



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

GLT 14  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

### **GRUPO III**

#### **GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO – GLT**

#### **REFORMA DA LINHA DE TRANSMISSÃO 230 kV BANDEIRANTES – BRASÍLIA GERAL**

**Afonso de Oliveira e Silva \*      Víctor Hugo Góes Ricco  
FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.**

**Nelson Henrique Costa Santiago      Roberto Luís Santos Nogueira      Rodrigo Noel  
FLUXO ENGENHARIA Ltda.**

**Ivo Cavalcante      Paulo Sérgio Pinto Borges  
PLP**

### **RESUMO**

A linha de transmissão em 230 kV Bandeirantes – Brasília Geral foi construída em 1959/1960, tendo sido transferida à FURNAS em 1971. Atualmente, FURNAS não dispõe de nenhum documento de projeto e de construção da mesma. Esta LT vinha operando com pouca carga e, mesmo assim, apresentava diversos vãos com cabo baixo, que eram corrigidos, caso a caso, pelas equipes de manutenção de FURNAS. Foi definido que esta LT iria alimentar a SE Pirineus o que ocasionaria o aumento da carga e o agravamento do problema de cabo baixo. Tal fato acarretou a necessidade de realizar uma reforma em larga escala da linha. O Informe Técnico descreve o levantamento de campo, os estudos, as soluções adotadas e os trabalhos de campo realizados para esta reforma.

### **PALAVRAS CHAVE**

Linhas de transmissão, Reforma, Vibrações, Descargas atmosféricas

#### **1.0 INTRODUÇÃO**

A linha de transmissão em 230 kV Bandeirantes – Brasília Geral foi construída em 1959/1960, sendo a primeira linha de transmissão para a nova capital, Brasília. Ela foi transferida pela CELG a FURNAS em setembro de 1971. Atualmente, FURNAS não dispõe de nenhum documento de projeto ou de construção da mesma. Os estudos de planejamento apontaram a necessidade de construção da SE Pirineus próximo a Anápolis para reforçar o sistema de 138 kV da CELG, tendo sido decidido que a mesma seria alimentada em 230 kV a partir da LT em questão. Devido à configuração do sistema em 2005, esta linha operava com pouca carga, com a corrente variando tipicamente entre 100 A e 200 A, o que justificava a possibilidade da alimentação em questão. Esta LT tem um seccionamento na SE Xavantes e passa pela SE Brasília Sul, sem seccionamento, com os trechos Bandeirantes – Xavantes (19,4 km), Xavantes – Brasília Sul (141,6 km) e Brasília Sul – Brasília Geral (21,2 km). A SE Pirineus seria alimentada em derivação (“tap”) 40,3 km adiante da SE Xavantes.

#### **2.0 SITUAÇÃO DA LT EM 2005**

A LT tem 182,2 km de comprimento, 488 estruturas, sendo 413 de suspensão, 60 de ancoragem e 15 com ancoragens móveis instaladas, dividindo a mesma em 73 tramos, conforme detalhado na Tabela 1, com vão médio de 377 m. A estrutura típica é mostrada na Figura 1, sendo o comprimento da cadeia de suspensão igual 2,94 m, com 17 isoladores. As cadeias de ancoragem têm 19 isoladores e as de “jumper” 17. Observamos que esta estrutura não tem extensão de corpo e nem pernas desniveladas. O cabo condutor é o cabo CAA 605 kCM 45/7, Duck. Existe uma variante com 2,08 km e dois trechos com 6,74 km e com 1,54 km de comprimento, nos quais o cabo condutor é o cabo CAA 954 kCM 45/4, Rail, sendo que os dois últimos foram reconstruídos com estruturas de circuito duplo.

Ao longo dos anos as equipes de manutenção de FURNAS vinham observando a ocorrência de cabo baixo em alguns vãos, as quais eram corrigidas com auxílio de ancoragens móveis, em uma ou nas duas estruturas adjacentes, na medida de sua identificação.

Um levantamento ao longo de toda a linha, realizado no início de 2005, constatou que em 21 vãos a distância do condutor ao solo era inferior a 6,0 m, mesmo com a linha operando com correntes de pouca intensidade, sendo a menor distância medida, de 4,8 m. A análise deste levantamento permitiu concluir que o problema era devido, principalmente, à altura insuficiente das torres e não somente devido ao “creep” ocorrido (e talvez não considerado no projeto) e também a eventuais métodos construtivos, tais como a não realização de grampeamento deslocado, além de imprecisões cometidas no lançamento dos cabos.

Para o vão médio da LT, a flecha a 60°C é de 12,8 m. Para a silhueta da Figura 1, a distância do condutor ao solo seria da ordem de 6,2 m, insuficiente para uma LT de 230 kV (ver Tabela 2). Nos trechos com cabo Rail não existia o problema de cabo baixo.

TABELA 1 – Distribuição dos vãos

Nº de vãos no tramo	Nº de tramos	Nº de vãos no tramo	Nº de tramos
1	19	10	1
2	3	11	6
3	5	12	7
4	7	13	8
5	5	14	2
6	2	18	1
7	1	21	1
8	2		
9	3	Total	73

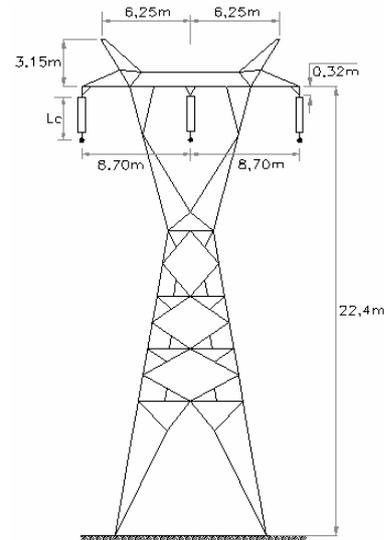


FIGURA 1 – Silhueta típica.

Deve ser ressaltado que para correntes de 100 A e 200 A, a temperatura do condutor variaria na faixa de 42°C a 44°C, considerando a temperatura ambiente de 30°C, velocidade do vento de 0,6 m/s, coeficiente de absorção 07 e coeficiente de emissividade 0,5.

Pelos critérios de operação de FURNAS as temperaturas para os regimes normal e de emergência eram de 60°C e 80°C, respectivamente. Para a operação após a entrada da SE Pirineus, foram definidas as novas temperaturas máximas de 60°C e 90°C para os regimes de operação normal e de emergência, respectivamente. Tornou-se claro que, com a entrada da SE Pirineus, o número de vãos com cabo baixo poderia aumentar consideravelmente, exigindo uma avaliação criteriosa da situação atual da linha para estas temperaturas e das modificações necessária para corrigir os problemas que viessem a ser identificados.

Pelos dados acima, fica claro que as modificações a serem realizadas não caracterizariam uma recapacitação, pois não haveria aumento significativo na capacidade de transporte da linha, mas sim uma reforma para atender, praticamente, a capacidade de transporte anterior.

### 3.0 SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO FUTURO, A PARTIR DA SITUAÇÃO ATUAL DA LT

Inicialmente foi realizado um levantamento topográfico de todos os vãos, onde foram levantados, para as três fases:

- cotas dos pontos de fixação do condutor e comprimento das cadeias de isoladores;
- cotas dos pontos críticos dos obstáculos sob a linha e do cabo no mesmo ponto;
- cotas de cabo e solo em, no mínimo, 3 pontos ao longo do vão;
- possíveis alterações nas cadeias;
- temperatura ambiente, condições de vento e insolação durante as medições.

Nos projetos de recapacitação já realizados, foi requerido por FURNAS que o cálculo mecânico dos condutores fosse realizado segundo a metodologia STESS [1]. Esta metodologia permite calcular, a partir de uma determinada condição inicial, os alongamentos elástico, térmico e aqueles devidos ao “creep” e a acomodação dos fios, separadamente para os fios de alumínio e de aço, com o passar do tempo. Ela permite, também, considerar que, para tensões abaixo do joelho da curva tensão vs. deformação, a coroa de alumínio suporta uma carga de compressão, da ordem de 1,0 kgf/mm<sup>2</sup> a 2,0 kgf/mm<sup>2</sup> o que resulta num aumento da flecha em temperaturas elevadas. Para os atuais estudos foi feita a mesma exigência porque, além da operação na temperatura de 90°C, era previsto que haveria necessidade de retracionar os condutores após 46 anos de operação, o que afetaria a distribuição da carga de tração entre a coroa de alumínio e a alma de aço. Uma aplicação prática desta metodologia à recapacitação de linhas de FURNAS, juntamente com uma descrição da mesma, é apresentada na referência 2.

Considerando que FURNAS não dispõe dos documentos de projeto da linha, as trações iniciais adotadas durante o lançamento dos condutores são desconhecidas, o que dificulta a aplicação da metodologia em questão. Foi requerido por FURNAS que a projetista contratada deveria desenvolver um programa computacional para estimar a carga de tração inicial de cada tramo, a partir das cotas dos cabos medidas no levantamento de campo. O programa deveria utilizar um processo iterativo, simulando o comportamento do tramo completo devido ao “creep” com o passar do tempo, a partir de uma carga de tração inicial e de modo a minimizar as diferenças entre as cotas calculadas para os pontos levantados do cabo e as respectivas cotas levantadas no campo.

Uma vez determinada a melhor estimativa para a carga de tração inicial do tramo foram calculadas as distâncias condutor-solo para as temperaturas de 60°C e 90°C, para cada fase de cada tramo. As distâncias de segurança necessárias foram calculadas de acordo com a NBR 5422 – 1985 [3] e são dadas na Tabela 2.

TABELA 2 – Distâncias de segurança conforme a NBR 5422

Obstáculo	Regime de operação	
	Normal	Emergência
Solo	7,40 m	6,70 m
Rodovias, ruas e avenidas	8,83 m	7,19 m
Ferrovias	9,83 m	8,39 m
Redes e linhas de distribuição	2,03 m	2,03 m

Considerando as variações de distância de segurança entre os dois regimes e a variação da ordem de 1,20 m na flecha para um vão nivelado de 400 m, podemos concluir que o regime de emergência é mais crítico quando o obstáculo é o solo ou linhas de distribuição, sendo o regime normal mais crítico nos demais casos.

Para se avaliar a extensão do problema encontrado, este estudo mostrou que, dos 73 tramos da LT, 50 tramos apresentaram cabo baixo em pelo menos uma fase de um vão. A título de ilustração, a distância condutor solo seria inferior a 6,0 m a 60°C em 113 fases de 52 vãos pertencentes a 22 tramos.

#### 4.0 ALTERNATIVAS PARA CORREÇÃO DOS PROBLEMAS

##### 4.1 Estudos iniciais

Considerando que, na maioria dos tramos havia diversos vãos consecutivos com cabo baixo, a primeira alternativa considerada para aumentar a distância do condutor ao solo seria o retracionamento do tramo. Nos vãos onde esta medida não fosse suficiente, seria feita, também, a substituição de cadeias de suspensão por ancoragens móveis. Para o retracionamento dos condutores foi adotada a tração máxima de 2300 kgf, a 20°C, correspondente a 22,8% da carga de ruptura do cabo Duck. Este valor foi adotado porque os cálculos realizados mostraram que a carga de tração inicial era desta ordem de grandeza e que as ancoragens móveis, já executadas, conduziram a cargas desta tração também desta ordem. Entretanto, estas duas medidas tinham efeitos negativos. Ambas reduziam a distância entre o cabo condutor e o cabo pára-raios, o que seria prejudicial ao desempenho quanto a descargas atmosféricas, e também aumentariam o risco de danos a linha em caso de rompimento de um condutor. Por este motivo foi decidido que as ancoragens móveis seriam executadas deixando o maior número possível de isoladores na penca vertical da cadeia de suspensão existente. Assim, o número de isoladores na penca vertical poderia variar de 0 a 15, de acordo com a elevação requerida para o condutor nos vãos adjacentes. Somente na fase central, devido ao jumper, não poderia haver a penca vertical.

O procedimento lógico para execução dos serviços de campo seria retracionar os condutores, colocando as roldanas na extremidade inferior das penca verticais, já com o número correto de isoladores.

Embora a linha em questão estivesse operando com pouca carga, em determinadas condições de emergência do sistema, por exigências operativas, seria necessário religar a linha no prazo máximo de 24 horas. Tal exigência inviabilizaria o procedimento acima pois, para a maioria dos tramos e dependendo do andamento dos trabalhos, poderia ser inviável restabelecer as cadeias de suspensão, retirar as roldanas e re-grampear os condutores no prazo requerido.

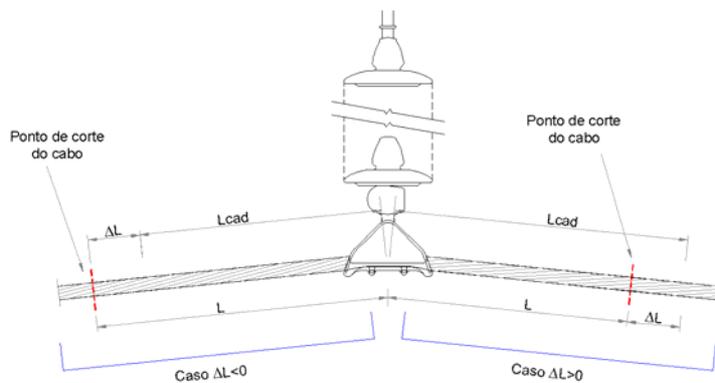
##### 4.2 Solução adotada

Tal fato motivou a adoção de um novo procedimento para a realização dos trabalhos acima previstos, de tal modo que somente seriam retracionados os vãos estritamente necessários de um tramo e os trabalhos de campo deveriam afetar uma estrutura de suspensão de cada vez. Considerando que o retracionamento do condutor consiste, em última análise, na redução do seu comprimento, foi desenvolvido um programa computacional, no qual os cálculos são feitos para um tramo completo, com as seguintes características:

- a partir da condição de lançamento com a carga de tração inicial definida anteriormente, simula o “creep” que irá ocorrer em cada vão do tramo, em intervalos de tempo, considerando a condição de equilíbrio das diversas cadeias de suspensão ao fim de cada intervalo, como a condição inicial para o próximo intervalo. Com isto, a partir da condição inicial, onde todas as cadeias de isoladores foram consideradas na posição vertical, as cargas de tração e os deslocamentos das cadeias vão variando de vão para vão até a condição final;
- a partir daí, por um processo de tentativas, é definida uma nova configuração para o tramo que venha satisfazer as distâncias de segurança.

Nesta nova configuração do tramo, podemos ter estruturas com cadeias de suspensão completas, ou com ancoragens móveis com pencas verticais de comprimentos variáveis. Além disto, a carga de tração pode variar de vão para vão, mas sem submeter as estruturas a cargas longitudinais consideráveis.

O retracionamento é obtido definindo as variações do comprimento do cabo ( $\Delta L$ ) necessárias para se obter as cargas de tração desejadas à vante e à ré da estrutura em consideração. Assim, para aumentar a carga de tração, corta-se um comprimento de cabo maior que o necessário para inserir a cadeia de ancoragem ( $\Delta L < 0$ ). Da mesma forma, para reduzir a carga de tração em algum vão, o que pode ser necessário, em alguns casos, para equilibrar as cadeias de suspensão, corta-se um comprimento de cabo menor que o necessário para inserir a cadeia de ancoragem ( $\Delta L > 0$ ). A Figura 2 ilustra estas duas situações.



NOTA:

$L_{cad}$  – comprimento da cadeia de ancoragem

$\Delta L$  – variação do comprimento do cabo

$L$  – comprimento de cabo a ser cortado

FIGURA 2 – Definição do corte de cabo.

Considerando que as cadeias das demais linhas de transmissão de 230 kV de FURNAS utilizam 15 isoladores, foi decidido que, em caso de necessidade, poderiam ser retirados um ou dois isoladores da cadeia de suspensão original. Da mesma forma, as pencas de ancoragem das cadeias de ancoragem móvel teriam 15 isoladores.

A Figura 3 mostra uma estrutura com cadeias de ancoragem móvel nas três fases, com diferentes números de isoladores na penca vertical. Na fase central temos a chamada ancoragem plena, ou seja, nenhum isolador na penca vertical. A Figura 4 mostra a solução adotada quando o retracionamento e a retirada de 0, 1, ou 2 isoladores da cadeia de suspensão original eram suficientes. Neste caso não era necessário instalar as duas pencas de ancoragem das cadeias de ancoragem móvel.



FIGURA 3 – Ancoragens móveis convencionais.



FIGURA 4 – Ancoragem móvel sem as pencas de ancoragem.

Entre as alternativas possíveis, foi acrescentado o deslocamento do ponto de grampeamento do condutor numa cadeia de suspensão, com objetivo de reduzir o comprimento do cabo em um vão e, ao mesmo tempo, aumentar no vão adjacente.

Deve ser observado que todas as alterações de comprimento de cabo e retirada de isoladores tinham como objetivo a solução dos problemas de um tramo como um todo e não apenas de um determinado vão em particular. Com este novo procedimento, os trabalhos de campo poderiam ser realizados em uma estrutura de cada vez, e as modificações em cada estrutura seriam realizadas em uma fase de cada vez. Assim sendo, em caso de necessidade, a linha poderia ser religada após o tempo necessário para a conclusão dos trabalhos em uma cadeia, tempo este que poderia ser maior ou menor em função do adiantamento dos trabalhos, mas nunca maior que umas poucas horas.

Nos vãos isolados e nos casos onde as alternativas acima não foram suficientes para corrigir os problemas, as alternativas adotadas foram a raspagem do terreno, onde possível ou, em último caso, a substituição de torres existentes por torres mais altas.

Em resumo, os trabalhos previstos foram os seguintes:

- Ancoragens móveis: 552
- Grampeamento deslocado: 18
- Somente retirada de 1 ou 2 isoladores: 34
- Raspagem do terreno: 18 vãos
- Substituição de torres: 3

#### 4.3 Exemplo de aplicação

Como ilustração, a Tabela 3 apresenta, os resultados da aplicação da metodologia para a fase esquerda do tramo entre as estruturas 199 e 210. Nesta tabela estão indicadas:

- cargas de tração e distâncias mínimas do condutor ao solo antes das modificações, estando indicadas em vermelho as distâncias inferiores ao mínimo estabelecido na Tabela 2.
- modificações definidas para as torres de suspensão indicadas, onde “Nº de Isolad.” é o número de isoladores na penca vertical e o significado de  $\Delta L$  foi definido no item 4.2 e na Figura 2.
- cargas de tração e distâncias mínimas calculadas após as modificações.

Deve ser observado que a solução para um tramo não é única. Diferentes projetistas poderão determinar soluções diferentes, uma vez que a solução é definida por um processo de tentativas.

TABELA 3 – Situação da fase esquerda do tramo entre as torres 199 e 210 e modificações efetuadas

Vão de frente da torre	Antes das Modificações				Modificações Definidas				Após as Modificações		
	Trações a 20°C (kgf)	Dist. Mínimas (m)			Nº Torre	Nº de Isolad.	$\Delta L$ (cm)		Trações a 20°C (kgf)	Dist. Mínimas (m)	
		30°C	60°C	90°C			Ré	Vante		60°C	90°C
199	2021,3	9,35	8,15	6,98					2100,6	8,51	7,29
200	2026,7	10,05	8,52	7,07					2125,5	9,16	7,64
201	2019,2	7,03	6,23	5,46					2148,2	7,61	6,83
202	2014,5	12,59	11,99	11,42	202	9	-20	0	2171,0	12,87	12,29
203	2021,6	9,17	7,14	5,23					2181,1	8,69	6,73
204	1994,7	10,31	9,49	8,69	204	16	-40	0	2146,3	9,99	9,14
205	1976,5	8,45	7,36	6,30					2146,7	8,14	7,03
206	1968,7	7,90	6,68	5,49	206	15s	-	-	2182,6	7,91	6,71
207	1964,4	8,56	7,07	5,64	207	15	-40	0	2166,2	8,66	7,17
208	1956,7	6,18	5,32	4,49	208	11	0	0	2174,9	7,55	6,69
209	1953,1	5,94	4,85	3,78	210	0	-10	-10	2239,8	7,26	6,11

15s – cadeia de suspensão com 15 isoladores.

Na tabela acima podemos observar:

- decorridos 45 anos desde a construção da LT, mesmo supondo que logo após o grampeamento a carga de tração tenha ficado uniforme em todos os vãos, devido às diferenças de “creep” ocorrido, haverá diferença nas cargas de tração de vão para vão.
- na temperatura de 30°C existiam apenas três casos de cabo baixo enquanto que a 60°C e 90°C existiriam seis, o que mostra a importância da simulação realizada para o comportamento futuro da LT;
- na definição da solução para cada tramo sempre se procurou minimizar o número de intervenções a serem feitas. Assim, a ancoragem móvel com a retirada de 8 isoladores na torre 202 resolveu o problema do vão 201/202 e ajudou a resolver o do vão 202/203. Da mesma forma, as modificações na torre 204 ajudaram a resolver os problemas dos vãos 203/204 e 204/205;
- na torre 207 foi incluída uma ancoragem móvel, sem as cadeias de ancoragem, conforme mostrado na Figura 4, com objetivo de retracionar o condutor;
- na torre 208 foi incluída uma ancoragem móvel, mas sem retracionamento dos condutores;
- no vão 209/210, como o cabo estava muito baixo, a solução para a condição de emergência exigiria uma carga de tração maior que 2300 kgf, que foi o valor máximo adotado como critério. Neste caso a solução foi raspar o terreno.
- mesmo com o retracionamento de apenas alguns vãos, as diferenças entre as cargas de tração de dois vãos consecutivos são pequenas, não submetendo as torres de suspensão a cargas longitudinais consideráveis. A maior diferença encontrada foi de 64,9 kgf, na estrutura 209.

## 5.0 EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS DE CAMPO PARA REFORMA

Os serviços acima descritos foram realizados por pessoal próprio dos órgãos de construção e de manutenção de FURNAS. No total foram mobilizados 55 técnicos e supervisores e 10 profissionais para apoio, que foram divididos em 5 equipes. Por razões operativas a reforma foi executada apenas no trecho Xavantes – Brasília Geral. Os trabalhos foram realizados em três etapas, conforme detalhado na Tabela 4. A primeira e segunda etapas foram realizadas com a linha desligada e a terceira etapa durante desligamentos programados em fins de semana. Os serviços de raspagem do solo foram realizados em paralelo com os serviços acima.

TABELA 4 - Resumo dos serviços executados

Etapa	Trecho	Período	Número de:				Serviços Realizados		
			Tramos	Vãos	T.Susp.	T.Mod.	AM	RI	GD
1	B. Sul - Pirineus	06/03 – 20/04	26	269	231	138	303	21	9
2	Pirineus – Xavantes	22/06 – 15/07	11	104	93	66	156	9	4
3	B. Geral – B. Sul	15/07 – 10/09	7	62	45	21	60	-	-
Total			44	435	369	225	519	30	13

NOTA: T.Susp e T.Mod - total de torres de suspensão existentes no trecho e de torres suspensão que sofreram pelo menos uma intervenção; AM – ancoragem móvel. RI – apenas retirada de 1 ou 2 isoladores na cadeia de suspensão; GD – grampeamento deslocado

A inserção de ancoragens móveis na fase central foi feita no alto, com auxílio de uma plataforma (Figura 5) que servia de local de trabalho para os montadores, enquanto o cabo ficava apoiado em dois troncos presos à estrutura no sentido transversal ao eixo da LT. Nas fases laterais o cabo era baixado ao solo para inserção das ancoragens móveis (Figura 6).



FIGURA 5 – Execução de ancoragem móvel no alto.

FIGURA 6 – Execução da ancoragem móvel no solo.

Nos vão onde, devido à topografia, não foi possível baixar o cabo ao solo (torres adjacentes em posição mais elevada que a torre em questão, por exemplo), a inserção foi feita no alto, com o auxílio da mesma plataforma fixada em troncos presos, transversalmente ao eixo da linha, através da face lateral do delta.

## 6.0 PROTEÇÃO CONTRA VIBRAÇÕES EÓLICAS

A concorrência para o fornecimento do sistema de amortecimento foi vencida pela PLP Produtos para Linhas Preformados. O projeto em questão tinha características completamente diferentes das de um projeto usual, pois, dentro de um mesmo tramo e mesma fase, existiam cadeias de suspensão com diferentes configurações, cadeias de ancoragem móvel e com a carga de tração variando de vão para vão e, numa mesma torre, a carga de tração poderia ser diferente em cada fase. Tal fato exigiu que o sistema de amortecimento fosse definido para cada fase de cada vão.

No período de 6 a 27 de junho de 2006 foram realizadas medições de campo da intensidade das vibrações eólicas no vão entre as torres 246 e 247, com 395 m de comprimento, em terreno plano e sem obstáculos, conforme Figura 7. Neste vão foi constatado, na ocasião, a ocorrência de um vento praticamente constante, em direção aproximadamente normal ao eixo da LT.

As medições foram feitas nas fases laterais. As cargas de tração calculadas para estas duas fases a 20°C, após a reforma, foram de 2215,5 kgf e 2208,3 kgf, respectivamente.

Para fins de comparação, uma das fases tinha a proteção prevista pela PLP e a outra fase estava sem proteção. A Figura 8 mostra o resultado das medições. Conforme podemos observar, a presença dos amortecedores reduz a intensidade máxima das vibrações de 116 µm/m para 100 µm/m. Pode ser observado que a eficiência dos

amortecedores é maior para altas frequências e baixas amplitudes de vibração, correspondendo a faixa de intensidade até 60  $\mu\text{m/m}$ .



FIGURA 7 – Torre e vão de teste.

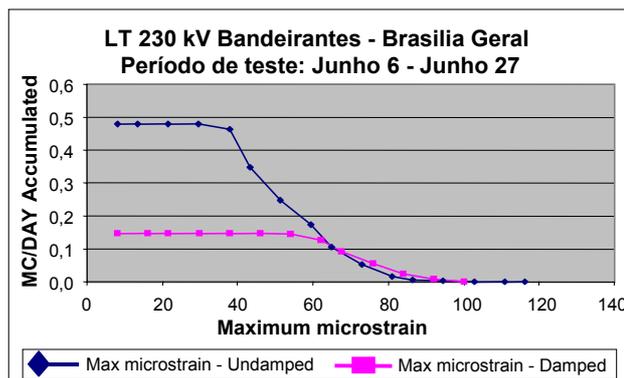


FIGURA 8 – Resultados das medições.

## 7.0 DESEMPENHO SOB DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

### 7.1 Premissas

Conforme já mencionado, FURNAS não dispõe dos dados de projeto nem da construção da LT em questão. Sabe-se que o desempenho sob descargas atmosféricas é bastante sensível à distribuição das resistências de aterramento. Devido à impossibilidade de se obter esta distribuição dentro do prazo disponível, foi decidido realizar um estudo comparativo do desempenho da LT antes e depois da reforma, com premissas idênticas e conservativas, para as duas situações. Assim sendo foi adotado:

- Resistência de aterramento igual a 25  $\Omega$  para todas as estruturas.
- Número de descargas que atingem a linha por ano, baseado nos dados fornecidos pelo RINDAT: 14,6.
- Silhueta típica conforme a Figura 1.

- As descargas foram consideradas na proporção de 60% atingindo a estrutura e 40% atingindo o meio do vão.

Considerando que na mesma estrutura podem existir cadeias de isoladores com diferentes configurações, foi adotado o seguinte critério:

A - para descargas diretas na estrutura, a suportabilidade considerada é a da cadeia com menor suportabilidade. Portanto, nas estruturas de suspensão que não sofreram modificação e nas estruturas de ancoragem, considerou-se a cadeia com 17 isoladores. Nas estruturas com, pelo menos, uma cadeia de ancoragem plena, considerou-se a cadeia com 15 isoladores. Nas estruturas com uma cadeia de suspensão com 15 isoladores e uma outra com ancoragem móvel e N isoladores na penca vertical, considerou-se uma cadeia com 15 isoladores, e assim por diante.

B - para o caso de falha da blindagem, como somente as fases laterais estão expostas, adotou-se um procedimento semelhante, mas considerando apenas as fases laterais.

No caso das descargas diretas no cabo pára-raios no meio do vão, foi considerada a distribuição estatística das distâncias entre condutor e pára-raios.

### 7.2 Resultados

A Tabela 5 apresenta a comparação entre as taxas de desligamento calculadas para a LT antes e depois da reforma. Neste cálculo não foram considerados os trechos com cabo Rail.

TABELA 5 – Comparação dos desempenhos da linha

Situação	Número de desligamentos por ano devido a descargas atingindo:				Total	
	Condutor de fase (falha da blindagem)	Pára-raios no meio do vão - escorvamento no meio do vão	Pára-raios no meio do vão - escorvamento na estrutura	Estrutura - escorvamento na estrutura	Por ano	Por 100km/ano
Antes da reforma	0,17	0,38	0,13	0,14	0,82	0,49
Depois da reforma	0,28	0,41	0,24	0,53	1,46	0,88

Como era de se esperar, o número total de desligamentos calculado após a reforma aumentou consideravelmente, ficando 77% maior que aquele antes da reforma, mas ainda assim dentro de um limite considerado aceitável. Nesta Tabela deve ser observada a importância de calcular o número de desligamentos por escorvamento no meio do vão para descargas atingindo o cabo pára-raios no meio do vão, ao contrário de alguns programas utilizados comercialmente que simplesmente ignoram este efeito. Para a LT na configuração original, esta causa correspondia a 46% do número de desligamentos calculados e, após a reforma, 28%.

## 8.0 CONCLUSÃO

A metodologia adotada para a reforma da LT em questão se mostrou altamente eficiente e econômica. O trabalho todo, contando com as interrupções causadas por problemas de autorização para desligamentos e atraso na entrega de materiais, foi realizado em 189 dias corridos. O custo total do empreendimento foi de R\$2.287.477,57. O custo ELETROBRÁS de uma LT nova de 230 kV similar, com 160 km, seria de R\$41.479.606,40. Portanto, o custo da reforma correspondeu a 5,5% do custo de uma LT similar nova, com um prazo de execução muito menor.

## 9.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – NIGOL,O.; BARRET,J.S. A new computer model of ACSR conductors, IEEE Transactions, v PAS-102, n 3, p 614-621, mar. 1983
- 2 – SILVA,A.O. et al Recapitação de LTs de 138 kV – A experiência de FURNAS, GLT/012, In SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - SNPTEE, XVI, 2001, Campinas, São Paulo
- 3 – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 5422 Projeto de linhas aéreas de linhas de transmissão, 1985, Brasil.