophiceas micro algae), Chlorophyta (clorophiceas micro algae) e fungos (presente na forma de esporos e hifas) no material coletado na superfície dos equipamentos instalados nas subestações;
- dez espécies de algas, como *Trebouxia* sp. (clorophicea), *Gloeocapsa* sp. e *Scytonema* sp. (cyanophicea), ver Figura 7, no material coletado na superfície das britas em maio (mês chuvoso);
- seis espécies de cyanophicea algae, como *Hapalosiphon* sp., *Scytonema* sp. e *Tolypothrix* sp coletados na superfície das britas em outubro (mês seco).

Então, a Cyanophiceas algae com fungos pode ser considerada a principal componente do limo para este estudo.

### 4.0 - AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE CONTROLE DO LIMO

Inicialmente, uma pesquisa foi realizada na Internet sobre os produtos que são utilizados como cobertura para controlar o limo. Treze soluções foram encontradas mas somente nove delas foram ensaiadas pois as demais apresentavam problemas quanto à agressão ao meio ambiente.

Os produtos selecionados, bem como combinações entre eles, foram aplicados sobre isoladores pedestal, semelhantes aos empregados nas subestações, e submetidos ao ensaio de frequência industrial sob névoa limpa. Os resultados obtidos na medição da corrente de fuga podem ser vistos na Tabela 1. Os resultados obtidos permitiram a redução na quantidade de produtos e suas combinações que poderiam ser utilizados.

Em seguida, os produtos e suas combinações selecionados foram aplicados em isoladores roldana e submetidos a ensaios de envelhecimento acelerado (6 meses imerso em água, 6 meses em estufa a 120 °C e 6 meses em "weather-ometer") nos laboratórios do CPqD. Finalizado o envelhecimento, os isoladores foram submetidos ao ensaio de frequência industrial sob névoa limpa. Os resultados obtidos podem ser vistos na

Tabela 2.



FIGURA 6 - Tratamento laboratorial das britas coletadas nas subestações de Guamá, Utinga e Rurópolis: (A) hidratação do limo presente na brita; (B) retirada do limo por raspagem com escova dental estéril; (C) retirada do limo com auxílio de bisturis; (D) lavagem do limo; (E) fixação com formol neutro a 4%; (F) observação em microscópio de luz binocular

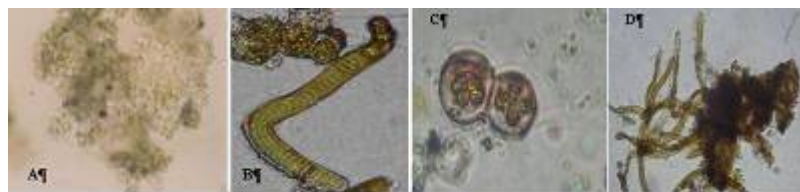


FIGURA 7 - Algas Cyanophiceas obtidas das britas coletadas nas subestações de Guamá, Utinga e Rurópolis: (A) *Trebouxia* sp.; (B) *Scytonema* sp.; (C) *Gloeocapsa* sp.; (D) *Tolypothrix* sp

Tabela 1 – Resultado da avaliação dielétrica dos isoladores pedestal com 60 kV

Produto ensaiado	Condição de ensaio	Corrente de fuga máxima mA	Resultado do ensaio
Sem produto	A seco	2,88	Suportou
	Com névoa limpa	5,25	Suportou
Com calda bordaleza	Com névoa limpa	-	Não suportou
Calda bordaleza concentrada + Sylgard	Com névoa limpa	31,32	Suportou
	Durante secagem	2,57	Suportou
Sylgard puro	Com névoa limpa	2,30	Suportou
	Durante secagem	1,90	Suportou
Etileno glicol puro	Com névoa limpa	7,45	Suportou
	Durante secagem	3,04	Suportou
Etileno glicol + Sylgard	Com névoa limpa	36,92	Suportou
	Durante secagem	11,51	Suportou
Tinta epóxi	Com névoa limpa	14,22	Suportou
	Durante secagem	8,12	Suportou
Sylgard + sulfato de ferro	Com névoa limpa	-	Não suportou
Tinta epóxi + sulfato de ferro	Com névoa limpa	16,08	Suportou
	Durante secagem	6,43	Suportou
Sylgard + tinta epóxi	Com névoa limpa	18,96	Suportou



	Durante secagem	3,40	Suportou
--	-----------------	------	----------

Simultaneamente ao envelhecimento de laboratório, amostras foram colocadas no campo para envelhecimento, como pode ser visto na Figura 8 (a). Após 12 meses, as amostras foram retiradas (ver Figura 8(b)) e submetidas ao ensaio de frequência industrial sob névoa limpa. Os resultados podem ser vistos na Figura 9. Pode-se observar na Figura 8 (b) que somente os isoladores de disco com tinta epóxi ou tinta de poliuretano não apresentaram crescimento de limo na sua superfície após 12 meses de instalação. Como o isolador com tinta epóxi apresentou uma alteração de cor (amarelo claro), indicando início de degradação, o revestimento com tinta de poliuretano foi considerado como o mais adequado.

Tabela 2 – Resultado da avaliação dielétrica dos isoladores roldana com 8 kV

Produto ensaiado	Condição de ensaio	Corrente de fuga máxima mA	Resultado do ensaio
Novo, sem produto	Com névoa limpa	10	Suportou
Sylgard puro	Novo	6	Suportou
	Após imersão em água	0	Suportou
	Após estufa 120 °C)	6	Suportou
	Após weather-ometer	0	Suportou
Calda bordaleza diluída + Sylgard	Novo	0	Suportou
	Após imersão em água	5	Suportou
	Após estufa 120 °C)	7	Suportou
	Após weather-ometer	5	Suportou
Tinta epóxi	Novo	0	Suportou
	Após imersão em água	12	Suportou
	Após estufa 120 °C)	0	Suportou
	Após weather-ometer	-	Não suportou
Etileno glicol + Sylgard	Novo	6	Suportou
	Após imersão em água	6	Suportou
	Após estufa 120 °C)	0	Suportou
	Após weather-ometer	0	Suportou



(a) Montagem na SE de Utinga



(b) – Após envelhecimento

FIGURA 8 - Isoladores de disco com diversos revestimentos envelhecidos naturalmente  
 1 – Isolador sem revestimento  
 2 – Isolador com Sylgard puro  
 3 – Isolador com Sylgard + calda bordaleza diluída  
 4 – Isolador com Sylgard + Etileno Glicol

5 – Isolador com tinta de poliuretano

6 – Isolador com tinta epóxi

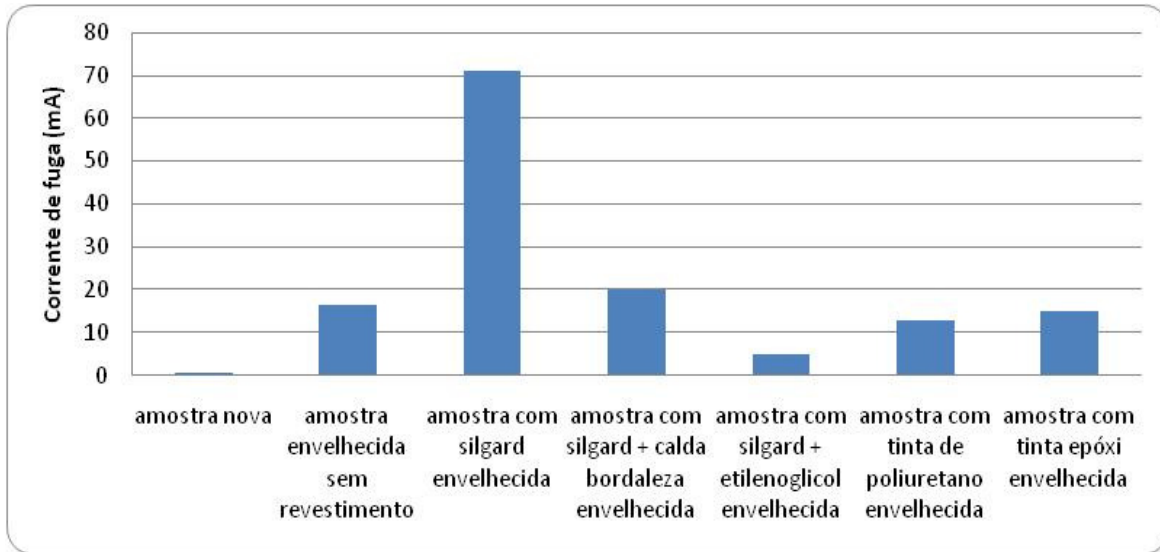


FIGURA 9 - Medição da corrente de fuga em isolador de disco com diversos revestimentos após envelhecimento ao tempo na SE de Utinga (com 30 kV)

#### 5.0 - AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE LIMPEZA DOS EQUIPAMENTOS CONTAMINADOS

Para reduzir a velocidade de crescimento do limo na superfície de equipamentos e estruturas das subestações da ELETRONORTE, situadas na região amazônica, vários produtos foram ensaiados. Os resultados obtidos mostraram que uma solução diluída de hipoclorito (vulgarmente conhecido com água sanitária) pode ser usada, após a limpeza usual, tanto nas ferragens integrantes dos isoladores quanto na superfície das estruturas de sustentação, metálicas ou de concreto. No caso das estruturas de concreto, elas devem ter sua rugosidade superficial previamente reduzida, já que quanto maior a porosidade maior será a facilidade para a instalação e desenvolvimento de limo. O hipoclorito não deve ser utilizado nas superfícies isolantes, seja com o sistema energizado ou não, pois existe o risco de uma descarga disruptiva, como pode ser visto na Figura 10.

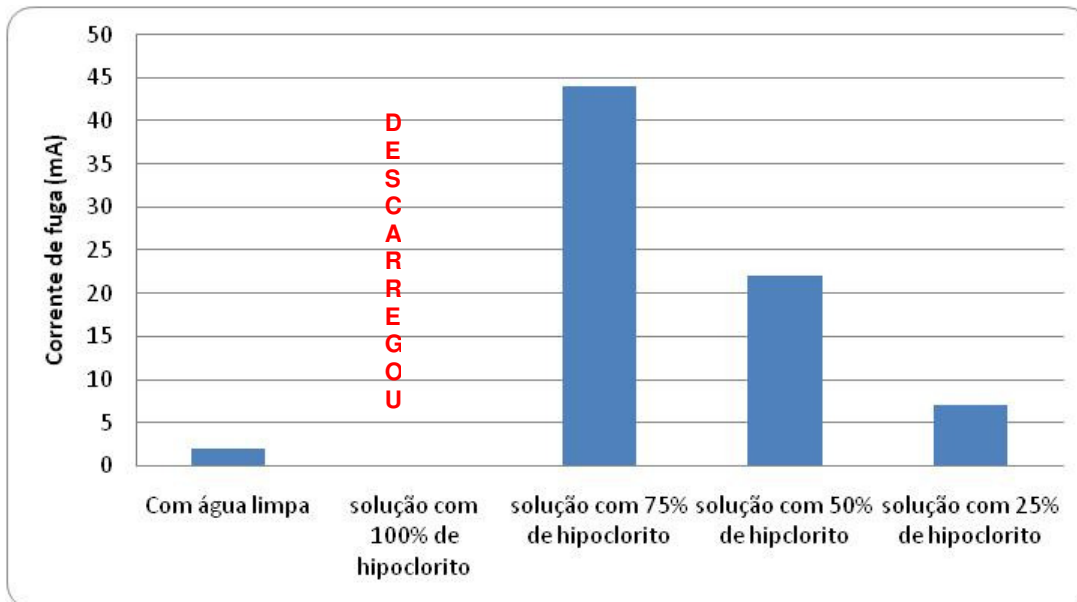


FIGURA 10 - Avaliação de isolador de disco com hipoclorito em ensaio de frequência industrial, a seco (30 kV)

Os estudos realizados mostraram que nos isoladores, o limo se fixa inicialmente na campânula (região com maior rugosidade) e depois se espalha para o corpo isolante e, nas estruturas de sustentação de concreto, o limo se fixa inicialmente nas cavidades existentes, de onde se prolifera para o restante da estrutura. Assim sendo o uso de hipoclorito após a limpeza e o nivelamento, quando for o caso, reduz bastante a velocidade de proliferação do limo.

## 6.0 - CONCLUSÃO

- a. O valor da corrente de fuga depende da quantidade de limo existente na superfície de um isolador, podendo atingir valores tão elevados quanto 100 mA. Portanto, a retirada do limo não é somente estética, é também devido às perdas causadas por valores elevados de corrente de fuga.
- b. É possível obter um relacionamento entre a corrente de fuga e a quantidade de limo vivo depositada na superfície dos isoladores. O resultado pode ser usado como indicador da necessidade de lavagem periódica das subestações onde a cobertura anti limo não tenha sido aplicada. São necessários mais ensaios, variando a quantidade de limo na superfície, para permitir a aplicação de métodos estatísticos que permitam a definição de valores.
- c. A estrutura e a composição do limo é variada, dependendo da região onde ele se instala. Seu processo de instalação inicia-se nas superfícies mais rugosas (como as ferragens dos isoladores) e depois cresce em direção à superfície isolante (área mais lisa).
- d. A tinta de poliuretano apresentou o melhor desempenho tanto no laboratório quanto na aplicação de campo, considerando o ponto de vista operacional. Assim sendo, essa cobertura anti limo pode ser considerada como a melhor solução para os equipamentos atualmente instalados nas subestações.
- e. O hipoclorito diluído, em concentrações superiores a 25%, constitui-se na melhor solução para controlar a velocidade de crescimento do limo nas ferragens de isoladores, nas estruturas de concreto e nas superfícies metálicas mas não deve ser aplicado nas superfícies isolantes.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) D. Dornfalk and S. M. Gubanski, "Techniques for Estimation of Biological Contamination on Insulators Using Image Analysis", Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp 659-662, 2004
- (2) S. Visacro, E. P. Antunes, V. G. Machado, V. T. Guedes, "Improving the lightning performance of 69 kV to 230 kV transmission lines", *Ground 2006 Proceedings*, pp. 329-332, novembro, 2006
- (3) Fernando M.A.R. Manjula, "Performance of Non-ceramic Insulators", PhD Thesis presented to the Department of Electric Power Engineering - Chalmers University of Technology, SE-412 96, Göteborg, Sweden, ISBN 91-7197-848-8; 1999
- (4) R. S. Gorur, R. Hill et al, "Mold growth on non ceramic insulators and its impact on electrical performance"; IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 18, number 2, abril, 2003