



06 a 10 de Outubro de 2008  
Olinda - PE

## **Estudos sobre o desempenho de cadeias de isoladores para redes de distribuição com isoladores quebrados ou perfurados**

**Darcy Ramalho de Mello**  
darcy@cepel.br

**José Antonio D’Affonseca Cardoso**  
cardoso@cepel.br

**José Antonio P. Rodrigues**  
japr@cepel.br

**Fernando Dias da Silva**  
fdias@cepel.br

**Ricardo Wesley S. Garcia**  
rwesley@cepel.br

**CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica**

### **PALAVRAS CHAVE:**

Cadeias, redes de distribuição, isolador, perfuração, manutenção.

### **RESUMO**

A pequena quantidade de isoladores em cadeias para redes de distribuição de 34,5 kV e 69 kV faz com que sua suportabilidade dielétrica fique comprometida, quando ocorre a quebra de isoladores, sendo que a tarefa das equipes de manutenção se torna mais árdua quando, no caso de isoladores de porcelana, ele está perfurado, mas permanece, externamente, íntegro. Os diversos estudos existentes na literatura se referem a cadeias para linhas de transmissão acima de 230 kV e tratam somente da suportabilidade sob impulso atmosférico e impulso de manobra. Nada é comentado quanto a suportabilidade à tensão de frequência industrial, o que é uma falha séria, pois a não suportabilidade, quando do religamento da linha, pode ocasionar uma nova descarga disruptiva, que pode causar um arco de potência com a possível queda do condutor ao solo. Assim sendo, o objetivo deste estudo é avaliar a suportabilidade dielétrica em frequência industrial de cadeias para 34,5 kV e 69 kV, variando o posicionamento do isolador quebrado ao longo da cadeia, além de avaliar o emprego de algumas tecnologias existentes na localização de um isolador de porcelana perfurado, mas não quebrado, variando seu posicionamento ao longo de uma cadeia de 69 kV.

### **1. INTRODUÇÃO**

O isolamento de uma linha de transmissão é obtido pela manutenção da distância de isolamento adequada entre os condutores energizados e a estrutura suporte ou entre condutores. Como os condutores são sustentados pelas cadeias de isoladores, o dimensionamento dessas cadeias deve atender a várias condições impostas pelas solicitações dielétricas. Usualmente as falhas nas linhas de transmissão ocorrem nas cadeias de isoladores, assim sendo, é importante preservar a integridade dos isoladores de modo a manter a rigidez dielétrica da cadeia.

Quando a falha provoca dano nos isoladores, é necessário substituí-los o mais rápido possível, de modo a voltar às condições originais de dimensionamento do projeto da cadeia. A localização de isoladores danificados é facilmente realizada por inspeção visual quando a cadeia é composta por isoladores de vidro temperado, pois seu dielétrico

explode quando falham, tornando-os visualmente fáceis de localizar. A localização de isoladores danificados se torna problemática quando os isoladores de porcelana perfuram sem quebrar, dificultando sua localização por parte das equipes de manutenção.

Existem diversos artigos na literatura [1 a 3], sobre a redução da suportabilidade dielétrica de cadeias de isoladores quebrados mas os estudos se concentram em impulsos atmosférico e de manobra e em cadeias de grandes dimensões. Não existem artigos na literatura sobre cadeias de pequenas dimensões com isoladores quebrados, abrangendo a suportabilidade dielétrica em frequência industrial. Deve-se observar que se a suportabilidade dielétrica para frequência industrial de uma cadeia for comprometida, as tentativas de religamento poderão provocar novas descargas disruptivas que, caso venham a produzir um arco de potência, podem ocasionar a queda do condutor ao solo.

O objetivo deste artigo é avaliar a variação da suportabilidade dielétrica em frequência industrial de cadeias para 34,5 kV e 69 kV com isolador de vidro temperado, variando a posição do isolador quebrado ao longo das cadeias, e avaliar as variações da tensão de radiointerferência e da corrente de fuga em cadeias de 69 kV com isoladores de porcelana perfurados, mas não quebrados, variando sua posição ao longo da cadeia, com o objetivo de tentar facilitar o trabalho das equipes de manutenção na tentativa de localizar aquela que é a pior falha que pode ocorrer em uma cadeia com isoladores de porcelana, o isolador está com aspecto externo de íntegro, mas está perfurado no seu interior. Serão apresentados, também, os resultados obtidos na tentativa de localização do isolador defeituoso utilizando um termovisor e um aparelho para visualização de radiação ultravioleta, representada pelo efeito corona (“DayCor”), com medição da quantidade de fótons formados.

## 2. AVALIAÇÃO DA SUPORTABILIDADE DIELÉTRICA

A avaliação da suportabilidade foi realizada através da determinação do valor da tensão disruptiva em frequência industrial, a seco, nas diversas configurações sob estudo. A tensão disruptiva em frequência industrial foi determinada através da média de 5 aplicações de tensão, que causaram descargas disruptivas na configuração sob estudo, sendo o intervalo entre cada aplicação de 1 minuto. Os valores médios obtidos foram corrigidos para as condições atmosféricas normalizadas segundo a NBR 6936 [4]. Exemplos dos arranjos de ensaio podem ser vistos na figura 1.



(a) – cadeia de ancoragem para 34,5 kV



(b) cadeia de suspensão para 69 kV

Figura 1 – Exemplos de arranjos de ensaio utilizados

Os resultados obtidos podem ser vistos nas tabelas 1 a 4, onde:

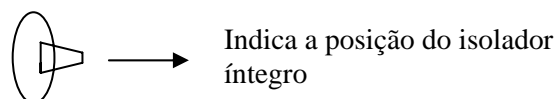
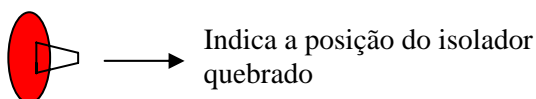


Tabela 1 – Cadeia de suspensão para 34,5 kV [5]


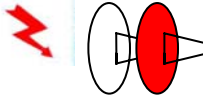
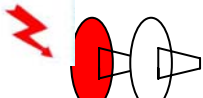
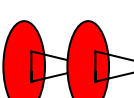
Configuração	Tensão disruptiva (kV)	Configuração	Tensão disruptiva (kV)
	150		78
	80		22

Tabela 2 – Cadeia de ancoragem para 34,5 kV [5]

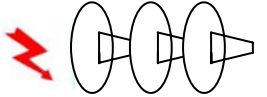
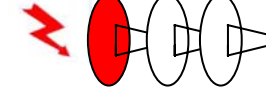
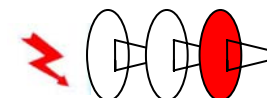
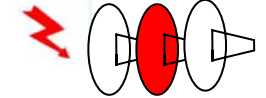
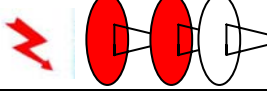
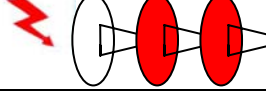
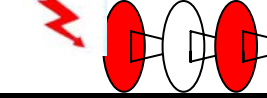
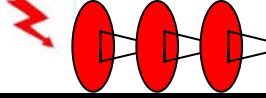
Configuração	Tensão disruptiva (kV)	Configuração	Tensão disruptiva (kV)
	204		152
	154		151
	84		88
	89		34

Tabela 3 – Cadeia de suspensão para 69 kV [5]

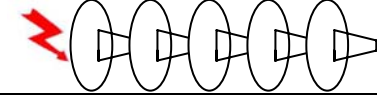
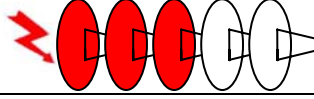
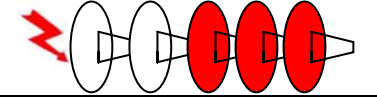
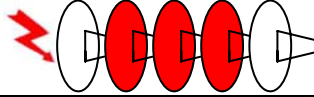
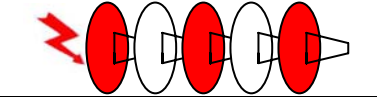
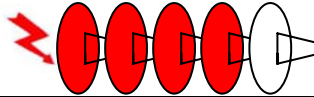
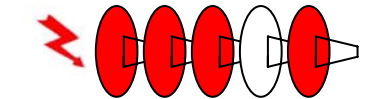
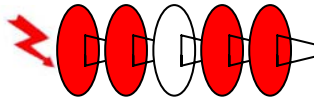
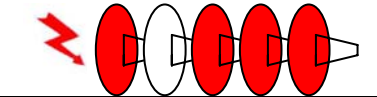
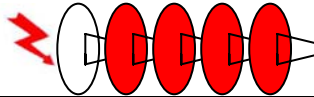
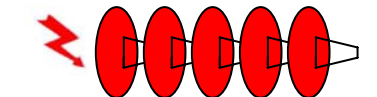
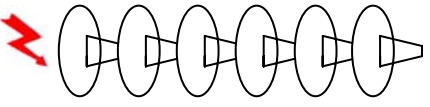
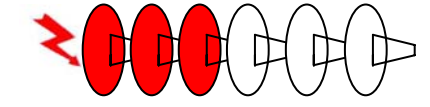
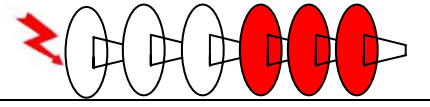
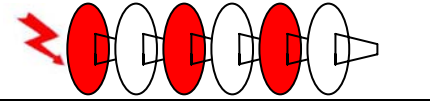
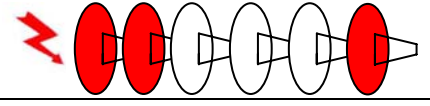
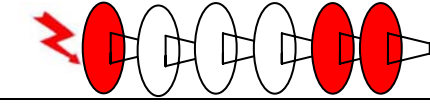
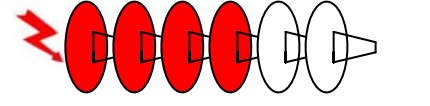
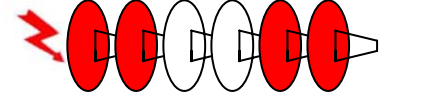
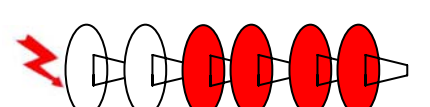
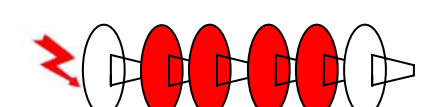
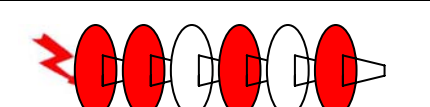
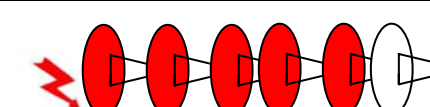
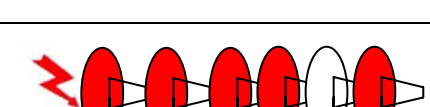
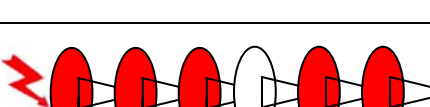
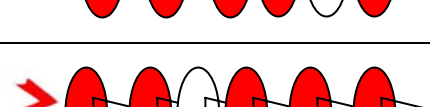
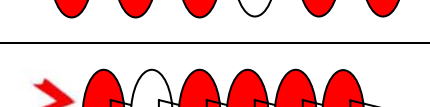
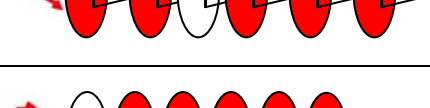
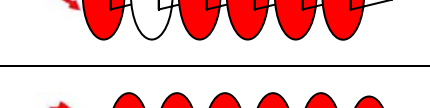
Configuração	Tensão disruptiva (kV)	Configuração	Tensão disruptiva (kV)
	320		169
	171		168
	164		103
	101		102
	103		106
	44		

Tabela 4 – Cadeia de ancoragem para 69 kV [5]

Configuração	Tensão disruptiva (kV)	Configuração	Tensão disruptiva (kV)
	326		226
	216		228
	230		227
	172		170
	162		174
	173		105
	109		111
	105		106
	108		56

Nas tabelas acima pode-se verificar que, ao contrário do que se observa em ensaios de impulso de manobra, a posição do isolador influencia muito pouco no valor da tensão disruptiva de frequência industrial nas cadeias de 34,5 kV e 69 kV, tanto em suspensão como em ancoragem. Os valores obtidos permitem traçar as curvas de tensão disruptiva em função do percentual de isoladores quebrados na cadeia, que podem ser vistas nas figuras 2 a 5.

Como nem sempre a literatura apresenta todos os dados necessários, os valores de tensão disruptiva em frequência industrial das cadeias com todos os isoladores íntegros, sejam de vidro ou de porcelana (passo 146 mm e diâmetro 254 mm) podem ser vistos na tabela 5.

Tabela 5 – Valores da tensão disruptiva em frequência industrial das cadeias com isoladores íntegros [5]

Tipo de cadeia	Isoladores de vidro temperado	Isoladores de porcelana
Cadeia de suspensão de 34,5 kV	150	156
Cadeia de ancoragem de 34,5 kV	204	209
Cadeia de suspensão de 69 kV	317	291
Cadeia de ancoragem de 69 kV	327	316

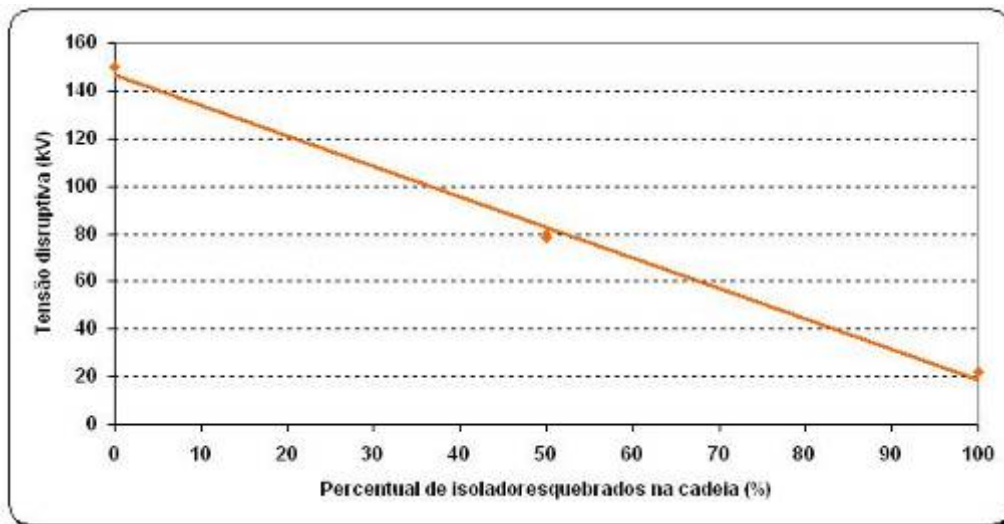


Figura 2 – Curva de suportabilidade dielétrica da cadeia de suspensão de 34,5 kV

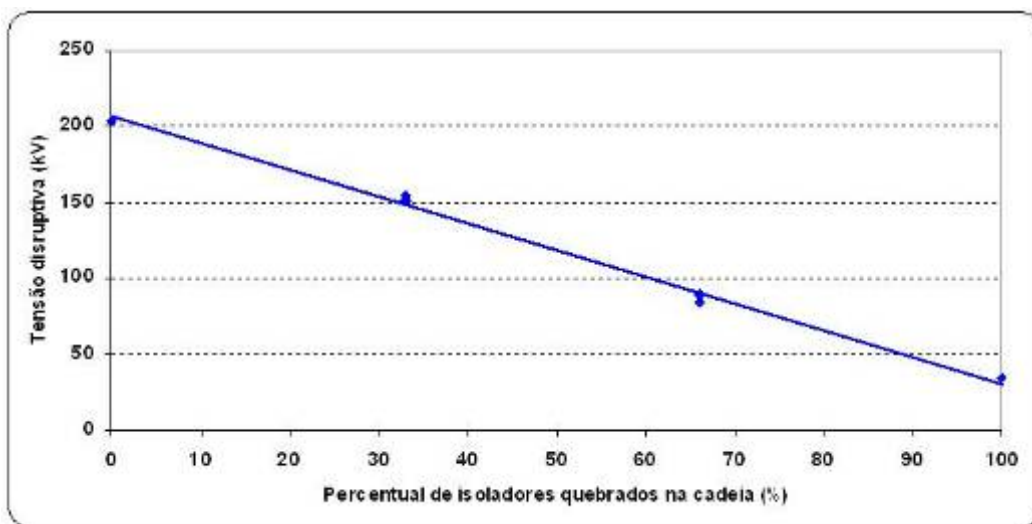


Figura 3 – Curva de suportabilidade dielétrica da cadeia de ancoragem de 34,5 kV

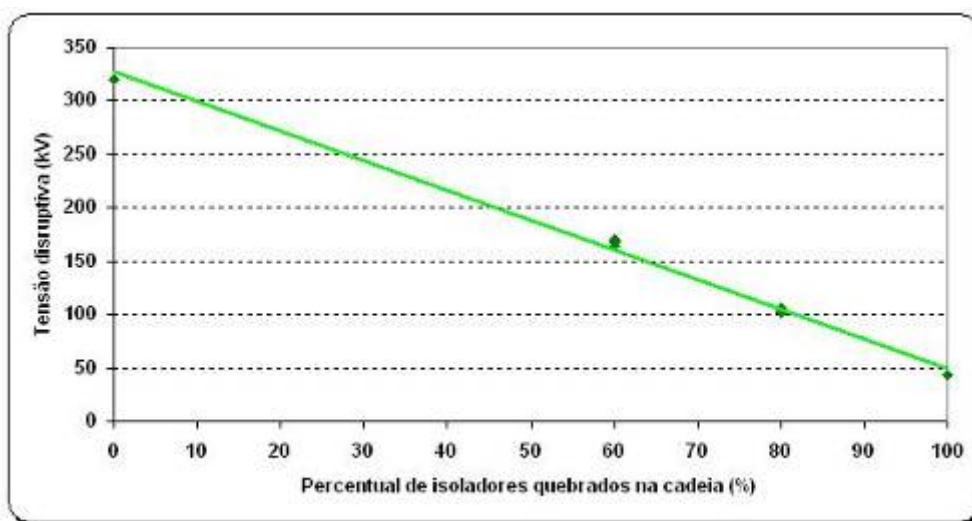


Figura 4 – Curva de suportabilidade dielétrica da cadeia de suspensão de 69 kV



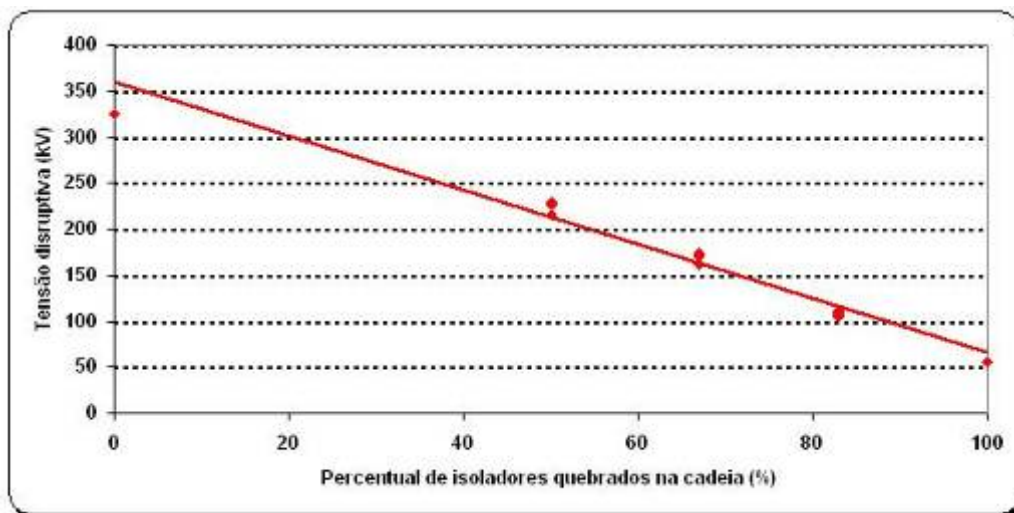


Figura 5 – Curva de suportabilidade dielétrica da cadeia de ancoragem de 69 kV

A reunião de todos os valores obtidos em um único gráfico (ver figura 6) permite determinar a equação da variação percentual da tensão disruptiva, em frequência industrial, de cadeias com 2 isoladores até 6 isoladores, independente da configuração de montagem, face o percentual de isoladores quebrados na mesma:

$$\frac{V_{\text{quebrada}}}{V_{\text{íntegra}}} = -0,80 \times \text{Percentual de isoladores quebrados na cadeia (\%)} + 100 \quad (1)$$

onde:

$V_{\text{quebrada}}$  indica o valor da tensão disruptiva da cadeia com X % de isoladores quebrados, em kV;  
 $V_{\text{íntegra}}$  indica o valor da tensão disruptiva da cadeia com todos os isoladores íntegros, em kV.

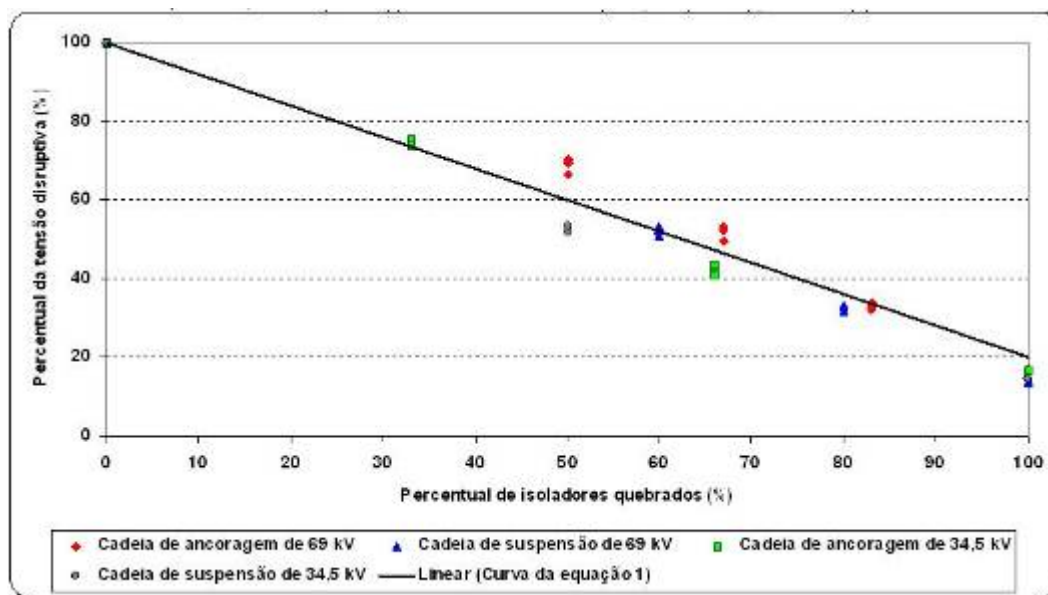


Figura 6 – Curva de suportabilidade dielétrica para cadeias com 2 isoladores a 6 isoladores

### 3. LOCALIZAÇÃO DE ISOLADORES PERFURADOS

A localização de isoladores de porcelana perfurados, mas com aspecto externo íntegro se constitui em uma atividade de significativa dificuldade para as equipes de manutenção. Assim sendo, decidiu-se avaliar o desempenho de alguns dos métodos sugeridos na literatura para a localização de tais isoladores. Os seguintes métodos foram estudados:

- Medição da tensão de radiointerferência;
- Medição da corrente de fuga;
- Uso de equipamentos de localização de corona (“DayCor”);

- Uso de termovisor.

O primeiro passo foi a obtenção de um isolador perfurado, mas com aparência íntegra. Para tal, foram realizados ensaios de perfuração segundo a NBR 15124 [6] em diversos isoladores de porcelana até que se conseguisse um exemplar com o aspecto desejado, como pode ser visto na figura 7 (a).

A seguir, o isolador perfurado foi instalado em cada uma das posições ao longo de uma cadeia de ancoragem com 6 isoladores de porcelana, ver figura 7(b), substituindo um isolador não danificado. Para facilitar a análise, a posição P1 refere-se ao isolador perfurado colocado mais próximo ao condutor e a posição P6, próxima à estrutura suporte.



(a) – Isolador perfurado mas com aspecto de íntegro

(b) arranjo de ensaio

Figura 7 – Isolador de porcelana perfurado

Foi realizado o ensaio de medição da tensão de radiointerferência, segundo a NBR 15121 [7], com a cadeia íntegra e com todas as configurações possíveis variando a posição do isolador perfurado. Como critério de aprovação, utilizou-se o valor indicado pelo Cigré – Brasil [8], 30 dB ou 32  $\mu\text{V}$ , para cadeias de 69 kV. Os resultados obtidos podem ser vistos na figura 8.

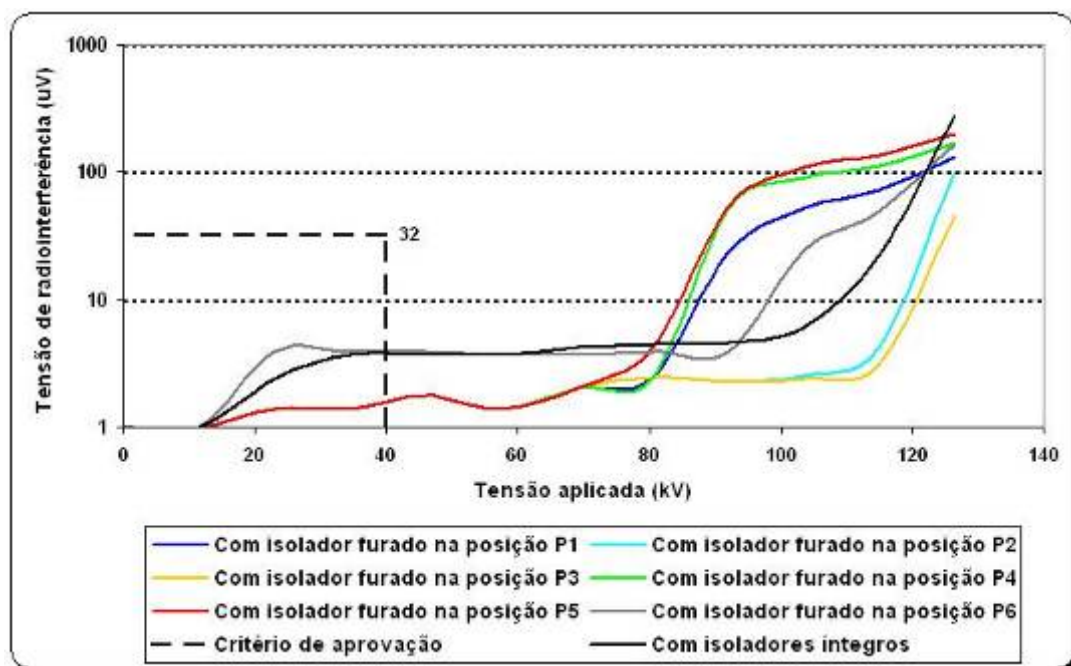


Figura 8 – Resultado do ensaio de radiointerferência

A medição da corrente de fuga foi realizada, colocando-se mais um isolador íntegro próximo ao lado de terra e aterrando-se a cadeia por intermédio de um derivador de corrente (“shunt”). A tensão foi elevada, a partir da tensão nominal da cadeia (40 kV fase-terra), em degraus de 10 kV, até que houvesse variação da corrente de fuga entre todas as configurações avaliadas no ensaio de radiointerferência. Os resultados obtidos podem ser vistos na figura 9. Para poder avaliar se havia diferença entre um isolador perfurado e um isolador quebrado, o ensaio foi repetido colocando um isolador quebrado na posição P1 e depois na posição P2. Os resultados obtidos podem ser vistos na figura 10.

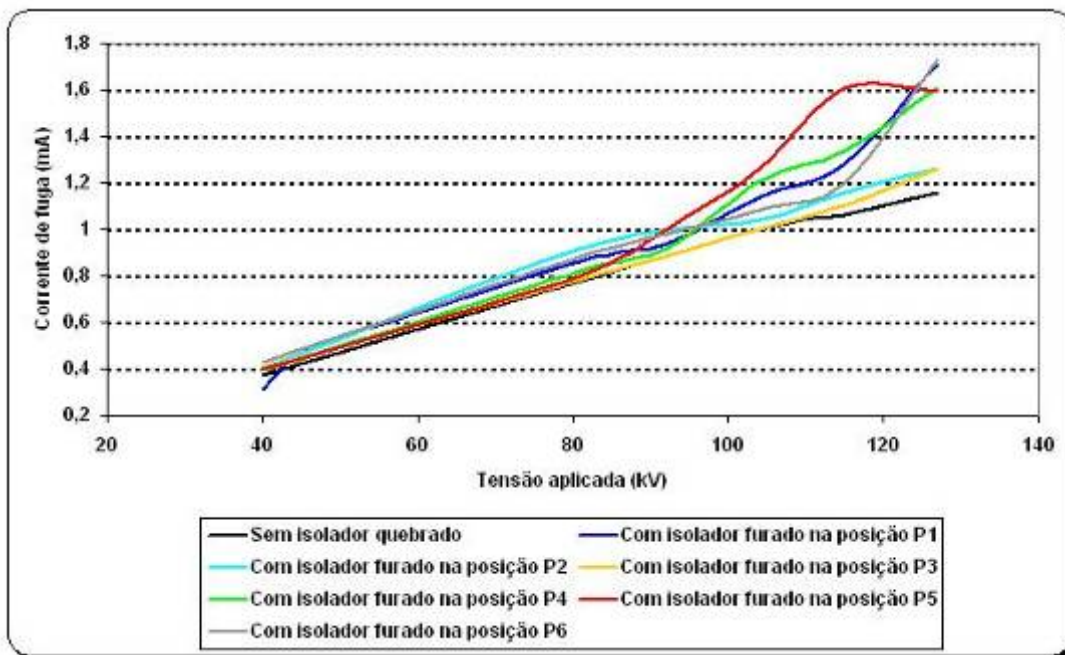


Figura 9 – Resultado do ensaio de medição da corrente de fuga

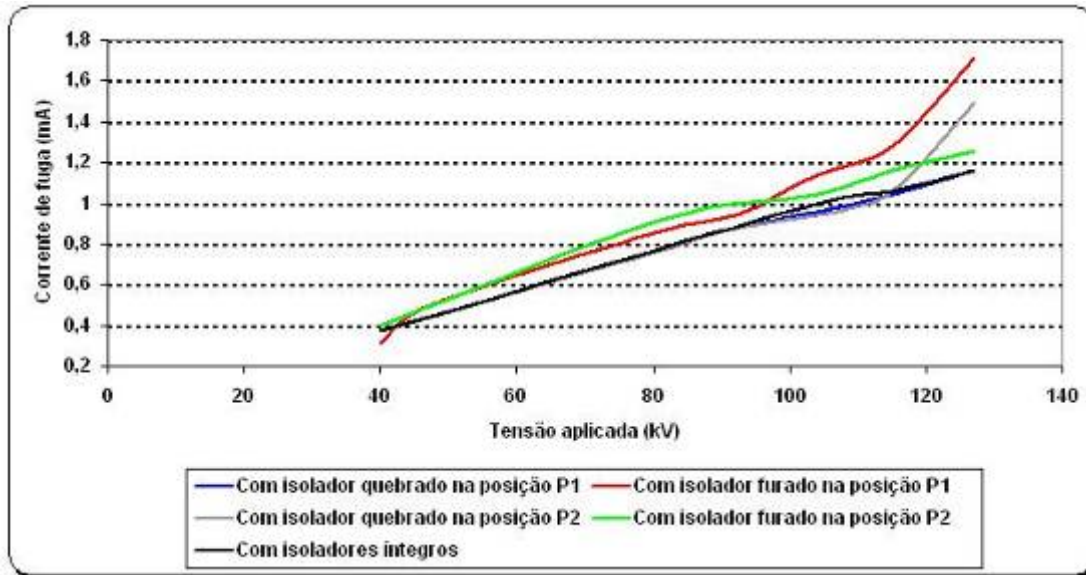
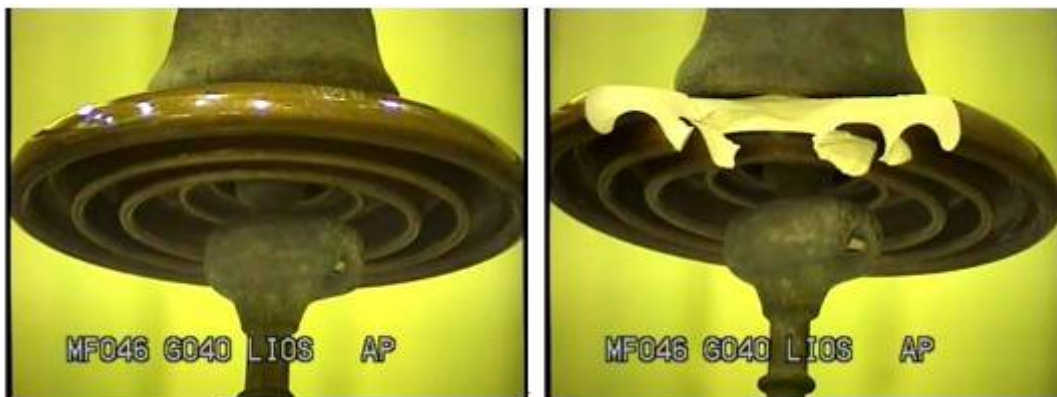


Figura 10 – Resultado do ensaio de medição da corrente de fuga comparando isolador quebrado com isolador perfurado

A avaliação pelo equipamento de localização de corona e pelo termovisor foi realizada com a cadeia com todos os isoladores íntegros e somente com o isolador perfurado na posição P1, energizada com 40 kV por uma hora. Os instrumentos estavam posicionados a 3 metros da cadeia. Os resultados podem ser vistos nas figuras 11 e 12.





(a) Cadeia com isoladores íntegros

(b) Cadeia com isolador P1 quebrado



(c) Cadeia com isolador P1 furado

Figura 11 – Resultados do uso do instrumento de visualização de corona

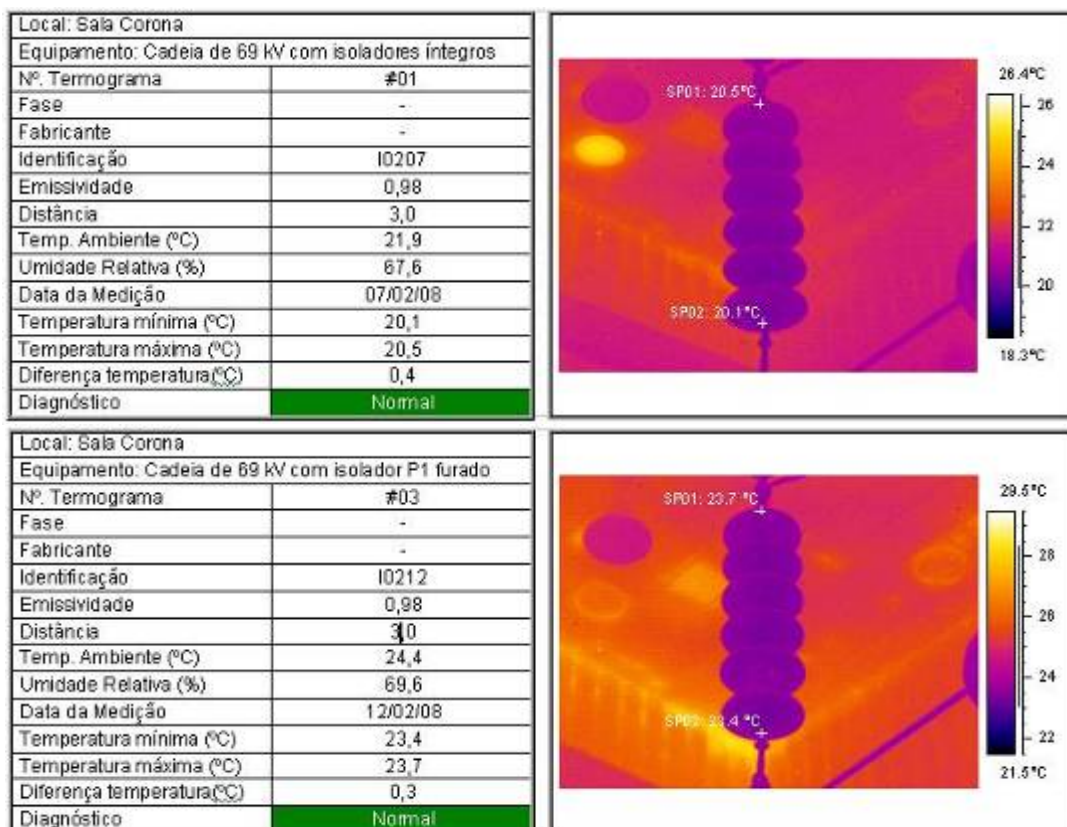


Figura 12 – Resultados do uso do termovisor

#### **4. CONCLUSÕES**

Os resultados obtidos mostraram que o mais importante na avaliação da suportabilidade de uma cadeia com isoladores quebrados, para redes de até 69 kV, é a quantidade de isoladores danificados, independentemente da sua posição ao longo da cadeia. Pode-se observar que tanto nas cadeias de 34,5 kV quanto nas cadeias de 69 kV, a posição dos isoladores quebrados, se juntos ou separados, se próximo ao lado energizado ou próximo ao lado aterrado, não altera o valor da tensão disruptiva, estando as variações obtidas dentro da faixa considerada para erro de medição aceitável ( $\pm 3\%$ ).

Os ensaios mostraram que, somente quando todos os isoladores da cadeia estão quebrados, a sua energização com tensão nominal se torna praticamente impossível, pois os valores da tensão disruptiva em frequência industrial estão muito próximos do valor da tensão nominal da rede. Além disso, a elevada redução da tensão disruptiva, verificada nas cadeias com isoladores quebrados, pode indicar a necessidade de se utilizar, na cadeia, meios de proteção contra arcos de potência, de modo a reduzir a quantidade de isoladores danificados quando da sua ocorrência.

Os resultados obtidos mostraram que as tecnologias testadas não apresentaram bom desempenho na localização de um isolador perfurado, mas íntegro, instalado em uma cadeia de 69 kV. Cabe ressaltar que as medições com o termovisor foram realizadas em um circuito sem carga. Assim sendo, é aconselhável repetir o experimento em uma subestação energizada para que se obtenha uma real avaliação desta tecnologia.

#### **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] Hutzler, B., Riu, Jean-Pierre. Behavior of long insulator strings in dry conditions. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. 98, nr. 3, may/june 1979, pp 982 -990.
- [2] Sadurski, K. J. Live – line work on power lines: Switching impulse strength of insulator strings with broken glass discs. Cigré WG 33;-7, 1985, paper 6.
- [3] Hutzler, B., Riu, Jean-Pierre. Behavior of long insulator strings with broken units. Cigré WG 33;-7, 1985, paper 7.
- [4] ABNT NBR 6936. Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão, 1992.
- [5] CEPTEL. Cadeias simples de suspensão e cadeias de ancoragem, classes de tensão 34,5 kV, 69 kV e 138 kV – Relatório de ensaios UNIAT 145/95.
- [6] ABNT NBR 15124. Isoladores de porcelana ou vidro para tensões acima de 1000 V – Ensaio de perfuração sob impulso, 2004.
- [7] ABNT NBR 15121. Isoladores para alta-tensão – Ensaio de medição da radiointerferência, 2004.
- [8] Cigré Brasil – CE B2.03. Guia de ensaios de isoladores de vidro ou porcelana para linhas de transmissão e subestações, 2006.