



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### Redução de Custos de Manutenção e Melhoria de Desempenho com a Utilização de Cobertura RTV em Isoladores de SEs e LDs

<b>Nilton dos Santos Filho</b>	<b>Milton Inaba</b>	<b>Faisal Huda</b>
<b>Cemig Distribuição S.A.</b>	<b>Mitsubishi Corporation do Brasil</b>	<b>CSL Silicones Inc.</b>
<a href="mailto:nsfilho@cemig.com.br">nsfilho@cemig.com.br</a>	<a href="mailto:milton.inaba@mitsubishicorp.com">milton.inaba@mitsubishicorp.com</a>	<a href="mailto:fhuda@cslsilicones.com">fhuda@cslsilicones.com</a>

#### Palavras-chave

Cobertura RTV

Corrente de Fuga

Flashover

Limpeza e Recuperação de Isoladores

Manutenção de Isoladores

#### Resumo

Áreas industriais e litorâneas sempre trouxeram dificuldades adicionais ao sistema elétrico. Poluentes industriais ou naturais podem reduzir o desempenho elétrico dos isolantes, provocando efeito corona e descargas parciais, que poderão evoluir para disrupções elétricas, gerando desligamentos temporários e permanentes. Para eliminar ou reduzir estas ocorrências, são adotadas ações como a substituição periódica dos isoladores, lavagem, aplicação de graxas e líquidos a base de silicone, utilização de isoladores poliméricos e aplicações de coberturas tipo RTV (Room Temperature Vulcanizing). Em 2001, a Cemig e a canadense CSL Silicones Inc, representada pela Mitsubishi Corporation do Brasil, implantaram experiências em isoladores de linhas de distribuição (LDs) e de subestações (SEs). A cobertura pretende eliminar as limpezas periódicas, a aplicação de silicones ou minimizar a troca de isoladores. Utilizadas regularmente no exterior, sendo inclusive exigidas em novas instalações inseridas em ambientes poluídos, as coberturas RTV ainda são pouco aplicadas e conhecidas no Brasil. São analisados os custos das substituições, desligamentos por falhas nos isoladores e os necessários para a manutenção preventiva e corretiva das instalações. São apresentados resultados dos ensaios realizados no material e as conclusões da utilização experimental.

#### 1. INTRODUÇÃO

Nas regiões onde a poluição é mais intensa, o acúmulo de partículas sobre a superfície de isoladores de redes de distribuição (RDs), LDs e SEs poderá permitir a condução de corrente elétrica sobre o dielétrico, aumentando o risco de disrupções sobre os isoladores (“flashover”), com conseqüentes interrupções do fornecimento de energia elétrica. O crescimento da industrialização e das atividades agrícolas no Estado de Minas Gerais, aliada à expressiva umidade natural de determinadas regiões, podem prejudicar o desempenho de determinadas instalações, se essas variáveis ambientais não forem consideradas no projeto e na operação dos ativos.

Alguns poluentes são removidos naturalmente durante o período chuvoso, porém outros se fixam acentuadamente no dielétrico e nas ferragens, tornando sua remoção praticamente impossível. Diversos registros das gerências de operação e manutenção da distribuição Cemig, relativos à ocorrência de disrupções, interrupções temporárias e permanentes, evidenciam a necessidade de trabalhos de limpeza de isoladores, aplicação de revestimentos protetores ou mesmo a substituição dos mesmos.

As alternativas mais comuns para minimizar os efeitos dos poluentes nos isoladores, restabelecendo a hidrofobicidade do dielétrico, são:

- Limpeza dos isoladores com jato d'água de alta pressão;
- Aplicação de silicone líquido ou graxa (facilitando a limpeza natural ou manual dos isoladores);
- Substituição periódica dos isoladores poluídos por unidades recuperadas ou novas.

As coberturas ou revestimentos do tipo RTV são ainda pouco conhecidas e utilizadas no Brasil, porém são cada vez mais freqüentes no exterior, sendo inclusive solicitadas, por algumas concessionárias, como obrigatórias em instalações novas de SEs, RDs e LDs, implantadas em áreas de poluição reconhecida.

Em 2000, a Engenharia de Manutenção da Cemig Distribuição iniciou trabalhos com a CSL Silicones Inc. e seu representante no país, a Mitsubishi Corporation do Brasil, com o objetivo de avaliar uma dessas coberturas a base de silicone, tipo RTV, para isoladores de alta tensão. Também em 2000 foram realizados ensaios elétricos preliminares no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel, em Adrianópolis - RJ.

Em junho de 2001, essa cobertura foi aplicada em isoladores de disco usados, na LD Fosfertil-Uberaba5 - 138 KV, em estruturas próximas a SE de consumidor, fabricante de fertilizantes e com histórico acentuado de desligamentos temporários e eventuais permanentes, provocados por flashover nas cadeias de isoladores. Em junho de 2004 foram feitas também aplicações em isolantes de transformadores de corrente e potencial (TPs e TCs) na SE de uma fábrica de Cimento, em Carandá-MG. Em julho de 2007 foram feitas aplicações em isoladores da LD Nova Granja – Pedro Leopoldo 3 – 138 kV, em área interna de outra fábrica de cimento, em Vespasiano-MG.

A solução pretende reduzir as intervenções periódicas em SEs e LDs, quando, em períodos entre 3 e 5 anos, os isoladores precisariam ser substituídos ou limpos, para posterior aplicação de graxas e líquidos a base de silicone. Prevista para uma vida útil em torno de 15 anos, as coberturas RTV podem evitar no mínimo 3 intervenções nos isoladores envolvidos, envolvendo um custo inferior à duas intervenções convencionais.

## **2. ENSAIOS REALIZADOS**

Para subsidiar a instalação em linha viva dos isoladores com a cobertura, em outubro e dezembro de 2000, foram realizados ensaios elétricos preliminares no Cepel. Após três anos de exposição, outros ensaios foram realizados, nos meses de setembro e dezembro de 2004, avaliando as condições físicas e elétricas da cobertura, depois dessa exposição. Os resultados das duas fases estão destacados a seguir.

### **2.1 Ensaios Preliminares**

Para verificação da suportabilidade elétrica sob névoa limpa e salina (conforme NBR 10621 - Isoladores - Determinação das características de suportabilidade sob poluição artificial), avaliou-se:

- Cadeia usada, naturalmente poluída, ensaiada com névoa limpa;
- Cadeia nova ensaiada com névoa salina;
- Cadeia nova coberta com o produto e ensaiada com névoa salina;
- Cadeia usada, após limpeza com jato de água e aplicação da cobertura, ensaiada com névoa salina.

Cadeia sob Ensaio	Aplicação	Tensão de Ensaio	Duração da Aplicação	Resultado
Usada e Poluída Naturalmente	1	88 kV	60 min	Suportou a Aplicação

**TABELA 1** – Resultado do ensaio de verificação da suportabilidade sob névoa limpa

Cadeia sob Ensaio	Aplicação	Duração da Aplicação (min)	C <sub>20</sub> antes (μS/cm)	C <sub>20</sub> após (μS/cm)	Resultado
Nova	1	60	54300	54300	Suportou a Aplicação
	2	60	54300	54300	Suportou a Aplicação
	3	60	54900	54900	Suportou a Aplicação
Nova e Coberta com Cobertura RTV	1	60	55300	55300	Suportou a Aplicação
	2	60	55300	55300	Suportou a Aplicação
	3	60	55300	55300	Suportou a Aplicação
Usada e Coberta com Cobertura RTV	1	60	55400	55300	Suportou a Aplicação
	2	60	55300	55300	Suportou a Aplicação
	3	60	55300	55400	Suportou a Aplicação

**OBS:** As cadeias ensaiadas com névoa salina foram submetidas ao pré-condicionamento antes do ensaio, conforme NBR 10621. Ensaio realizado na tensão de 80 kV e salinidade de 40 kg/m<sup>3</sup>.

**C<sub>20</sub>** = Condutividade volumétrica de água a 20°C.

**TABELA 2** – Resultados dos ensaios para verificação da suportabilidade elétrica sob névoa salina.

Adicionalmente, nas cadeias submetidas ao ensaio sob névoa salina, no final de cada ensaio de verificação da suportabilidade elétrica, foi medida a corrente de fuga, com a aplicação de uma tensão de 65 kV, conforme a seguir.

Cadeia sob Ensaio	V <sub>atm</sub> (Kv <sub>ef</sub> )	Shunt (Ω)	Corrente de Fuga (mA – pico)	Condições Atmosféricas
Nova	65	217	235	P = 763 mmHg Ts = 25,2°C
Nova e Coberta com Cobertura RTV	65	798	55	P = 764 mmHg Ts = 27,5°C
Usada e Coberta com Cobertura RTV	65	798	46	P = 760 mmHg Ts = 29,1°C

**OBS:** V<sub>atm</sub> = Tensão aplicada nas condições de ensaio.

**TABELA 3** – Medição da corrente de fuga nas cadeias de isoladores ensaiadas sob névoa salina.

Antes e depois da realização dos ensaios, os isoladores foram avaliados em relação a hidrofobicidade presente no dielétrico. Conforme Foto 2, o isolador de vidro usado, sem a cobertura avaliada, não repele a água, permitindo a formação de um “filme” úmido sobre o dielétrico, condição prejudicial ao desempenho do isolador, pois favorece a condução de corrente elétrica. Ainda na Foto 2, o mesmo tipo de isolador usado, que recebeu a cobertura, recuperou a hidrofobicidade do dielétrico, sem permitir a formação de pontos úmidos contínuos, antes e depois dos ensaios.

Os relatórios de ensaios no CEPEL concluíram pelo bom desempenho elétrico dos isoladores com a cobertura RTV aplicada.



**Foto 1** – Isoladores de vidro usados, com e sem a cobertura RTV (superior e inferior, respectivamente).



**Foto 2** – Isoladores de vidro usados, com e sem a cobertura RTV (superior e inferior, respectivamente), pulverizados com jato d'água.

## 2.2 Últimos Ensaios

Em 2004, após 3 anos de exposição a intempéries naturais e poluentes próximos a LD Fosfertil-Uberaba5 - 138 kV, em estruturas próximas a fábrica de fertilizantes, foram retiradas 3 cadeias, de 9 isoladores cada, formadas por peças usadas e que receberam a cobertura em junho de 2001.

Foram realizados novos ensaios no Cepel, para verificação da suportabilidade elétrica sob névoa limpa e salina (Relatório 2079/2005-C, janeiro de 2005), nas cadeias disponíveis, utilizando-se também a NBR 10621 como referência. Os resultados estão registrados nas Tabelas 4 e 5.

Cadeia sob Ensaio	Tensão de Ensaio	Duração da Aplicação	Resultado
Cadeia 1	88 kV	60 min	Suportou a Aplicação
Cadeia 2	88 kV	60 min	Suportou a Aplicação
Cadeia 3	88 kV	60 min	Suportou a Aplicação

**TABELA 4** – Resultado do ensaio de verificação da suportabilidade sob névoa limpa

Cadeia sob Ensaio	Aplicação	Duração da Aplicação (min)	C <sub>20</sub> antes (µS/cm)	C <sub>20</sub> após (µS/cm)	Resultado
Cadeia 1	1	60	98000	101500	Suportou a Aplicação
	2	60	101500	101600	Suportou a Aplicação
	3	60	101600	101000	Suportou a Aplicação
Cadeia 2	1	60	96800	97200	Suportou a Aplicação
	2	60	97200	98000	Suportou a Aplicação
	3	60	98000	99200	Suportou a Aplicação
Cadeia 3	1	60	99700	99200	Suportou a Aplicação
	2	60	99200	98000	Suportou a Aplicação
	3	60	98000	96800	Suportou a Aplicação

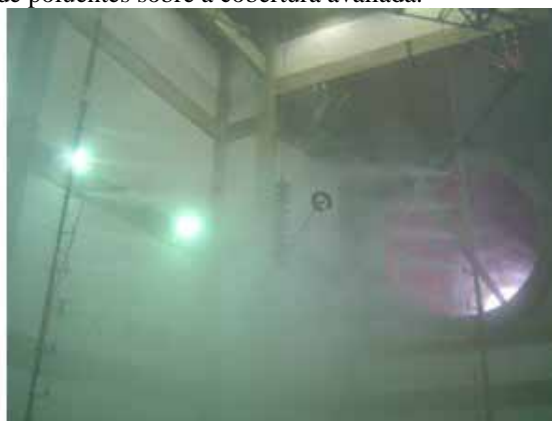
**OBS:** As cadeias ensaiadas com névoa salina foram submetidas ao pré-condicionamento antes do ensaio, conforme NBR 10621. Ensaios realizados na tensão de 80 kV e salinidade de 80 kg/m<sup>3</sup>.

**C<sub>20</sub>** = Condutividade volumétrica de água a 20°C.

**TABELA 5** – Resultados dos ensaios para verificação da suportabilidade elétrica sob névoa salina.



**Fotos 3 e 4** – Isoladores usados, expostos por 3 anos com a cobertura, antes dos ensaios elétricos, sem acúmulo ou concentração significativa de poluentes sobre a cobertura avaliada.



**Fotos 5 e 6** – Ensaio de suportabilidade elétrica sob névoa limpa ou salina, no início da formação da névoa e próximo da sua estabilização, necessária ao ensaio.



**Fotos 7 e 8** – Isoladores usados, com a cobertura RTV, mantendo a hidrofobicidade, após 3 anos de exposição e realização de novos ensaios (LD Fosfertil-Uberaba5 - 138 kV).

### 3. UTILIZAÇÃO DA COBERTURA

O produto é altamente volátil e na sua condição natural apresenta uma viscosidade superior à habitualmente conhecida para tintas e outras coberturas. Em contato com o oxigênio ambiente, a cobertura seca e cura rapidamente. Em poucos minutos já há formação de uma película (“casca”). A cobertura é fornecida pronta para a utilização, seja com pincéis ou ar comprimido, tipo spray. Não são necessárias e não são recomendadas adições de solventes ou componentes para a diluição da cobertura. Em casos excepcionais, pode-se restabelecer a viscosidade original do produto, utilizando um solvente do tipo Nafta (Naphtha). O uso de outros solventes poderá prejudicar as características físicas da cobertura e na perda da garantia do produto.

O método mais comum de aplicação é utilizando spray sob pressão. Aplicações por imersão ou pincéis podem ficar comprometidas quando se pretende proteger superfícies de grande extensão ou simultaneamente muitas peças de dimensões reduzidas, devido a alta volatilidade do produto em recipientes abertos e ao rápido endurecimento de pincéis e brochas.

Antes da aplicação, todos os isoladores que irão receber o produto devem ser limpos e deve-se preparar uma quantidade suficiente de isoladores para no mínimo um dia ou período programado para o trabalho. Toda a superfície do dielétrico deve ser limpa com jato de água sob alta pressão e se necessário devem ser utilizados desengordurantes, para que a superfície fique isenta de restos de graxas, óleos, etc. Após a limpeza, deve-se aguardar a completa secagem do dielétrico, permitindo a adesão necessária entre a cobertura e a superfície isolante. Terminada a aplicação no dia, deve-se providenciar a imediata limpeza dos acessórios utilizados até o final da tarefa e, caso existam sobras do produto, a devida vedação da lata. Os acessórios e ferramentas utilizados devem ser prontamente limpos, pois quanto maior exposição ao tempo, maior será a dificuldade para a remoção das sobras do produto.

O rendimento médio da cobertura, apurado para isoladores convencionais de LDs (80 kN), foi de um litro para 20 isoladores, aplicados entre 2 e 3 demãos, em aproximadamente 20 minutos.

Deve-se observar, durante a aplicação, os períodos de secagem e cura da cobertura utilizada. Finalizada a aplicação, devem ser evitados choques ou contatos mecânicos entre os isoladores e outras partes, pois estes poderão produzir danos (durante o armazenamento, transporte e montagem). Pequenas avarias poderão ser recuperadas através do retoque com um pincel, diretamente na área atingida.



**Fotos 9 e 10** – Transformadores de corrente e tensão após a aplicação da cobertura em 06/2004 e Após dois anos de exposição, respectivamente esquerda e direita.

#### **4. ANÁLISE ECONÔMICA**

A aplicação ou reaplicação de silicone líquido (ou pasta) em isoladores de TPs e TCs é geralmente realizada em períodos entre 3 e 6 anos, conforme a intensidade dos poluentes em cada região. Para cada intervenção tem-se um custo médio de R\$ 10.000,00 (aplicação de silicone em três colunas de isoladores de TP e 3 colunas de isoladores de TC). Não foram considerados os custos referentes à perda de faturamento nesse intervalo (média de 8 horas diurnas com o consumidor desligado) e as perdas referentes à paralisação da produção do consumidor. Com a utilização de coberturas do tipo RTV, o custo dessa intervenção cresce aproximadamente R\$6.000,00 em relação a limpeza e reaplicação do silicone. O tempo gasto com as duas tarefas (aplicação de silicone ou cobertura RTV) é

relativamente equivalente, porém as intervenções futuras, previstas para períodos entre 3 e 6 anos com o silicone comum (conforme a intensidade do poluente) são postergadas para períodos próximos a 15 anos, entre as novas intervenções, utilizando a cobertura RTV.

Deve-se considerar também, com a utilização, da cobertura RTV, a eliminação/redução da corrente de fuga nos isoladores e o menor risco de ocorrência de disrupções, que podem levar a faltas mais graves. Na utilização de isoladores de LDs, há ainda a possibilidade de recuperação de isoladores usados, que em condições normais seriam sucateados. Nesse caso muitos isoladores teriam a sua vida útil recuperada e estendida.

O custo de instalação é semelhante ao da tarefa de substituição de isoladores inservíveis por outros, porém devem ser incluídos os custos dos trabalhos de limpeza e aplicação da cobertura em isoladores novos ou usados.

## **5. CONCLUSÕES**

Nos ensaios onde se registrou a corrente de fuga nas cadeias de isoladores, constatou-se que o uso da cobertura RTV reduziu o nível de corrente de fuga inclusive na cadeia com isoladores novos. Permitiu também que, a cadeia usada (que recebeu o produto) apresentasse valores de corrente de fuga ligeiramente inferiores ao da cadeia nova com a cobertura. Nos dois casos anteriores, a corrente de fuga ainda foi menor que a medida na cadeia de isoladores novos, sem o produto. Pode-se dizer que a cobertura RTV trouxe vantagens, mesmo quando utilizada preventivamente em isoladores novos.

Devido ao custo e as particularidades relacionadas ao manuseio e a aplicação dessa solução, sua utilização deverá sempre ser precedida de uma análise que contemple, para cada local onde se pretende utilizá-lo, os seguintes pontos:

- Tipo de poluente e sua ação no dielétrico dos isoladores;
- Freqüência e tipo das ocorrências de faltas nas redes, linhas e subestações;
- Períodos entre as intervenções realizadas para eliminar ou minimizar ocorrências (limpezas, substituições, aplicações de outras soluções, etc.).

Após quase 4 anos de aplicação em subestações de fabricantes de cimento, não foi verificado acúmulo significativo de poluentes ou comprometimento da camada isolante. Uma limpeza tradicional, prevista inicialmente para 2007, foi postergada, com a utilização da cobertura RTV. Os benefícios são maiores, quando se considera a eliminação/redução da corrente de fuga, riscos de disrupção elétrica e a dilatação dos períodos entre as intervenções em isoladores localizados em áreas de poluição intensa que, sobem de períodos entre 3 e 5 anos para média de 15 anos entre as intervenções. Depois de 7 anos, verificou-se através de inspeções visuais, que não ocorreram falhas originadas nas cadeias de isoladores de LDs que receberam a cobertura RTV.

Pelos resultados obtidos, a Engenharia de Manutenção da Cemig Distribuição considerou a cobertura avaliada satisfatória para a utilização proposta. Ressaltamos a observância de todos os procedimentos relacionados ao transporte, manuseio, aplicação e armazenagem, sem os quais poderá haver o comprometimento dos resultados esperados.