



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

Versão 1.0  
XXX.YY  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

**GRUPO - III**

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

**OTIMIZAÇÃO DE LINHA DE TRANSMISSÃO NÃO CONVENCIONAL DE ALTA CAPACIDADE EM 500 KV -  
CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO PARA VALIDAÇÃO DE MODELOS, ESTABELECIMENTO DE PRÁTICAS DE  
MANUTENÇÃO EM LINHA VIVA E REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE CAMPO**

**J. AMON F. (\*) / C. P. R. GABAGLIA / M. J. IZYCKI  
FURNAS Centrais Elétricas S.A.**

**G. TAVARES, D.Sc.  
Universidade Federal  
Fluminense - UFF**

**R. C. R. MENEZES, Dr. techn.  
Universidade Federal do Rio Grande do  
Sul - UFRGS**

**A. S. RIGUEIRA  
A. Rigueira  
Consultoria Ltda**

**F.C.DART  
CEPEL**

**J. B. G.F. SILVA  
DAMP Electric**

**L. F. FERREIRA  
Electrovidro S.A.**

**RESUMO**

Este Trabalho Técnico apresenta os resultados obtidos com a conclusão da primeira fase do projeto de pesquisa – P & D - desenvolvido por FURNAS, cujo objetivo principal foi desenvolver e testar uma nova concepção de linha de transmissão de alta capacidade de transmissão, também conhecida como “Linha de Potência Natural Elevada – LPNE (HSIL em inglês)”. No projeto foi desenvolvida a otimização do feixe de condutores, resultando numa configuração assimétrica de seis cabos Rail por fase e uma nova concepção para arranjo de cadeias. A idéia foi criar uma concepção completa de LPNE de 500 kV, com elevado grau de otimização. Também faz parte do projeto de pesquisa ensaiar e validar a solução estudada, no laboratório e no campo. Os ensaios em laboratório foram realizados pelo CEPEL e através deles se pôde constatar um excelente desempenho para o arranjo não convencional das cadeias de isoladores e ferragens. Para os ensaios de campo está sendo concluída a construção de uma linha de transmissão experimental baseada na concepção desenvolvida no projeto. Com esta LT que envolve processos construtivos não convencionais, se pretende observar o comportamento dinâmico do feixe assimétrico de seis condutores em condições reais, além do desempenho das soluções propostas para o amortecimento das vibrações e ainda procedimentos para manutenção em linha viva com operações diretamente entre fases, o que também não é convencional. Com este projeto de P&D, FURNAS espera contribuir para a viabilização ambiental e econômica de transmissão de grandes blocos de potencia.

**PALAVRAS-CHAVE**

Linha de transmissão, Linha de potência natural elevada – LNPE, Feixe expandido, Otimização

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O atual modelo do Setor Elétrico Brasileiro aponta para a otimização do sistema de transmissão buscando a redução de impactos ambientais e de custos tornando-o mais confiável e competitivo. A necessidade de se transportar grandes blocos de energia pode ser observada no momento em que se pretende aproveitar a energia que pode ser produzida em regiões com recursos hidráulicos abundantes, porém distantes dos principais centros de consumo. Por outro lado, as dificuldades de se utilizar novos corredores para expansão do sistema e atendimento da demanda aumentam cada vez mais em função de restrições ambientais. Neste contexto a busca de novas tecnologias de transmissão que unam as premissas básicas de confiabilidade, de redução de custos e de atendimento às restrições ambientais, tem sido uma preocupação constante de diversas empresas do setor. A solução que vem se tornando uma alternativa real para o melhor aproveitamento das faixas de servidão, tanto na

construção de novas linhas, como também na recapacitação de linhas de transmissão existentes, é a de Linhas de Potência Natural Elevada – LPNE. A diretriz básica deste projeto de pesquisa foi a de considerar um conjunto de fatores intervenientes que possibilitasse o emprego em curto prazo das soluções pesquisadas. Para tanto se utilizou como local de construção da LT experimental um trecho da antiga LT em 500 kV Angra / Adrianópolis que se encontrava desativada, prestando-se assim esse trecho à fácil implantação desta nova LPNE, a custo reduzido. Destaque-se que a linha, cuja execução das fundações já foi concluída, estando em curso a montagem das estruturas, será energizada através de um fechamento de jumper, pela LT existente Angra / São José. Após energizada a linha experimental poderá ainda vir a ser utilizada como laboratório de pesquisas para outras linhas de extra alta tensão do tipo LPNE, em escala real.

## 2.0 - METODOLOGIA ADOTADA

O desenvolvimento da pesquisa foi orientado por metodologia dividida em etapas. Inicialmente as instituições participantes dos trabalhos aprofundaram seus conhecimentos sobre o cenário da pesquisa. Devido à extensão desta, estiveram envolvidos além de Furnas Centrais Elétricas, vários centros de pesquisa, como o CEPEL, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, a Universidade Federal Fluminense, e, diversas outras empresas, como a LTS, a Damp Electric como contratista turn-key e seus principais subfornecedores como, a Damp Itália, Mosdofer (Áustria), Electrovidro, PLP, Cimaf/Belgo, Nativa, etc. Participou ainda como consultor da Damp, o Instituto Politécnico de Milão. FURNAS atuou com a coordenação geral da pesquisa, mobilizando também suas áreas de planejamento, projeto, meio ambiente, patrimônio e construção. Dos estudos preliminares foi definido o arranjo das cadeias com uma configuração não convencional, e feita a otimização técnico/ econômica do feixe de condutores procurando-se atingir potencia natural de duas a três vezes (cerca de 2200MW) os valores normais para a classe de tensão de 500 kV. O arranjo das cadeias foi desenvolvido utilizando-se uma combinação de dois conjuntos de isoladores poliméricos com esticador central, e de isoladores de vidro, com disposição em “delta invertido”, resultando em uma configuração compacta para a potência natural decorrente. As ferragens e isoladores foram fabricados e o arranjo ensaiado no laboratório do CEPEL, com excelente desempenho elétrico. No projeto das cadeias foram estudadas facilidades para a execução de manutenção em linha viva o que conduziu a soluções não convencionais, pois tal manutenção deverá ser executada por vezes entre duas fases. Para as estruturas, foram projetadas torres tipo “Cross-Rope Suspension – CRS” como alternativa de suspensão, e torres tipo delta convencionais para as ancoragens. No dimensionamento das estruturas e do arranjo de cadeias foram feitos estudos de otimização e considerados esforços dinâmicos. Depois de feitos todos os estudos e projetos e fabricados os materiais, foram ainda feitas revisões e complementações da topografia e sondagem, dando-se, então, início às atividades de construção e montagem da LPNE. Com a conclusão da construção deste trecho experimental de linha, e após a energização do mesmo, será executado um programa de medições de parâmetros elétricos e mecânicos, sendo também avaliado o desempenho do sistema de amortecimento projetado.

## 3.0 - ARRANJOS DAS CADEIAS E OTIMIZAÇÃO TÉCNICO / ECONÔMICA DO FEIXE DE CONDUTORES

A otimização do campo elétrico superficial foi obtida com um feixe assimétrico de 6 subcondutores RAIL por fase, determinado pelo programa CLC [5]. O resultado dos melhores arranjos geométricos dos feixes, em termos do binômio potência natural / exequibilidade de fabricação das ferragens, nas estruturas e no meio dos vãos, está apresentado na Fig. 1. Na Fig. 2 está mostrado o arranjo das cadeias de isoladores, intertravadas, com a utilização de esticador horizontal entre os isoladores poliméricos, tomando o conjunto a forma de “delta invertido”.

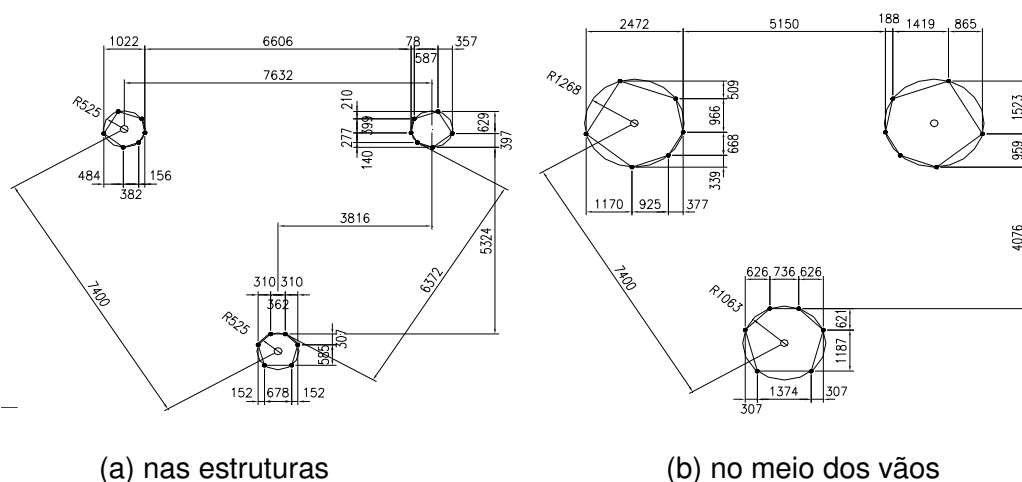


FIGURA 1 – Arranjos Geométricos dos Feixes

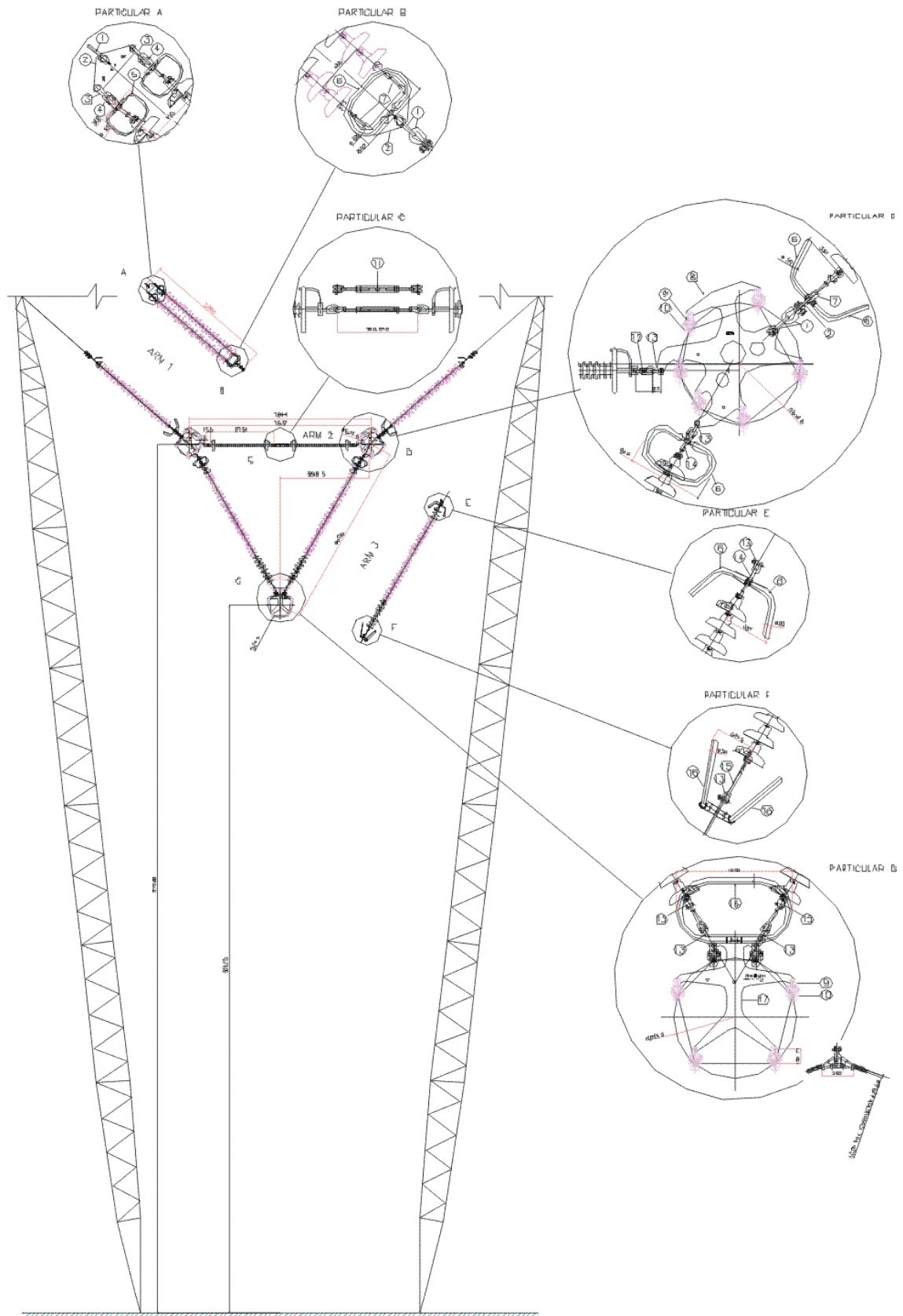


FIGURA 2 – Arranjos das Cadeias – “Delta Invertido”

#### 4.0 - ESTUDOS DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DO FEIXE

Ao se focar o comportamento dinâmico de cabos, o primeiro fenômeno a ser lembrado é o das vibrações. Entretanto, além das vibrações, há o problema de oscilação dos condutores, que pode alcançar vários metros, dando origem a curto-circuito entre fases, introduzindo esforços nos condutores e suportes capazes até mesmo de destruir a linha. As oscilações de grande amplitude também podem provocar violações de distâncias elétricas necessárias à operação da linha de transmissão, causando, riscos à segurança e desligamentos, que podem causar grandes problemas de operação, sendo por isso hoje, duramente penalizados. Para a determinação da resposta estrutural de um feixe de linha de transmissão desenvolveu-se um modelo numérico para a integração numérica das equações de movimento pois, devido à complexidade do problema, não existem soluções fechadas. As equações de movimento foram integradas no domínio do tempo utilizando o método explícito de diferenças finitas centrais. A escolha está fundamentada no fato de que, não sendo necessária a montagem da matriz de rigidez global do sistema, a integração pode ser efetuada ao nível do elemento. Nesse contexto, a atualização da geometria a cada passo de integração não apresenta dificuldade analítica, requerendo pouco custo computacional. Em consequência, o vetor de coordenadas nodais  $\vec{q}(t_i)$ , no instante  $t_i$ , é calculado em termos do conjunto de vetores de deslocamento  $\vec{q}(t_{i-k})$ , nos instantes anteriores  $t_{i-k}$ ,  $k = 1, 2$ . Assim, o estado do sistema no instante  $(t + \Delta t)$  pode ser expressado em termos dos estados nos instantes  $t$  e  $(t - \Delta t)$ . A força nodal  $f(t)$  é a resultante na direção de cada coordenada nodal da força gravitacional, da força do vento no cabo e da força axial nos cabos. Depois de cada intervalo de integração, as posições das massas nodais são atualizadas, levando-se em conta a não-linearidade geométrica do problema. O esquema permite também a consideração de não-linearidade física, isto é, de equações constitutivas não-lineares dos cabos condutores sem dificuldades adicionais. Através desse procedimento, descrito mais detalhadamente nas referências [6], [7] e [8], um trecho da linha de transmissão em estudo foi modelado e analisado quando submetido a eventos do tipo tormentas EPS (Extended Pressure Systems). Como dito anteriormente, os feixes são compostos de seis cabos condutores do tipo ACSR Rail, diâmetro 29.6 mm, dispostos assimetricamente em duas das fases e simétrico verticalmente na terceira (Fig. 3). Os feixes possuem seus condutores mais próximos na fixação à torre, afastando-se entre si linearmente até 50m do vão, mantendo uma seção constante por 300 m e depois uma crescente aproximação nos últimos 50m. As seções dos feixes (três fases) são mostradas na Fig. 3, sendo as seções em vermelho aquelas mais próximas das torres e as indicadas em preto aquelas nas regiões centrais do vão. Primeiramente foram modelados os condutores dispostos em feixe assimétrico, sendo numerados conforme Fig. 4. Nesta figura observam-se os afastamentos de projeto entre os cabos, tanto na seção junto à torre como na seção central. Os espaçadores foram considerados rígidos, localizados nas passagens dos trechos de seção variável para o trecho de linha central. Os demais foram alocados visando manter os afastamentos desejados entre cabos durante a incidência de ventos. Para isso, a localização e o número de espaçadores foram escolhidos após uma avaliação preliminar do comportamento dinâmico do vão com três e quatro espaçadores no trecho central. Similarmente, considerou-se que a hipótese de espaçadores rígidos, adotada nas simulações aqui apresentadas, tem caráter conservador já que estes dispositivos podem ser projetados com capacidade de dissipação de energia.

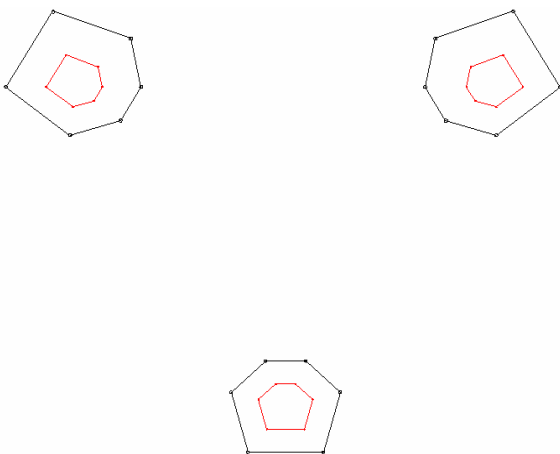


FIGURA 3 – Seção dos feixes que compõem a linha experimental

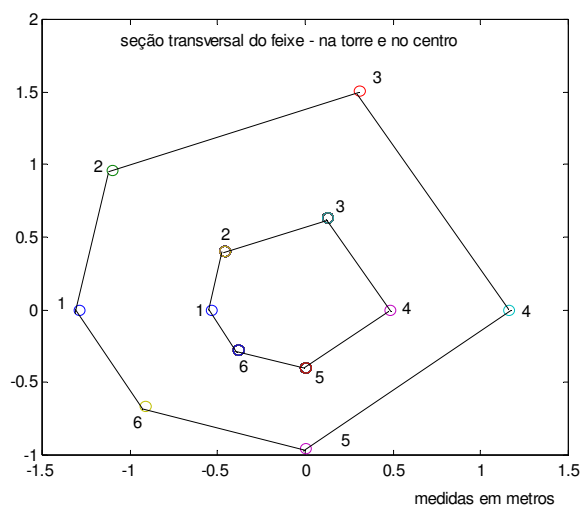


FIGURA 4 – Seções transversais do feixe assimétrico (interna-junto à torre; externa-subvão central)

#### 4.1 Ventos incidentes

Admitiu-se vento incidente normal a direção da linha, situação mais desfavorável em termos de carregamento. No caso da linha submetida a tormentas EPS, as simulações foram realizadas para velocidades médias do vento incidente iguais a 5, 15 e 25m/s. As variáveis monitoradas e analisadas nas simulações são as distâncias entre cada par de cabos na seção assimétrica do feixe, ou seja, as oscilações de subvão. As seções monitoradas são aquelas onde foram identificados em estudos preliminares os maiores e/ou menores afastamentos entre cabos vizinhos. Para essas distâncias foram determinados os seguintes parâmetros, calculados sobre o tempo de simulação: valor médio, valor RMS, valores máximo e mínimo. O tempo total de simulação foi de 130 segundos, mas estimou-se que a variância das distâncias atinge 99% do valor correspondente à excitação estacionária, isto é, do valor assintótico, após 15 segundos de simulação. Sendo assim, desprezaram-se os 15 segundos iniciais, correspondentes à fase transiente, na determinação das curvas de distribuição de probabilidade e dos parâmetros citados anteriormente. Em conseqüência, o tempo de cálculo dos parâmetros estatísticos foi de 115 segundos. Assim, os trechos das respostas dinâmicas do feixe, consideradas estacionárias correspondem aos últimos 115 segundos dos registros. Simulações preliminares mostraram que as maiores oscilações de subvão ocorrem no trecho de seção constante (parte central do vão). Ou seja, os subvãos entre torre e o primeiro espaçador, afastado de 50m, são mais estáveis em termos de oscilações.

#### 4.2 Comparação entre os três casos analisados

A Tabela 1 resume resultados relevantes dos casos analisados, apresentando uma comparação entre as distâncias iniciais entre pares de cabos do feixe em estudo (condição sem vento) e nas condições admitidas nos três casos estudados.

Tabela 1 – Quadro Comparativo das Distâncias Médias Determinadas Durante as Simulações

	Distância inicial entre cabos no centro do vão (m)	Distância média entre cabos no centro do vão -	Distância média entre cabos no centro do vão -	Distância média entre cabos no centro do vão -
		U=5m/s (m)	U=15m/s (m)	U=25m/s (m)
d12	0.98	0.82	0.85	0.83
d23	1.51	1.22	1.23	1.27
d34	1.74	1.49	1.53	1.56
d45	1.50	1.27	1.27	1.31
d56	0.96	0.85	0.85	0.87
d61	0.76	0.73	0.71	0.71
d41	2.45	2.07	2.12	2.12
d26	1.63	1.37	2.09	1.27
d25	2.21	1.98	1.99	2.00
d36	2.49	2.10	2.09	2.17
d35	2.48	2.10	2.11	2.19

Assim, foi examinada a resposta de um vão típico da linha, para determinar o número mínimo de espaçadores requerido para evitar oscilações importantes de subvão para vento incidente na direção normal à linha, no caso de ventos EPS com velocidade média de até 25m/s. Nesses eventos o vento é considerado um processo estacionário, caracterizado por uma velocidade média constante e um perfil vertical que depende da rugosidade da superfície a barlavento. Tais estudos iniciais indicaram que cada vão de aproximadamente 400m exige um número mínimo de seis espaçadores, número que foi adotado nas simulações aqui descritas, nas quais a localização escolhida dos seis espaçadores foi de 12.5; 28; 42; 53; 71 e 87.5 % do vão. Os valores máximo e mínimo dos afastamentos entre condutores encontrados no presente estudo não devem, em princípio, ser atingidos na linha experimental para condições semelhantes do vento incidente, já que não foi introduzida no modelo qualquer dissipação de energia pelos espaçadores, considerados rígidos. Até a velocidade média de 25m/s não foi detectada nenhuma situação de instabilidade ou vibrações excessivas, considerando-se, portanto, que a configuração adotada nas simulações é admissível.

#### 5.0 - ENSAIOS ELÉTRICOS DE ALTA TENSÃO NO ARRANJO DE CADEIAS

Foram realizados ensaios de corona visual, tensão de radio interferência, tensão suportável de impulso atmosférico e de manobra, no laboratório de Alta Tensão do CEPEL. Foi montado um “mock-up” que representasse a torre típica do projeto de P&D – torre tipo “cross-rope suspension” para a configuração trifásica do arranjo, como indicado na Fig. 5. As Figuras 6 e 7 apresentam, respectivamente, os detalhes das ferragens da fase central e lateral da configuração ensaiada.



FIGURA 5 – “Mock-up” da torre típica do projeto de P&D



FIGURA 6 – Detalhe da ferragem da fase central



FIGURA 7 – Detalhe da ferragem da fase lateral

A tensão de ensaio foi determinada via simulação digital com o programa TRICAMP [9], levando-se em consideração as dimensões do hall de Alta Tensão com os equipamentos nele contidos e considerando a altura de 10 m para o condutor inferior do arranjo. A tensão de ensaio é a tensão a ser aplicada buscando-se garantir que o campo elétrico superficial dos condutores dessa configuração seja igual ao campo elétrico superficial dos condutores da LT quando em operação. Os ensaios foram realizados utilizando-se tubos de alumínio de diâmetro externo de 33 mm para simular os cabos do arranjo, a saber, condutor ACSR RAIL (954 MCM), formação 45/7. Para efeito de comparação dos resultados de ensaio, são apresentados os dados obtidos com uma ferragem tradicional de 18” para 4 condutores ACSR RAIL por fase.

#### 5.1 Ensaio de corona visual

Os ensaios foram realizados elevando-se a tensão até o surgimento de corona, elevando-se, a seguir, a tensão até a observação de corona generalizado, sendo então reduzido o valor da tensão até a extinção do corona e, posteriormente, até zero. Foi empregado nesse ensaio o equipamento “Day Cor” que permitiu a gravação dos ensaios de corona. Foi comprovado um desempenho superior da ferragem do projeto em comparação com as ferragens tradicionais empregadas em linhas de 500 kV. O único ponto de corona observado nos ensaios, ocorreu numa ferragem concha-garfo da fase lateral que pode ter sua dimensão reduzida solucionando o problema.

#### 5.2 Ensaio de tensão de radiointerferência

Os ensaios foram realizados elevando-se a tensão até 20 % acima do valor calculado da tensão de ensaio, sendo a seguir reduzida, em degraus até zero e novamente aumentada até o valor inicial. As ferragens de LPNE apresentaram desempenho superior ao das ferragens típicas, como indicado na Tabela 2.

Tabela 2 - Ensaio de Tensão de Radiointerferência

FERRAGEM	TENSÃO DE ENSAIO (kV)	TRI (kV)
18”	296.0	83.6
Ferragem LPNE – fase central	290.0	53.2
Ferragem LPNE – fase lateral	299.0	55.9

#### 5.3 Ensaio de tensão suportável de impulso atmosférico

A tensão suportável nominal foi determinada através do método dos acréscimos e decréscimos, com 30 aplicações nas polaridades positiva e negativa, sendo a forma de impulso 1.2/50  $\mu$ s. Pela Tabela 3 pode-se constatar o bom desempenho das ferragens LPNE. Nota-se que, ao contrário das ferragens tradicionais, os valores de polaridade negativa são superiores aos de polaridade positiva para os ensaios realizados com as ferragens de LPNE.

Tabela 3 - Ensaio da Tensão Suportável de Impulso Atmosférico

FERRAGEM	TENSÃO SUPORTÁVEL POLARIDADE POSITIVA (kV)	TENSÃO SUPORTÁVEL POLARIDADE NEGATIVA (kV)
18"	2161.9	1981.3
Ferragem LPNE – fase central	(*)	(*)
Ferragem LPNE – fase lateral	2262.0	2747.0

(\*) – isolamento não foi rompido

#### 5.4 Ensaio de tensão suportável de impulso de manobra

A tensão suportável nominal foi determinada através do método dos acréscimos e decréscimos, com 30 aplicações nas polaridades positiva e negativa, sendo a forma de impulso 250/2500  $\mu$ s. Estes ensaios, da mesma forma que os realizados anteriormente em ferragens LPNE/FEX, indicaram que a polaridade negativa apresenta, neste caso, como nas ferragens tradicionais, valores de tensão suportável superiores aos de polaridade positiva. Pela Tabela 4 pode-se constatar um desempenho equivalente entre as ferragens LPNE/FEX e 18".

Tabela 4 - Ensaio da Tensão Suportável de Impulso de Manobra

FERRAGEM	TENSÃO SUPORTÁVEL POLARIDADE POSITIVA (kV)	TENSÃO SUPORTÁVEL POLARIDADE NEGATIVA (kV)
18"	1457.3	---
Ferragem LPNE – fase central	1406.0	---
Ferragem LPNE – fase lateral	2377.0	2412.0

Como pôde ser visto, devido às dimensões da configuração das cadeias da LPNE e às características dos ensaios deste projeto de P&D de FURNAS, o laboratório de Alta Tensão Interna do CEPEL está no seu limite para a realização destes testes. Não obstante, estão atualmente em desenvolvimento no Brasil vários outros estudos para aplicação em LT's em corrente alternada com dimensões e configurações similares a esta, com feixe de 6 condutores ou mais, dimensões superiores a 2m e forte acoplamento entre as fases. Por esta razão, o CEPEL está construindo um novo laboratório que permitirá a realização de ensaios em corrente alternada até 1100 kV e em corrente contínua até  $\pm$  800 kV. A previsão é que este novo laboratório esteja concluído em outubro de 2010.

#### 6.0 - Construção do Trecho de LPNE Experimental

Vencidas as etapas de estudos e pesquisas, projeto, fabricação e ensaios elétricos das cadeias no CEPEL, e após a obtenção da licença ambiental, deu-se início à efetiva construção de um tramo experimental de linha com cerca de 2,3 km de extensão e a utilização de 6 estruturas especiais para suportar o arranjo LPNE proposto. Foram utilizadas 3 estruturas de suspensão tipo Cross-Rope e 3 estruturas autoportantes tipo delta convencionais, porém adaptadas para acomodar as cadeias expandidas de 6 condutores por fase. A Figura 8 mostra a plotação da referida linha, feita utilizando-se o software PLS-CADD. Observa-se que a nova linha foi locada no intervalo entre as estruturas de n°s 192 a 197 da antiga LT 500 kV Angra-Adrianópolis de Furnas, que estava atualmente desativada. A estrutura n° 192 serviu como estrutura de transição da antiga linha com 3 condutores RAIL por fase para a nova configuração com 6 condutores.

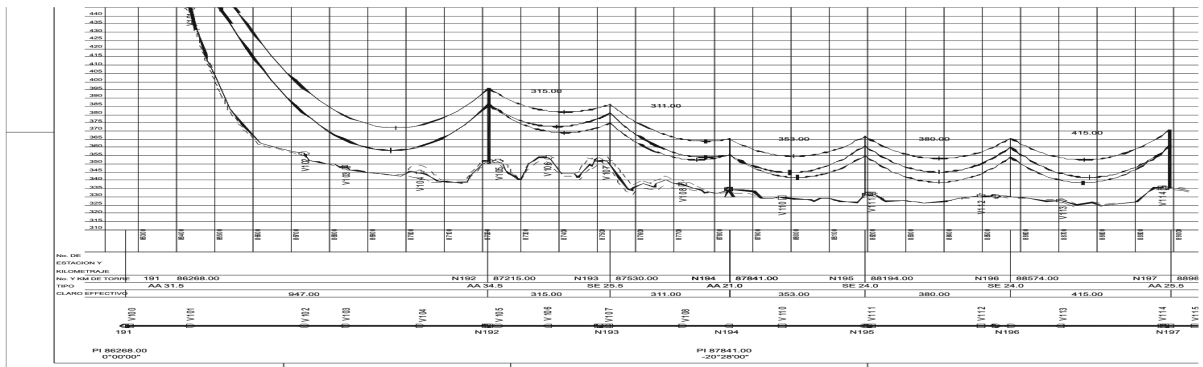


FIGURA 8 - Plotação - Trecho experimental

## 7.0 - Conclusões

Os resultados da pesquisa P&D de Furnas com Linhas de Potência Natural Elevada – LPNE, compacta e com feixes expandidos, se mostraram muito promissores com os testes até então realizados. Os ensaios elétricos feitos no CEPEL, como descritos nos itens 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 anteriores, comprovaram o desempenho previsto nos cálculos, com resultados altamente satisfatórios. Do ponto de vista mecânico e construtivo, a estrutura “cross-rope suspension” com a cadeia mista, projetada com isoladores de vidro e compostos, em delta invertido, intertravada e tracionada com esticador horizontal central, se mostrou estável e com boa performance estrutural. Os estudos de manutenção em linha viva, bem como as simulações de lançamento do feixe de 6 condutores, mostraram-se também viáveis e exequíveis. Uma vez concluída a construção da LT que se encontra em andamento, estão previstas medições em campo, que permitirão a verificação do desempenho tanto elétrico quanto a esforços dinâmicos. Estão previstas também simulações de inovadoras práticas de manutenção em linha viva, propiciando uma nova base de conhecimento que poderá ser utilizada em futuros projetos. Com este projeto de pesquisa, Furnas espera estar contribuindo de forma decisiva para o avanço do conhecimento da tecnologia de transmissão de grandes blocos de potencia a longas distâncias, bem como para a recapacitação de corredores de transmissão existentes que se encontrem congestionados.

## 8.0 – Agradecimentos

Aos órgãos de FURNAS envolvidos neste projeto de P & D, aos Engs. Jorge Luiz de Almeida Lemos e Armando Nigri, da empresa LTS, pelos estudos de manutenção em linha viva, aos Pesquisadores e técnicos do CEPEL pelo apoio prestado na realização dos ensaios, a saber: Darcy Ramalho de Mello, Ozéas Moreno Lima, Luciano Leonado do Nascimento, Frederico Domingos da Cruz, Milton Maurenente e Jorge Fonseca, ao Prof. J. D. Riera e à Dra. T. T. Oliveira, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS e a M.Carvalho, da DAMP Electric Brasil.

## 9.0 - Referências Bibliográficas

- [1] ALEXANDROV, G.N., ESMERALDO, P.C.V., GABAGLIA, C.P.R., GERASIMOV, YU.A., EVDOKUNIN, G.N. – “A Proposed Design for the New FURNAS 500 kV Transmission Lines – The High Surge Impedance Loading Line”, IEEE Transactions on Power Delivery, PE-288-PWRD-0-11-1996.
- [2] DART, F. C., DOMINGUES, L. A. M. C, BARBOSA, C. R. N., RÉGIS JUNIOR, O., PESSOA NETO, CAVALCANTI, S. J. G. – Validação de uma nova tecnologia para transmissão em 500 kV - XV SNPTEE, Grupo III - Linhas de Transmissão, Foz do Iguaçu, PR, 1999.
- [3] GABAGLIA C. P. R., OLIVEIRA C. M. F., SONDERMANN, M. A. - “Avaliação Paramétrica de Feixes Condutores para LPNE em 500 kV”, VII SEPOPE, 21 a 26 de Maio de 2000, Curitiba, PR – Brasil.
- [4] AMON F., J., GABAGLIA C. P. R., OLIVEIRA C. M. F., SONDERMANN, M. A. – “Linhas de Transmissão de Potência Natural Elevada: Um Estudo Paramétrico de Seleção Econômica de Condutores” – IX ERLAC, 27 a 31 de maio de 2001, Foz do Iguaçu, PR, Brasil
- [5] “Compact Line Creator (CLC) program - version 3.02, by Alexander I. Afanasyev”, St. Petersburg Polytechnic Institute, Russia, 1994.
- [6] OLIVEIRA, T., RIERA, J. D. AND MENEZES, R. C. R., Risk of contact failure in bundled conductors in transmission lines subjected to thunderstorms, Sixty International Symposium on Cable Dynamics, Charleston/ SC, EUA, September 2005.
- [7] OLIVEIRA T., “Determinação da Resposta Dinâmica de Feixes de Condutores em Linhas Aéreas de Transmissão”, Doctoral Thesis, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil, 2005.
- [8] OLIVEIRA T., PALUCH. M.J. AND RIERA, J.D., Experimental and numerical assessment of EPS wind action on long span transmission line conductors, J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Elsevier, Netherlands, vol. 95 (2007), pp. 473-492.
- [9] DOMINGUES, L. A. M. C., FERNANDES, C., BARBOSA, C. R. N., DART, F. C., - Cálculo de Campo Elétrico pelo Método de Simulação de Cargas - Relatório CEPEL 923/95.