



**GRUPO III
GRUPO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO (GLT)**

**DESEMPENHO DE ISOLADORES DE LINHAS DE TRANSMISSÃO
PONTO DE VISTA DA MANUTENÇÃO**

Armando Isaac Nigri

Furnas Centrais Elétricas

RESUMO

Neste trabalho é apresentado o resultado do acompanhamento do desempenho de isoladores cerâmicos (vidro e porcelana), nas últimas décadas, nas classes de tensão de 138, 230, 345, 500 e 750 kV em corrente alternada e +/- 600kV em corrente contínua.

Para isoladores não-cerâmicos o acompanhamento está restrito a última década, quando foram instaladas amostras para teste.

A partir deste acompanhamento é possível avaliar e comparar a taxa de falha dos isoladores do Sistema FURNAS.

PALAVRAS-CHAVE

Desempenho, Isoladores, Linhas de Transmissão

1.0 – INTRODUÇÃO

O desempenho das linhas de transmissão está diretamente relacionado com o desempenho dos seus isoladores.

As linhas de transmissão de FURNAS, abrangendo cerca de 16000 quilômetros, utilizam basicamente isoladores de vidro temperado e porcelana, totalizando quase 4(quatro) milhões de unidades.

Em situações especiais, tais como em regiões poluídas ou sujeitas a vandalismo, são utilizados isoladores poliméricos.

O acompanhamento do desempenho dos isoladores cerâmicos e não-cerâmicos, ao longo de duas décadas,

permitiu propor novos critérios para manutenção destes isoladores.

2.0 ACOMPANHAMENTO DO DESEMPENHO

O acompanhamento do desempenho dos isoladores do Sistema FURNAS é feito através das inspeções periódicas.

Nas décadas de 70 e 80 as inspeções apresentavam periodicidades bem definidas para todas as linhas (terrestre/anual e aérea/semestral).

Na última década, seguindo a tendência internacional, as linhas foram classificadas em grupos e cada um apresentando periodicidade própria.

2.1 – Taxa de Falha de Isoladores de Vidro

O método adotado internacionalmente para acompanhamento do desempenho de isoladores de vidro é o de verificar a taxa de falha (quantidade de isoladores quebrados em lotes de 10000 unidades).

A Tabela 1, em anexo, apresenta a quantidade de isoladores de vidro quebrados, no sistema FURNAS, bem como a taxa de falha, separado por ano e por classe de tensão.

Da tabela observa-se que:

- Na tensão de +/- 600kV, os três primeiros anos de operação apresentaram taxas bem elevadas (acima de 13). A partir de 1988 os valores foram reduzindo e atualmente a média situa-se em torno de 1.
- Comparando-se os sistemas de corrente contínua (600 kV) e corrente alternada (750 kV), já que ambos atravessam a mesma região, e portanto

submetidos as mesmas condições climáticas, a ordem de grandeza da taxa de falha atual é a mesma.

- Não se identificou qualquer influência da tensão de operação na taxa de falha.
- Não se identificou, até o momento, qualquer influência do tempo de operação na taxa de falha.

2.2 – Cadeias Queimadas

Os desligamentos em linhas de transmissão, causados por descargas atmosféricas ou poluição tem, como consequência, a queima da cadeia de isoladores.

Desta forma o acompanhamento das cadeias queimadas permite, de uma forma indireta, a avaliação do desempenho operativo das linhas.

A tabela 2, em anexo, apresenta o número de cadeias queimadas no Sistema FURNAS, por ano e por classe de tensão, bem como a taxa de falha calculada por 100 km.

Da tabela observa-se que:

- A taxa de falha, para os sistemas de corrente alternada entre 138 e 500 kV, não apresentam variações significativas em relação a classe tensão.
- A classe de tensão de 750 kV apresentou taxas bem inferiores quando comparado com as demais classes de tensão.
- A classe de tensão de 600 kV de corrente contínua não registrou cadeias queimadas .
- Não se identificou qualquer relação entre queima de cadeia e cadeias com unidades quebradas.

Do total de isoladores instalados atualmente no Sistema FURNAS, aproximadamente 1.100.00 são isoladores de porcelana.

Estes isoladores quando submetidos a arcos de potência podem apresentar perfuração interna invisíveis à inspeção convencional.

Desta forma, antes da substituição das cadeias de porcelana queimadas, as mesmas são ensaiadas para verificar a existência de unidades perfuradas e assim permitir a realização de manutenção com as instalações energizadas, sem riscos ao Sistema de Transmissão.

A experiência tem mostrado que nos últimos 20 anos não foram detetados isoladores de porcelana perfurados.

Para os isoladores de vidro não há necessidade da realização desse ensaio já que este tipo de isolador não apresenta problema de perfuração interna.

2.2.1- Avaliação do Nível de Poluição

Paralelamente ao acompanhamento de cadeias queimadas é verificado se a causa do desligamento é o depósito de poluentes na superfície dos isoladores., através da medição do ESDD.

O objetivo da medição dos níveis de poluição é mapear as áreas do Sistema de Transmissão, sujeitas a esta condição ambiental, para avaliar o tipo de manutenção adequado.

2.2.2 - Desempenho de Cadeias Queimadas

Ensaio realizados no CEPEL, comparando o desempenho de cadeias de vidro e porcelana queimadas, retiradas de operação, com cadeias similares em bom estado mostrou que tanto para tensão de operação normal, quanto surtos de manobra ou atmosféricos, os resultados foram praticamente os mesmos, indicando claramente que, quanto a este aspecto, os isoladores queimados podem permanecer em operação.

2.2.3 – Corrosão nas Ferragens dos Isoladores

A queda de cabo condutor em linha de 138 kV , devido a corrosão no pino do isolador, conduziu à necessidade de identificar as causas da ocorrência bem como as medidas preventivas e corretivas necessárias para evitar a repetição do problema.

Inspeções específicas em todas as linhas, para detetar o problema, mostraram duas situações de isoladores com corrosão do pino:

- ao longo de toda a cadeia, e
- na extremidade próxima aos condutores.

A solução adotada é a substituição das unidades que apresentem os pinos “desfolhando”, pois neste estágio já ocorreu perda de material que pode comprometer mecanicamente, por isoladores com luva de zinco no pino.

2.4 – Isoladores Poliméricos

Os isoladores poliméricos são compostos basicamente por um bastão de fibra de vidro e aletas que podem ser de silicone ou EPDM, dependendo do fabricante.

2.4.1 - Inspeção e Ensaios

Para acompanhamento do desempenho, são realizadas :

- inspeções visuais (diurna e noturna),
- ensaios de hidrofobicidade (repelência) ,
- medições de corrente de fuga e
- medições de temperatura.

2.4.2 - Inspeção Visual - Diurna

Neste tipo de inspeção são observados:

- estado geral do isolador,
 - perda de coloração,
 - nível de poluição,
 - erosão superficial,
 - trincas,
 - manchas brancas e
 - marca de queimado
- e preenchida uma folha de registro de inspeção,

2.4.3 - Inspeção Visual - Noturna

Neste tipo de inspeção é observado a existência de atividades elétricas (Efeito Corona e Descargas Parciais) nas aletas ao longo de todo o isolador e principalmente próximas às extremidades (cabos condutores e estrutura), onde normalmente ocorre este tipo de fenômeno.

2.4.4 - Ensaio de Hidrofobicidade

O ensaio de hidrofobicidade é realizado para avaliar o comportamento da superfície isolante quanto à repelência a água.

O seguinte procedimento é adotado para realização deste ensaio:

- pulverizar água, durante 30 segundos, sobre a superfície do isolador.
- observar as gotas durante e após o processo de pulverização.
- classificar a hidrofobicidade conforme critério a seguir:
- classe 1 – a maioria das gotículas na superfície apresentam ângulo de contato de aproximadamente 80° ou mais.
- classe 2 – somente discretas gotículas são formadas e o ângulo de contato para maioria das gotas fica entre 50° e 80° .

- classe 3 – somente discretas gotículas são formadas e o ângulo de contato para maioria das gotas fica entre 20° e 50° . Normalmente as gotas não são completamente circulares.

- classe 4 – São observadas discretas gotas e traços molhados (ângulo de 0°). Áreas molhadas inferiores a 2 cm^2 , cobrindo menos de 90% da área ensaiada.
- classe 5 - as gotas apresentam áreas superiores a 2 cm^2 , cobrindo menos de 90% da área ensaiada.
- classe 6 - a superfície apresenta uma área molhada superior a 90%, isto é, ainda são observadas pequena áreas secas.
- classe 7 - a superfície apresenta uma área molhada de 100% .

2.4.5 - Medição da Corrente de Fuga

A medição da corrente de fuga, através do isolador, é realizada conectando um microamperímetro ligado diretamente a última saia do isolante, de tal forma que a corrente seja obrigada a passar pelo instrumento.

A Figura 1 a seguir apresenta o croqui para execução do ensaio.

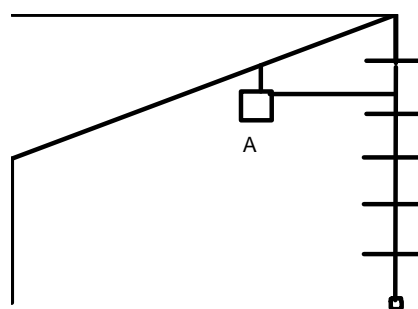


FIGURA 1 - Medição de Corrente de Fuga

2.4.6 – Resultados das Inspeções e Ensaios

As inspeções realizadas até o momento tem indicado que, de um modo geral, o desempenho deste tipo de isolador tem sido bastante satisfatório.

Estão apresentadas a seguir as principais anormalidades encontradas durante as inspeções:

- manchas de queimado, nas aletas próximas aos condutores, em unidades de 138 kV.
- manchas esbranquiçadas, ao longo de todo o isolador, em unidades de 138 kV.
- atividades elétricas, na extremidade próxima ao condutor, em unidade de 750kV.

- medição com termovisor, na unidade de 750 kV indicou uma temperatura de 37⁰ C na extremidade com descargas parciais, enquanto no meio da cadeia a temperatura era de 28⁰ C.

- a unidade de 500 kV apresentou-se após 6 anos sem perda de coloração.

- a poluição normalmente é mais intensa na extremidade próxima ao condutor. Porém é removida facilmente com pano úmido.

- detetada fissura na 2^a. aleta, próxima ao condutor, em unidade de 750 kV, levando a sua substituição.

- não foram observadas atividades elétricas em unidades instaladas em linha de 500 kV de corrente alternada e 600 kV corrente contínua que não possuem anel anti-corona .

3.0 - FALHA PERMANENTE NA LT CAUSADA POR ISOLADOR

O acompanhamento do desempenho das linhas de transmissão, quanto a falhas permanentes, no período 90 a 97 mostrou que 20% são causadas pelos isoladores, conforme pode ser observado na Tabela 3 a seguir.

TABELA 3 – Falha Permanente em LT

CAUSA	TOTAL	PORCENTAGEM (%)
Árvore	7	11
Condutor	7	11
P.Raios	8	12
Vento	26	40
Isoladores	12	20
Erosão	2	3
Balão	2	3

Os desligamentos permanentes cuja causa foram os isoladores incluem:

- vandalismo
- poluição
- corrosão

4.0 - CUSTOS DE MANUTENÇÃO

A seguir, a Tabela 4 apresenta os custos, em reais, para substituição de cadeias de isoladores com as instalações energizadas e desenergizada, por classe de tensão.

TABELA 4 – Custo para Substituição de Isoladores

TENSÃO	CUSTO (R\$)			
	DESENERG		ENERG	
	SUSP	ANC	SUSP	ANC
138 kV	125	300	150	300

230 kV	300	450	260	900
345 kV	400	600	300	900
500 kV	400	600	400	1125
750 kV	400	600	400	1125
600 kV	400	600	400	1125

5.0 – CRITÉRIOS DE MANUTENÇÃO

Nas décadas de 70 e 80 FURNAS adotava o critério de substituir todos os isoladores quebrados ou queimados no prazo máximo de 4 semanas, contadas a partir da inspeção que detetou o problema. Este critério evoluiu para a substituição de isoladores quebrados de 1 a 3 no prazo máximo de 13 semanas, e cadeias com mais de 3 quebrados em uma semana.

Este critério, no entanto, poderia ser alterado significativamente caso fosse levado em consideração o desempenho dos isoladores quebrados e queimados, conforme descrito a seguir:

- isoladores de vidro queimados só são substituídos quando instalados em regiões poluídas, caso contrário podem permanecer em operação.
- isoladores de porcelana queimados são substituídos num prazo de 12 semanas.
- cadeias queimadas com danos nas ferragens devem ser substituídas.
- caso a cadeia de isoladores de vidro apresente 1(um) ou 2(duas) unidades quebradas os mesmos não são substituído, a menos que estejam em áreas sujeitas a poluição.
- Caso a cadeia de isoladores de vidro apresente 3(três) unidades quebradas deve ser substituída por isolador polimérico, já que o acompanhamento mostrou que, estatisticamente, não existe a possibilidade de quebra expontânea de 3(três) unidades na mesma cadeia, sendo portanto mais viável que a causa da quebra seja por vandalismo.

Do ponto de vista da manutenção não é recomendável a utilização de isoladores poliméricos em toda a extensão da linha já que ainda não temos experiência da sua vida útil.

6.0- CONCLUSÕES

O acompanhamento do desempenho de isoladores, conforme realizado no Sistema de Transmissão de FURNAS ao longo das últimas décadas, permite que seja modificado substancialmente os critérios de substituição de isoladores, sem qualquer risco de desligamento.

FURNAS está analisando a adoção de alterações no critério existente, em função do estudo apresentado.

7.0 - BIBLIOGRAFIA

- 7.1 - Corrosão em pino de Isoladores de Linhas em Corrente Alternada –1989 – L A. Assunção
- 7.2- Isoladores Poliméricos Envelhecido Naturalmente I SEMASE -1996 - A I .Nigri
- 7.3- Desempenho de Isoladores +/- 600 kV - SNTPEE – 1988 – A.I.Nigri

TABELA 1- QUANTIDADE DE ISOLADORES DE VIDRO QUEBRADOS E TAXA DE FALHA

TENSÃO	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	TOTAL	
138	Queb	18	24	13	33	12	13	54	75	41	80	7	7	2	4	1	6	390
	Taxa	1,27	1,69	0,92	2,32	0,85	0,92	3,80	5,17	2,83	5,52	0,48	0,48	0,14	0,28	0,07	0,41	1,7
230	Queb	78	66	42	86	42	54	35	92	12	58	41	5	48	2	38	24	723
	Taxa	8,35	7,07	4,5	9,25	3,49	3,22	2,10	5,51	0,71	3,45	2,12	0,26	2,17	0,08	1,54	0,98	2,7
345	Queb	397	295	231	203	200	114	216	408	99	74	89	64	103	46	42	38	2619
	Taxa	7,27	5,40	3,76	3,31	3,26	1,86	3,21	6,06	1,35	1,01	1,21	0,87	1,41	0,63	0,57	0,44	2,4
500	Queb	174	22	74	24	30	48	251	213	15	43	11	14	9	14	3	97	1042
	Taxa	9,76	1,09	3,52	1,14	1,43	2,28	9,20	6,51	0,46	1,31	0,34	0,43	0,28	0,43	0,09	3,55	2,4
600	Queb	-	-	-	240	235	175	91	89	33	19	11	9	15	5	3	86	1011
	Taxa	-	-	-	17,9	17,5	13,1	3,24	3,16	1,17	0,68	0,39	0,32	0,53	0,18	0,11	3,06	3,1
750	Queb	8	63	51	34	57	76	50	93	58	29	50	21	18	12	33	211	864
	Taxa	0,27	2,16	1,75	1,16	1,95	1,68	1,11	1,25	0,78	0,39	0,67	0,28	0,24	0,16	0,44	2,84	0,9
TOTAL	Queb	675	470	411	620	576	480	697	970	258	303	209	120	195	83	120	462	6649
	Taxa	5,4	3,5	3,0	4,2	3,8	2,8	3,5	4,1	1,1	1,3	0,9	0,5	0,8	0,3	0,5	1,9	2,0

TABELA 2 - QUANTIDADE DE CADEIAS QUEIMADAS E TAXA DE FALHA POR 100 KM

TENSÃO	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	TOTAL	
138	Quei	10	20	12	7	13	13	6	21	8	4	42	7	1	1	1	-	166
	Taxa	0,47	1,07	0,64	0,37	0,67	0,62	0,29	1,0	0,38	0,19	1,96	0,33	0,05	0,05	0,05	-	-
230	Quei	1	-	4	2	6	2	-	6	1	8	6	2	6	-	4	1	49
	Taxa	0,2	-	0,52	0,26	0,53	0,15	-	0,44	0,07	0,58	0,38	0,13	0,33	-	0,21	0,05	-
345	Quei	25	22	16	18	14	18	15	8	8	4	19	14	15	19	5	3	223
	Taxa	0,5	0,43	0,31	0,35	0,27	0,35	0,28	0,15	0,15	0,07	0,35	0,26	0,28	0,35	0,09	0,06	-
500	Quei	13	14	5	11	18	4	5	14	5	3	5	6	2	13	-	5	123
	Taxa	0,6	0,62	0,22	0,49	0,8	0,18	0,21	0,55	0,2	0,12	0,19	0,23	0,08	0,5	-	0,19	-
600	Quei	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Taxa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
750	Quei	-	-	-	-	1	-	-	1	-	1	-	-	-	1	-	-	4
	Taxa	-	-	-	-	0,11	-	-	0,06	-	0,06	-	-	-	0,06	-	-	-
TOTAL	Quei	49	56	37	38	52	37	26	50	22	20	72	29	24	34	10	9	-
	Taxa	0,47	0,53	0,35	0,33	0,43	0,28	0,19	0,34	0,15	0,13	0,48	0,19	0,16	0,22	0,06	0,06	-