



**XXI SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO -III

GRUPO DE ESTUDOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO -GLT

**DEJETOS DE AVES: SEUS EFEITOS NO COMPORTAMENTO DE ISOLADORES
DE LINHAS DE TRANSMISSÃO**

R. W. S. Garcia (*)	T. B. Rodrigues	V. H. G. de Andrade	D. R. de Mello	Murilo M. Nogueira
CEPEL	CEPEL	CEPEL	CEPEL	PLENA TRANSMISSORAS

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados da pesquisa sobre o efeito de dejetos de curicaca em isoladores de linhas de transmissão. São mostrados os resultados dos ensaios de medição do nível de poluição, dos ensaios físico-químicos, de determinação da máxima tensão suportável e da verificação da suportabilidade elétrica da cadeia poluída naturalmente. Os ensaios confirmaram que os dejetos nos isoladores não são a causa direta dos desligamentos temporários registrados. Pela associação das características físico-químicas do material com as condições ambientais e climáticas da região onde se localizam as LTs, o efeito de corrosão das partes metálicas em contato com os dejetos é pouco provável.

PALAVRAS-CHAVE

Corrosão; Dejetos de Curicaca; Grau de Poluição; Linhas de Transmissão; Suportabilidade Elétrica

1.0 - INTRODUÇÃO

Diversas empresas concessionárias do serviço de transmissão de energia elétrica têm experimentado desligamentos transitórios de suas linhas de transmissão (LTs) em que a presença de aves nas estruturas de suporte tem sido identificada como a origem desse problema [1].

Soma-se a isso o fato de a legislação ambiental impedir ações que coloquem em risco a vida de aves ou quaisquer outros animais que façam uso das estruturas, quer no processo de nidificação quer no seu uso simplesmente como apoio para passar a noite.

Isso tem levado as empresas a empregar soluções cujo processo de convivência mantenha o nível de confiabilidade dos sistemas ao mesmo tempo em que não interfira no dia-a-dia das aves. A utilização de dispositivos antipouso tem se mostrado eficiente na redução ou quase eliminação dos desligamentos originários da presença de aves [2, 3], já que impede que o jato de seu excremento passe próximo das cadeias de isoladores e dos condutores, evitando o curto-circuito.

As curicacas - *Theristicus Caudatus* - aves pertencentes à ordem *Threskiornithidae*, da subfamília *Threskiornithinae*, que se caracteriza por seus representantes possuírem um bico longo, estreito e curvo (ver Figura 1) são identificadas como as principais responsáveis por este tipo de problema nas LTs no Brasil. Elas povoam a região do cerrado e são consideradas de grande porte.

2.0 - MOTIVAÇÃO

A empresa Cachoeira Paulista Transmissora de Energia – CPTE, pertencente ao Grupo PLEN Transmissoras, julgou necessário proceder estudos para avaliar os efeitos da presença de dejetos de curicaca sobre os isoladores das LTs de 500 kV Samambaia - Emborcação e Samambaia – Itumbiara, onde foi identificado o problema de desligamentos temporários.

Em configurações de cadeia em “V”, que é o arranjo predominante na fase central onde o problema é mais crítico, os isoladores ficam sujeitos a ter dejetos em sua superfície superior, o que pode aumentar significativamente o risco de uma descarga elétrica, na presença de umidade.



FIGURA 1 - Curicaca

No âmbito do Programa de P&D da ANEEL, foi solicitada ao CEPEL uma proposta de trabalho de pesquisa, visando investigar estas condições. O programa apresentado pelo CEPEL contemplou as seguintes metas:

- identificar as características físico-químicas do material acumulado sobre os isoladores;
- avaliar sua corrosividade nos elementos metálicos sobre os quais é depositado;
- quantificar, em termos equivalentes, o nível de poluição dos dejetos depositados sobre os isoladores;
- determinar a suportabilidade elétrica da cadeia de isoladores da fase central poluída artificialmente com nível de poluição equivalente; e
- verificar a suportabilidade elétrica da cadeia de isoladores da fase central retirada do campo coberta com dejetos.

3.0 - ENSAIOS REALIZADOS

Para possibilitar estas avaliações através dos ensaios propostos, foram encaminhados ao CEPEL 30 isoladores retirados do campo, que tinham a presença de dejetos de curicaca sobre suas superfícies. Estes isoladores foram retirados de uma estrutura onde já havia sido instalado um dispositivo antipouso. Os processos de embalagem e envio mantiveram o material sobre os isoladores, não afetando os resultados dos ensaios. Na Figura 2 pode ser visto o aspecto dos isoladores poluídos com dejetos de curicaca, retirados da linha, já no CEPEL.



FIGURA 2 - Isoladores poluídos com dejetos de curicaca

Quatro unidades foram separadas para a medição do nível de poluição equivalente e para as análises físico-químicas. Vinte e quatro isoladores foram escolhidos para compor a cadeia para teste de verificação da suportabilidade elétrica.

3.1 Medição do nível de poluição equivalente

A medição do nível de poluição equivalente é feita segundo procedimento indicado na Norma NBR 10621 [4]:

- Devem-se separar as duas regiões do isolador indicadas pelas partes do topo e do fundo da superfície isolante, conforme mostrado na Figura 3 abaixo. O material contido em cada uma delas deve ser retirado com o auxílio de utensílios que permitam recolhê-lo em uma determinada quantidade de água de baixa condutividade (normalmente água desmineralizada).

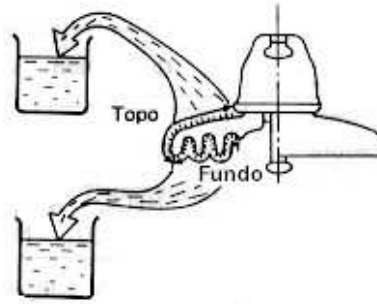


FIGURA 3 - Procedimento de limpeza do isolador

- A partir da solução resultante da limpeza de cada parte, mede-se a condutividade volumétrica e, utilizando-se a expressão

$$S_a = (5,7 \sigma_{20})^{1,03}$$

onde σ_{20} é a condutividade volumétrica corrigida para 20 °C, em S/m, calcula-se a salinidade correspondente, expressa em kg/m³ ou no equivalente g/l.

- Relaciona-se este valor a um parâmetro chamado de DDSE (Densidade de Depósito de Sal Equivalente), em mg/cm², pela expressão:

$$DDSE = \frac{S_a \times V}{A}$$

sendo V o volume da solução, em ml, e A a área, em cm², correspondente à parte do isolador da qual foi retirado o material depositado.

Este parâmetro representa a severidade de poluição existente no local e serve como base para permitir a realização de ensaios com isoladores poluídos artificialmente, com o mesmo nível de poluição presente nos isoladores retirados do campo.

Para possibilitar uma avaliação consistente do dejetos depositado sobre os isoladores, o primeiro passo foi escolher, dentre os isoladores encaminhados, aqueles com aspecto característico do processo de deposição dos dejetos.

Identificou-se que aproximadamente ¼ da área da superfície superior do isolante estava coberto com o material fecal, devido à posição inclinada dos isoladores que compõem a cadeia em “V” da fase central. A parte do fundo praticamente não apresentava sinais de depósito de material desta natureza.

Desta forma, a Tabela 1 abaixo apresenta os resultados das medições de DDSE dos isoladores escolhidos, conforme apresentados em [5].

TABELA 1 - Resultados das medições de DDSE

Amostras	Valores da DDSE no topo (mg/cm ²)	Classe da severidade de poluição [6]
Isolador 1	0,033	leve
Isolador 2	0,240	pesada
Isolador 3	0,169	pesada
Isolador 4	0,122	média

Para reproduzir no laboratório as características naturais, foi calculado o valor médio dos resultados acima e feita uma solução utilizando sal e caolim, conforme indicado na Norma NBR 10621 [4], para permitir a realização dos ensaios elétricos de determinação da suportabilidade frente à poluição. O valor médio calculado foi de 0,14 mg/cm², classificado como de severidade média [6].

3.2 Avaliação das características físico-químicas do dejetos

O material submetido às avaliações físico-químicas foi o mesmo utilizado para a medição da DDSE, separado nas quatro amostras.

Os ensaios realizados visaram identificar o pH das soluções, sua condutividade, a quantidade de resíduos correspondentes ao material coletado e o material equivalente aos elementos metálicos e semimetálicos, quantificados relativamente, após a volatilização do resíduo.

Os resultados, retirados de [7], estão apresentados na Tabela 2.

Verifica-se pelos valores de pH que o material é praticamente de característica neutra com leve tendência à alcalinidade.

É significativa a condutividade da solução, ou seja, na presença de água, o material dissolvido pode formar uma camada bastante condutiva. Este parâmetro tem papel importante no comportamento elétrico dos isoladores sob poluição e também na avaliação da corrosividade do material.

TABELA 2 - Resultados das análises físico-químicas

Amostras	Volume (l)	Temp. θ (°C)	pH	σ_{θ} (S/m)	Resíduo após evaporação (g/l)	Matéria volátil a 600 °C do resíduo (%)
Isolador 1	0,191	22,8	7,5	$9,0 \times 10^{-2}$	0,4	68,2
Isolador 2	0,171	22,8	8,5	$9,4 \times 10^{-1}$	11,9	67,9
Isolador 3	0,191	22,8	7,9	$5,4 \times 10^{-1}$	1,7	56,9
Isolador 4	0,193	22,9	7,5	$5,7 \times 10^{-1}$	3,9	68,2

A quantidade de material classificado como resíduo corresponde ao total coletado, após a retirada por completo da água por processo de evaporação a 100 °C, indicando que há uma variação significativa de um isolador para outro, efeito é claramente visível ao se observar os isoladores retirados de campo.

Deste resultado não se pode identificar, a priori, a quantidade de material inerte presente no dejetto, cujo processo de avaliação seria por filtragem. Contudo, neste caso, esta informação não compromete a avaliação, pois a base da poluição tem somente uma origem.

Na avaliação do material resultante da volatilização do resíduo, o que se observa é que a maior parte é formada de material orgânico, pois o que resta é da ordem de 30% do dejetto presente inicialmente nos isoladores. Esse resultado caracteriza a constituição da dieta alimentar das curicacas.

Este material resultante foi analisado qualitativamente por dispersão de energia no microscópio eletrônico de varredura (MEV) tendo apresentado os resultados, retirados de [7], identificados por amostra, na Tabela 3 a seguir, onde aparecem ressaltados os três elementos que apresentaram maior quantidade por amostra.

TABELA 3 - Resultados da quantidade de elementos metálicos e semi-metálicos

Elemento	Valor percentual por elemento nas amostras			
	Isolador 1	Isolador 2	Isolador 3	Isolador 4
Al	10,64	13,04	8,41	14,73
Si	20,08	10,99	9,01	16,69
P	6,11	8,04	6,85	5,87
S	2,59	2,81	1,27	1,63
Cl	-	0,41	3,47	0,84
K	10,65	7,46	20,56	11,52
Ca	14,72	21,99	8,82	11,63
Ti	1,68	1,64	1,94	2,08
Fe	24,88	31,21	32,63	31,46
Zn	8,66	2,41	7,02	3,56
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00

Pelos resultados obtidos, verifica-se que o Ferro é aquele que aparece em maior quantidade percentual entre os analisados. Pode estar associado aos hábitos alimentares da curicaca e ao fato de ela procurar parte de sua comida escavando o solo com o bico. Esta última observação pode justificar a presença do Silício. Contudo, como existe também o Zinco, o valor expressivo de Ferro poderia estar associado a processo de corrosão de partes metálicas dos isoladores que ficam em contato com as fezes da curicaca.

A partir das fotos dos isoladores de cujas superfícies foram retirados os materiais para análise físico-química, mostradas na Figura 4 abaixo, pode-se verificar que é insignificante a presença de sinais de corrosão na campânula. O valor associado ao Zinco pode até ser justificado mas a origem do Ferro nas fezes analisadas

precisa ser identificada a partir de estudos com outras amostras retiradas de locais onde comprovadamente não há presença de materiais metálicos.

Uma análise mais detalhada de seu hábito alimentar possibilitaria verificar a presença dos outros materiais, em especial o Alumínio.



FIGURA 4 - Isoladores de onde foram retirados os dejetos para análise físico-química

3.3 Avaliação do efeito corrosivo do dejetos

Para a verificação do efeito corrosivo dos dejetos da curicaca sobre os perfis de aço zincado a quente (aço galvanizado), que normalmente compõem as estruturas das LTs, e de ferro fundido galvanizado, que formam as campânulas, a avaliação das propriedades físico-químicas representadas pelo pH e pela condutividade elétrica da solução aquosa analisada é primordial. Além deles, outros fatores de origem ambiental são importantes no contexto do problema: o tipo da atmosfera e a característica climática da região.

A Figura 5 apresenta o diagrama de Pourbaix do Zinco [8] indicando os valores de potencial elétrico que caracterizam as possíveis reações químicas em função do pH da solução aquosa. A faixa de valores de pH da solução aquosa aproximadamente entre 8 e 12 representa a região de passividade, que indica efeito de corrosão desprezível, na prática. Pelos valores de pH apresentados na Tabela 2, entre 7,5 e 8,5, verifica-se que estão próximos daquela região.

Adicionalmente, os valores encontrados para a condutividade elétrica são altos para efeito de corrosividade, isto é, propiciam a condutividade iônica favorecendo a cinética da corrosão.

Em relação ao ambiente, como as LTs estão na região Centro-Oeste do Brasil, portanto longe da região marinha e da zona industrial, a atmosfera pode ser classificada como tipicamente rural, isto é, sem poluentes como cloreto e sulfato, nocivos ao Zinco. Portanto, é uma atmosfera inócua ao Zinco.

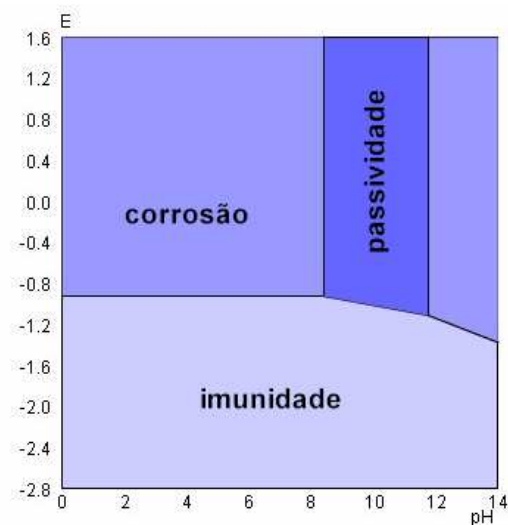


FIGURA 5 - Diagrama de Pourbaix do Zinco [8]

Sob o ponto de vista climático, a região apresenta umidade relativa baixa, nível de insolação significativo, o que implica que o dejetado depositado nas partes metálicas não permanece úmido por muito tempo. Além disso, o efeito de lavagem natural produzida pelas chuvas minimiza a permanência do material por longos períodos

3.4 Determinação da suportabilidade elétrica da cadeia de isoladores

Como indicado em [1], o comportamento de cadeias de isoladores quanto à suportabilidade elétrica tem uma linearidade expressiva dentro dos comprimentos de cadeia comumente utilizados nas LTs.

Desta forma, os ensaios foram propostos para serem realizados em cadeias mais curtas, mantendo a mesma inclinação da cadeia original, no sentido de facilitar a determinação dos valores suportáveis, considerando os limites do transformador do laboratório do CEPEL, que é de 600 kV de tensão fase-terra.

Assim sendo, estabeleceu-se que os ensaios de determinação da máxima tensão suportável seriam feitos com cadeias de 6, 10 e 14 unidades poluídas artificialmente com o valor de DDS de $0,14 \text{ mg/cm}^2$, que representa uma severidade de poluição classificada como média, estando as demais unidades da perna da cadeia de 25 isoladores sob ensaio curto-circuitadas.

Os isoladores foram poluídos por mergulho numa solução aquosa com 40g/l de caolim e quantidade de sal que produzisse o valor de DDS estabelecido, conforme indicado em [4]. Após secar em estufa, os isoladores eram deixados resfriar à temperatura ambiente.

Pelo fato de o fundo dos isoladores avaliados na medição da DDSE apresentar valores bem inferiores aos medidos no topo, esta parte foi grosseiramente limpa após a secagem da poluição artificial, para retirada do material.

O procedimento de ensaio estabelecido na NBR 10621 [4] indica que o valor da máxima tensão suportável é determinado quando:

- houver no mínimo 3 aplicações em 4 sem que haja descarga completa neste nível de tensão, com tempo de aplicação de 1 hora cada; e
- o nível imediatamente acima, com 10% a mais do seu valor, considerando a aplicação inicial como referência, apresentar como resultado pelo menos 2 aplicações em 4 com descarga completa.

A Tabela 4 mostra o resultado dos ensaios para os três tamanhos de cadeia considerados, como mostrados em [9].

TABELA 4 - Resultados da determinação da tensão máxima suportável frente à poluição

Cadeia sob ensaio	Máxima tensão suportável (kV)
6 isoladores	120
10 isoladores	220
14 isoladores	330

Com base nestes resultados e na linearidade característica já comentada, pôde-se determinar a máxima tensão suportável para a cadeia com 24 isoladores, que é utilizada nas LTs em questão, para o nível de poluição considerado.

A Figura 6 apresenta o gráfico utilizado para esta determinação, a partir da extrapolação da linha de tendência obtida dos resultados de laboratório.

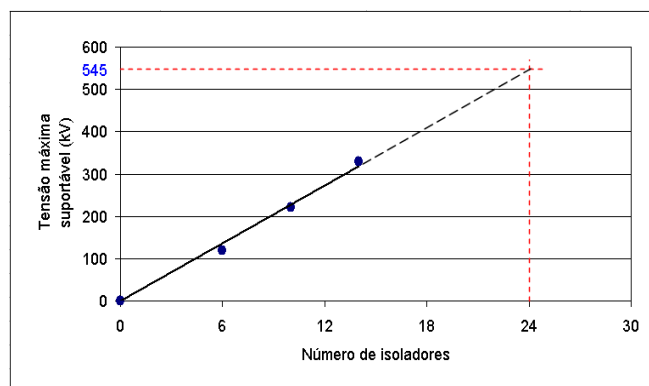


FIGURA 6 - Caracterização da linearidade da tensão máxima suportável

O valor obtido é aproximadamente 80% superior à máxima tensão fase-terra da LT, nas condições de poluição consideradas.

3.5 Verificação da suportabilidade elétrica da cadeia de isoladores poluída naturalmente

Com base na determinação do valor de tensão máxima suportável para 24 isoladores foi realizado o ensaio de verificação da suportabilidade da cadeia poluída naturalmente, com aplicação da tensão de 545 kV.

Foi montada no laboratório a cadeia poluída com o dejetos das curicacas, considerando a presença do dispositivo antipouso, situação existente no campo. Com informações que seu comprimento abrange até 18 unidades a partir do isolador próximo ao condutor de fase, os isoladores que apresentavam maior quantidade de dejetos foram posicionados mais próximos ao lado da estrutura, que fica desprotegido. Além deste aspecto, procurou-se colocar os isoladores de modo a representar a situação real com o lado com maior concentração de dejetos para cima. A Figura 7 mostra o arranjo montado no laboratório, onde a cadeia da esquerda é a poluída naturalmente. O vigésimo quinto isolador, posicionado no lado da estrutura, serviu apenas para facilitar a montagem, estando curtocircuitado durante o ensaio.

Foi feita uma aplicação de tensão de 545 kV, por um período de 1 hora. O resultado obtido neste ensaio foi de suportabilidade com muito pouca atividade superficial, mostrando coerência com o valor determinado para a cadeia com 24 isoladores e indicando que o valor na realidade pode vir a ser até maior que o calculado. O resultado consta da referência [10].

Como o processo de umidificação do ensaio retirou da superfície dos isoladores parte do material depositado, não foi possível fazer outras aplicações de tensão na mesma cadeia.

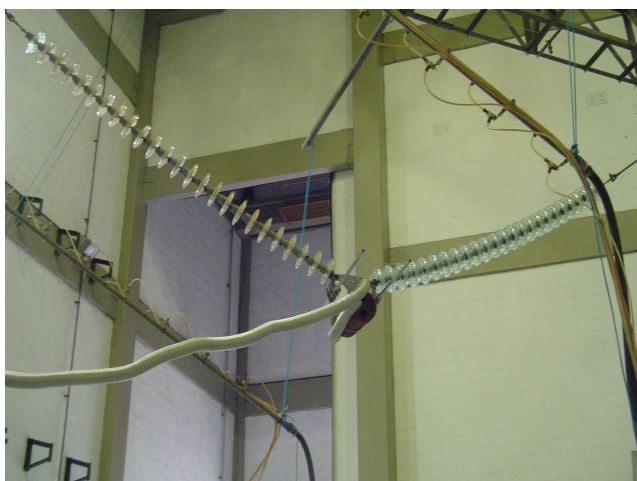


FIGURA 7 - Arranjo com cadeia de 24 isoladores poluídos naturalmente

4.0 - CONCLUSÕES

O que se verifica desta pesquisa é que a presença de dejetos de curicaca sobre a superfície dos isoladores da fase central das LTs em questão não é suficiente para provocar desligamentos temporários, considerando que dispositivos antipouso já estão instalados.

A presença de dejetos na superfície dos isoladores, conjugada com as condições ambientais e climáticas presentes na região considerada, também não implica, por si só, em riscos de desligamentos temporários.

As características físico-químicas do material analisado indicam que, embora bastante condutivo e estando o pH das soluções aquosas próximo do limite inferior da região de passividade do Zinco, presente no galvanizado das partes metálicas, e considerando as características ambientais e climáticas existentes na região, é pouco provável que o dejetos da curicaca seja corrosivo às partes metálicas que estão diretamente em contato com ele. Todavia, a presença expressiva de ferro nas amostras analisadas implica na necessidade de uma avaliação mais detalhada, a partir de material retirado de locais que não sejam metálicos, para identificação de sua origem.

Pesquisas adicionais podem ser feitas no sentido de verificar o tamanho máximo necessário para os dispositivos antipouso, de modo a garantir que o risco de desligamentos temporários por jato de excremento seja compatível com os definidos no projeto da linha.

5.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Eng. Armando I. Nigri, da LTS CONSULTORIA E SERVIÇOS, pela participação no desenvolvimento do projeto, aos técnicos do laboratório AT3 do CEPEL, Jorge Ribeiro de Mendonça, Fernando Dias da Silva e Marcio Ferreira da Costa e Silva, e ao auxiliar técnico Carlos Alberto Fontes, pela execução dos

ensaios elétricos, ao químico Luiz Alberto Ferreira da Silva, pelas análises físico-químicas realizadas, e ao pesquisador Mauro Zanini Sebrão, pelo subsídio na análise sobre o processo de corrosão.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Garcia, R. W. S., Rodrigues, T. B., Andrade, V. H. G.; “Dejetos de Aves: Seus Efeitos no Comportamento Elétrico de Linhas de Transmissão”, Relatório Técnico CEPEL no. DIE 44960/06, 2006
- [2] Andrade, A. D., Resende, D. B., Soares, E. R., Lima, J. C. M., Oliveira, M. G., Santos, O. L., Araújo, P. S. L., Markiewicz, R. L., Faria, T. G. A., “Influência do Comportamento de Pássaros no Desempenho de Linhas de Transmissão”, Artigo GLT 26, XVIII SNTPEE, 2005
- [3] Silva, C. P., Silva, M. O., Nogueira, M. M., Santos, O. P., Carvalho, S. P.; “Desligamentos em LTs 500 kV Causados por Aves Curicacas: Identificação, Testes e Solução”, XII ERIAC, 2007
- [4] NBR 10621, “Isoladores: Ensaio sob poluição artificial - Método de ensaio”, 1995
- [5] Mello, D. R., “Ensaio em isoladores disco naturalmente poluídos”, Relatório de Ensaio CEPEL no. DVLA 22275/07-C, 2007
- [6] IEC 60815-1, “Selection and dimensioning of high-voltage insulators for polluted conditions - Part 1: Definitions, information and general principles”, 2009
- [7] Silva, L. A. F., “Identificações de poluentes em águas de lavagem de isoladores de vidro poluídos com dejetos de curicaca”, Relatório de Ensaio CEPEL no. DVLF-23806/7-C, 2007
- [8] <http://aluminium.matter.org.uk/content/html/eng/default.asp?catid=178&pageid=2144416648>, acesso em 27 de junho de 2007, às 10:21 horas
- [9] Mello, D. R., “Ensaio cadeia de isoladores para 500 kV”, Relatório de Ensaio CEPEL no. DVLA 22277/07-C, 2007
- [10] Mello, D. R., “Ensaio cadeia de isoladores para 500 kV”, Relatório de Ensaio CEPEL no. DVLA 22278/07-C, 2007