



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

GLT - 09
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO III
GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO -**

**EMPREGO DE NOVAS TECNOLOGIAS DE MATERIAIS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO AÉREA COM A
SUBSTITUIÇÃO DE CONDUTORES ACSR POR CONDUTORES TERMORRESISTENTES TACSR E TACIR
(INVARIÁVEL)**

Ivo T. Domingues; Julio C. R. Lopes; Lígia M. Rodrigues Mendes; Sérgio Cabral; Roberto Roquelane; Sidnei Ueda; Sergio Anauate

**AES ELETROPAULO AES ELETROPAULO AES ELETROPAULO UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
HOT LINE NEXANS TACTA**

RESUMO

Neste artigo, a AES Eletropaulo apresentará as considerações efetivadas na recapacitação da linha aérea de transmissão conhecida como Sul- Bandeirantes. Esta linha teria uma adição considerável de carga de 200 MVA para 300 MVA e não havia possibilidades concretas, sob aspecto técnico e econômico de instalar uma nova linha paralela ou efetuar uma recapacitação convencional utilizando condutores de maior seção transversal. A solução para a recapacitação indicou a utilização de condutores termorresistentes de mesma seção. Entretanto, em alguns vãos a distância de segurança foi rompida e nesta situação, foi utilizado o condutor termorresistente com aço Invar, com baixo coeficiente de dilatação linear.

PALAVRAS CHAVES:

Termorresistente, Cabo Invar, Recapacitação

1.0 INTRODUÇÃO

Os condutores com o alumínio tipo Al 1350 ou EC, largamente utilizados nos tradicionais condutores tipo CAA – Cabo de Alumínio com Alma de Aço, a temperatura máxima em regime normal de trabalho é de 90°C. Acima desta temperatura inicia-se o processo de recozimento e conseqüentemente, há a deterioração das suas características mecânicas.

Os condutores com a liga de Al Termorresistente podem ser utilizados em regime normal de trabalho em temperaturas de até 150°C, sem que haja deterioração das suas características mecânicas como tração, alongamento e dureza.

Esta liga começou a ter ampla utilização a partir dos anos 80 no Japão, no período áureo do seu crescimento econômico, onde muitas linhas de transmissão tiveram que ser recapacitadas. Além do Japão, esta liga já é utilizada em todo o sudeste asiático (Coréia, Malásia, Cingapura e China), bem como na Europa (Espanha, Inglaterra e Itália).

As linhas aéreas urbanas de transmissão da Eletropaulo caracterizam-se por estarem situadas em regiões densamente ocupadas, com restrições de acesso, com travessias sobre vias públicas e pela proximidade das construções próximas da faixa de servidão.

O Desenvolvimento de alternativas técnicas e econômicas para aumentar a capacidade de transporte de corrente dessas linhas, constitui-se o principal objetivo e desafio desse projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), tendo como premissa básica as seguintes diretrizes:

Necessidade de um aumento de aproximadamente 50% na capacidade de transmissão, de 200 MVA para 300 MVA em 88/138kV;

Aproveitamento da infraestrutura existente (faixas de passagem, estruturas e fundações), o máximo possível;

Manutenção das condições de segurança operacional e confiabilidade das LT's;

Execução dos serviços de melhoria com o mínimo tempo de desligamento;

Necessidade de atender às demandas da população no que se refere aos riscos decorrentes dos efeitos dos campos eletromagnéticos (compatibilidade eletromagnética), devido à proximidade das LT's com edificações urbanas.

Obtenção de soluções com redução de custos de implantação em relação às soluções convencionais.

Este trabalho foi desenvolvido pela AES Eletropaulo.

- S. Ueda, trabalha na Nexans do Brasil (e-mail: sidnei.ueda@nexans.com.br)- S. L. S. Cabral, trabalha na Matrix Engenharia em Energia Ltda (e-mail: Matrix.consultores@matrix.com.br)- I. T. Domingues, L. M. R. Mendes, J. C. R. Lopes trabalham na AES Eletropaulo (e-mail: ivo.domingues@AES.com, ligia.mendes@AES.com, julio.lopes@AES.com) - R. Roquelane trabalha na Hot Line Construções Elétricas Ltda (e-mail: roquelane@uol.com.br)- S. Anauate trabalha na Tacta Engenharia (e-mail: sergio@tacta.com.br)

2. APLICAÇÕES

Recondutoramento e Recapacitação de Linhas de Transmissão Aérea

Linhas de Transmissão sobrecarregadas são recondutoradas e recapacitadas normalmente utilizando-se bitolas maiores o que trás como consequência a necessidade de reforços e/ou aumento das estruturas, troca de isoladores entre outros serviços. A utilização de condutores Termorresistentes de mesma bitola que as do tipo Al 1350 (EC) torna-se uma alternativa atraente evitando, na maioria dos projetos, a alteração das estruturas e acessórios permitindo uma boa economia na obra.

O aumento da capacidade de transmissão de energia elétrica pode atingir limites de até 50% da Potência Nominal pela substituição dos condutores do tipo Al 1350 (EC) por condutores Al Termorresistente.

TABELA 1 Ex. comparativo: Recapacitação com mesma bitola

CABO	Φ EXTER. (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO (kgf/km)	RESIST. EL. CC a 20°C (Ω/km)	I max. (A)
Termor.Grosbeak	25,16	374,8	1.302,8	0,0899	1.190
Grosbeak	25,16	374,8	1.302,8	0,0896	790
Δ %	0	0	0	0,3	50

3.0 CONSIDERAÇÕES SOBRE CONDUTORES TERMORRESISTENTES

São condutores que podem trazer muitas vantagens em vários projetos, tanto pela viabilidade técnica como econômica.

É necessário que se tenha os cuidados específicos que são inerentes em projetos de Linhas de Transmissão, adicionada à condição de operação em altas temperaturas (até 150°C) dos condutores.

4.0 PROPRIEDADES DA LIGA DE Al TERMORRESISTENTE

Apresentamos na tabela 2 as principais propriedades da liga de Al Termorresistente, TAl, comparando-as com as do tipo Al 1350.

TABELA 2 Propriedades:

PROPRIEDADES	UNIDADE	TAI	AI 1350
Ponto de fusão	°C	660	660
Calor específico a 20°	Cal/g20°C	0,22	0,22
Peso específico	g/cm ³	2,7	2,7
Condutividade térmica	Cal/cm.s°C	0,5	0,5
Coefficiente de expansão linear	1/°C	23X10 ⁻⁶	23X10 ⁻⁶
Condutividade elétrica a 20°C	% IACS	60,5	61
Resistividade elétrica a 20°C	Ohm.mm ² /m	0,028736	0,028264
Coefficiente de variação da Resistência elétrica	1/°C	0,0040	0,0040
Resistência à tração	kgf/mm ²	16 a 20	16 a 20
Alongamento em 250mm	%	1,5 a 2,3	1,5 a 2,3
Módulo de elasticidade	kgf/mm ²	6300	6300
Temperatura operação	°C	150	90
Temperatura sobrecarga	°C	180	100
Temperatura curto-circuito (tempo máx. 2s)	°C	260	180

5.0 FERRAGENS PARA CONDUTORES COM ALUMÍNIO TERMORRESISTENTE

5.1 - Grampo de Ancoragem à Compressão

Peça constituída de luva externa em tubo de alumínio extrudado de alta condutividade elétrica e elo de aço forjado zincado a quente.

O dimensional é diferenciado de forma a ter uma área de dissipação maior quando o condutor atinge as altas temperaturas.

O comprimento da peça bem como a sua espessura devem estar devidamente adequadas. Para o condutor tipo T-Grosbeak, o dimensional é apresentado abaixo.

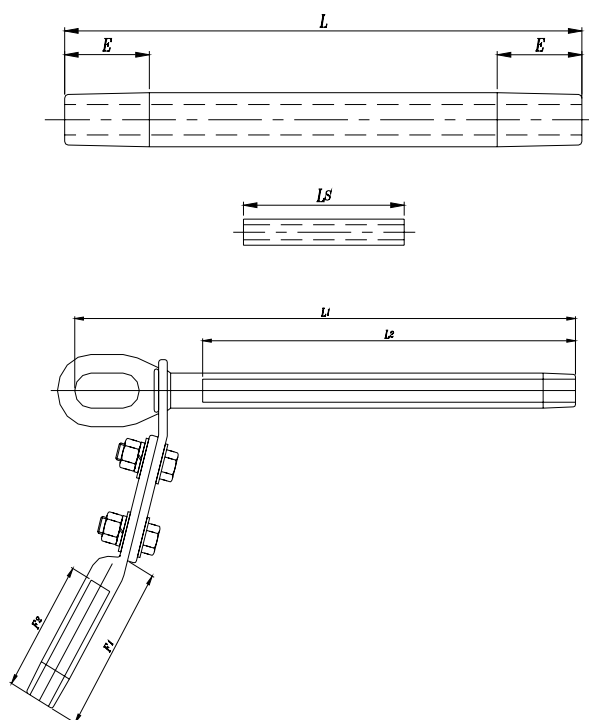
CÓDIGO	APLICAÇÃO		DIMENSÕES	
	MCM	FORMAÇÃO	L1 (mm)	F1 (mm)
T- GROSBEAK	636	26/7	555	165

FIGURA 1 – GRAMPO DE ANCORAGEM À COMPRESSÃO

5.2 - Luva de Emenda à Compressão

Peça constituída de luva externa em tubo de alumínio extrudado de alta condutividade elétrica e luva interna de aço zincado a quente.

Da mesma forma, o dimensional é diferenciado se comparado com o mesmo acessório de um cabo convencional.



APLICAÇÃO			DIMENSÕES		
CÓDIGO	MCM	FORMAÇÃO	L	E	Ls
T-Grosbeak	636	26/7	640	85	200

FIGURA 2 – Luva de Emenda

5.3 - Luva de Reparo

Peça fabricada em liga de alumínio de alta condutividade elétrica.

É utilizada na reparação de cabos condutores de alumínio ou aço/alumínio (CA ou CAA) com um ou mais fios da camada externa danificados, restabelecendo, assim, a condutividade elétrica total do condutor. O Dimensional é igualmente diferenciado, possuindo um comprimento maior quando comparado a uma luva de reparo para um cabo convencional CAA.

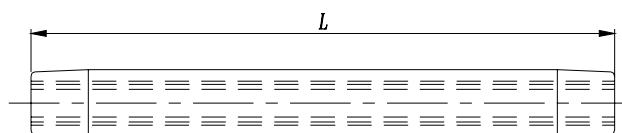


FIGURA 3 – Luva de Reparo

6.0 UTILIZAÇÃO DO AÇO ESPECIAL, INVARIÁVEL

Nas recapacitações de Linhas de Transmissão Aérea com a liga de Alumínio Termorresistente, que possibilita um aumento na capacidade de transmissão de energia elétrica na ordem de 50%, umas das observações e cuidados a serem tomados é a avaliação das distâncias cabo-solo, a qual poderá acarretar no aumento da flecha. Existem soluções praticadas como p.ex. aumentar o tracionamento nos cabos, devendo-se tomar o cuidado de verificar a resistência das estruturas e da vibração eólica dos condutores, outras soluções utilizadas são alterar as torres de suspensão para semi-ancoragem e/ou colocar uma estrutura intermediária num vão crítico.

Entretanto, poderá haver situações em que nenhuma das soluções citada acima atenda o projeto quanto às distâncias cabo-solo.

Para estes casos existe o cabo de Aço Invariável cujo coeficiente de expansão linear é cerca de 1/3 do Aço convencional utilizados nos cabos CAA.

Desta forma, obtém-se uma flecha bem reduzida, solucionando o problema de flecha excessiva.

O Aço Invariável é uma liga de aço com Níquel. Abaixo, as principais características.

AÇO IVARIÁVEL – LIGA AÇO-NÍQUEL	
CARACTERÍSTICAS	VALORES
1. Resistência a tração (Mpa)	1.070
2. Alongamento mínimo em 250mm (%)	1,5
3. Resistividade a 20°C ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)	0,1227
4. Módulo de elasticidade final (GPa)	158
5. Coeficiente de dilatação linear ($\times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)	3,6

7.0 Ensaio de Laboratório Realizados e Resultados Obtidos

São apresentados abaixo os ensaios realizados por tipo de material e um resumo dos principais resultados obtidos no emprego destes materiais, sendo.

- Cabo Termorresistente:

a) Testes Físicos

Foram avaliadas características como diâmetro (mm), peso (g/m), resistência (ohm/0,6 m), resistividade a 20 oC (ohm g/m²), condutividade (% IACS), tensão de ruptura (kgf e kgf/mm²), alongamento (%), ductilidade, tensão de ruptura após retenção (kgf e kgf/mm²), cálculo de retenção (%). Todos os resultados obtidos foram satisfatórios.

b) Termorresistência

Foram avaliadas as características mecânicas em ensaio de longa duração com temperatura constante, no qual o Al Termorresistente foi submetido a 150 oC e o Al 1350 a 100 oC por 10.000 horas; e em outro ensaio de curta duração, no qual tanto o Al Termorresistente como o Al 1350 foram submetidos à temperaturas de 50 a 450 oC, de 50 em 50 oC, por 1 hora em cada temperatura.

Os resultados obtidos mostraram que a tensão de ruptura em nenhum momento ficou abaixo de 90% do valor original. Nestas condições o condutor não se deteriorará mecanicamente mesmo em operação em regime contínuo a 150 oC.

c) Determinação das Curvas de Corrente AC versus Temperatura e Resistência AC versus Temperatura em Cabo de Alumínio Termorresistente

Foram levantadas as curvas de corrente AC versus temperatura e da curva de resistência AC versus temperatura.

d) Ensaio de Ruptura

Os resultados obtidos para a amostra do cabo apontaram carga de ruptura acima do valor de referência para o cabo, a variação do diâmetro do cabo verificada foi menor que 2% e as ondulações ou flechas não ultrapassaram 0,7 mm. A amostra de cabo ensaiado foi considerada aprovada.

e) Ensaio de Fluência 1

A amostra do cabo é tracionada a uma força constante de 21,29 kN que é 19% da carga de ruptura do cabo (112,06 kN), durante um determinado período de tempo acima de 100 horas, no caso 138 horas, com temperatura ambiente controlada.

Os resultados obtidos geraram a curva de fluência com a temperatura.

f) Ensaio de Fluência 2

A amostra do cabo é tracionada a uma força constante de 24,65 kN que é 22% da carga de ruptura do cabo (112,06 kN), durante um determinado período de tempo acima de 100 horas, no caso 123 horas, com temperatura ambiente controlada.

Os resultados obtidos geraram a curva de fluência com a temperatura.

g) Ensaio de Tensão-Deformação

Os resultados da curva Tensão-deformação do cabo apresentam as curvas virtuais do alumínio em 59,41 Gpa compatível e menor que o valor do material alumínio termorresistente de aproximadamente 71 Gpa.

As temperaturas do cabo composto e da alma de aço permaneceram dentro dos intervalos de variação previstos em norma.

Os resultados obtidos geraram as curvas de Tensão-deformação.

h) Ensaio de Amortecimento Próprio do Condutor

Foram obtidas as curvas após a realização de ensaios de amortecimento próprio em vão experimental de 52 m de comprimento em duas amostras do cabo de aproximadamente 75 m.

- Ferragens e Acessórios de Sustentação

Foram realizados os seguintes ensaios de laboratório para as ferragens e acessórios para sustentação do cabo TACSR 636,0 MCM 26/7 Grosbeak Termoresistente:

a) Ensaios Mecânicos para Grampos de Ancoragem à Compressão e Luvas de Emenda à Compressão

As amostras foram submetidas a esforço de tração de 107,35 kN correspondente a 95% da carga de ruptura do cabo (112,06 kN), durante 1 minuto, e verificado se houve escorregamento, e em seguida elevou-se a tração até a ruptura do cabo.

Todas as amostras testadas apresentaram resultados satisfatórios superando o valor mínimo para carga (107,35 kN) sem apresentar escorregamento e valores da carga de ruptura acima da carga de ruptura do cabo (112,06 kN).

b) Ensaio de Ciclo Térmico e Resistência Elétrica para Grampos de Ancoragem à Compressão e Luvas de Emenda à Compressão

Para o ensaio foi montado um conjunto composto pelo cabo, grampo de ancoragem à compressão e luva de emenda à compressão formando um laço, disposto de acordo com a norma CC3.

O ensaio durou 11 dias com 125 ciclos de 1 hora de aquecimento contínuo em CA até atingir a temperatura de 150 oC e efetuada medições da temperatura das ferragens. Após isso o conjunto foi submetido à 1 hora de arrefecimento até a temperatura ambiente e efetuada a medição da resistência elétrica.

Um segundo corpo de prova (laço), porém sem nenhuma ferragem aplicada, foi submetido a 250 ciclos ininterruptos de aquecimento com temperatura constante de 150 oC. Após o término do ensaio elétrico o conjunto foi submetido ao ensaio mecânico de ruptura, no qual ao cabo foram aplicados 2 grampos de ancoragem à compressão.

Os componentes do conjunto (laço) comportaram-se satisfatoriamente, sendo que as temperaturas nos pontos mais aquecidos das ferragens não superaram a temperatura do condutor de referência e nem os valores de resistência elétrica dos trechos compreendendo o grampo de ancoragem à compressão ou a luva de emenda à compressão superaram a do trecho do condutor de referência.

O segundo corpo de prova (laço), submetido ao ensaio mecânico de ruptura também apresentou resultado satisfatório, superando o valor mínimo para carga (107,35 kN) sem apresentar escorregamento e valor da carga de ruptura (136,07 kN) acima da carga de ruptura do cabo (112,06 kN).

c) Ensaio de Aquecimento para Grampos de Suspensão Monoarticulados e Triarticulados

Para o ensaio, o cabo foi montado sem nenhuma ferragem à compressão. Apenas 2 terminais foram comprimidos nas extremidades do cabo para fixação na máquina de ensaio além da armadura heliformada. E os grampos de suspensão foram fixados ao cabo.

No ensaio de aquecimento eleva-se a temperatura do cabo até 150 oC e efetuada medições da temperatura das ferragens.

As ferragens comportaram-se satisfatoriamente, sendo que as temperaturas nos pontos mais aquecidos das ferragens ficaram muito abaixo da temperatura do condutor (150 oC).

d) Ensaios Mecânicos para Grampos de Suspensão

Para o ensaio de ruptura é utilizado um gabarito confeccionado especialmente para o grampo de suspensão com a sua superfície acomodando a parte internado grampo de forma a se ter apoio total na tração. A carga aplicada é de 67,8 kN correspondente a 60% da carga de ruptura do cabo (112,06 kN).

As amostras testadas apresentaram resultados satisfatórios superando o valor mínimo para carga (28,25 kN) sem apresentar escorregamento e valores da carga de ruptura acima de 60% da carga de ruptura do cabo (67,80 kN).

- Cabo Invar

Ensaios físicos

As amostras testadas apresentaram uma espessura média da camada de alumínio 147 μm , carga de ruptura de 944 kgf, alongamento de 1,5 % e resistividade de 0,12717 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

8.0 CÁLCULO MECÂNICO DOS CABOS: TRAÇÕES E FLECHAS

O estudo mecânico dos cabos, com o correspondente cálculo de trações e flechas, é baseado nas características físicas e mecânicas de cada cabo e nas condições meteorológicas da região onde a linha foi construída.

As condições utilizadas no projeto foram:

a) CONDUTOR TACSR GROSBEAK

Temperatura Média (EDS), sem vento: limite de 18% da carga de ruptura.

Temperatura Coincidente, com vento máximo: limite de 50% da carga de ruptura.

Temperatura Coincidente, com vento reduzido: limite de 33% da carga de ruptura.

Temperatura Mínima, sem vento: limite de 33% da carga de ruptura.

Temperatura próxima e abaixo à de Transição (85°C), sem vento.

Temperatura de Transição (90°C), sem vento.

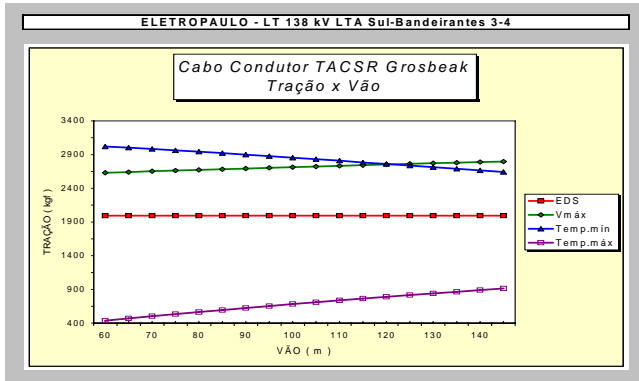
Temperatura próxima e acima à de Transição (100°C), sem vento.

Temperatura Máxima de Trabalho (125°C), sem vento.

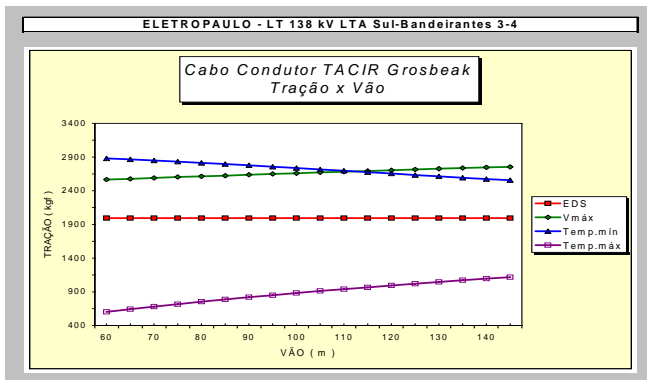
b) CONDUTOR TACIR GROSBEAK

- Temperatura Média (EDS), sem vento: limite de 18% da carga de ruptura.
- Temperatura Coincidente, com vento máximo: limite de 50% da carga de ruptura.
- Temperatura Coincidente, com vento reduzido: limite de 33% da carga de ruptura.
- Temperatura Mínima, sem vento: limite de 33% da carga de ruptura.
- Temperatura próxima e abaixo à de Transição (75°C), sem vento.
- Temperatura de Transição (80°C), sem vento.
- Temperatura próxima e acima à de Transição (100°C), sem vento.
- Temperatura Máxima de Trabalho (125°C), sem vento.

OBS: O cálculo das trações e flechas foi efetuado para a condição final. O efeito do creep foi levado em consideração na elaboração da tabela de esticamento, condição inicial de instalação, através do equivalente térmico de 15°C.



VÃO (m)	TABELA DE TRAÇÕES (kgf)			
	EDS	Vmáx.	Temp. Min.	Temp. Máx.
60	1994	2631	3019	436
65	1994	2641	3002	469
70	1994	2652	2983	502
75	1994	2662	2964	533
80	1994	2672	2943	565
85	1994	2683	2922	595
90	1994	2693	2900	625
95	1994	2704	2878	654
100	1994	2714	2855	683
105	1994	2724	2832	710
110	1994	2734	2809	738
115	1994	2744	2785	764
120	1994	2753	2761	790
125	1994	2763	2738	816
130	1994	2772	2714	841
135	1994	2781	2691	865
140	1994	2790	2668	889
145	1994	2798	2645	912
150	1994	2806	2623	935
155	1994	2814	2601	957
160	1994	2822	2580	979



VÃO (m)	TABELA DE TRAÇÕES (kgf)			
	EDS	Vmáx.	Temp. Min.	Temp. Máx.
60	1994	2667	2881	602
65	1994	2578	2866	642
70	1994	2590	2848	680
75	1994	2602	2832	717
80	1994	2613	2814	752
85	1994	2625	2796	786
90	1994	2637	2777	819
95	1994	2649	2757	851
100	1994	2660	2737	882
105	1994	2672	2717	912
110	1994	2683	2697	941
115	1994	2694	2676	968
120	1994	2705	2656	995
125	1994	2716	2635	1021
130	1994	2726	2615	1048
135	1994	2736	2595	1072
140	1994	2746	2575	1096
145	1994	2755	2556	1118
150	1994	2765	2537	1140
155	1994	2773	2518	1163
160	1994	2782	2500	1183

9.0 EMPREGO DAS TECNOLOGIAS

O emprego destas tecnologias em uma linha de transmissão é apresentada na figura abaixo.



FIGURA 4 – Emprego dos Cabo Invar e Termorresistente

10.0 CONCLUSÕES

Todas as soluções resultantes dos estudos e projeto para a linha piloto, foram realizadas com sucesso, tendo-se obtido os seguintes resultados:

- aumento efetivo de 50% na capacidade de transmissão da linha, passando de 200MVA para 300MVA na tensão de 88kV.
- a infraestrutura existente (faixas de passagem, estruturas e fundações) foi aproveitada totalmente, com pequenos ajustes em algumas fixações dos cabos, sem nenhum tipo de impacto significativo na instalação.
- as condições de segurança operacional da linha foram melhoradas;
- os serviços de melhoria foram executados com desligamento parcial de apenas um dos circuitos, não ocasionando problemas no fornecimento de energia.
- foram efetuados ensaios que comprovaram o atendimento da segurança ambiental quanto aos riscos decorrentes dos efeitos de campos eletromagnéticos (compatibilidade eletromagnética), devido à proximidade da LT com edificações urbanas.
- os custos resultantes das melhorias mostraram-se mais favoráveis do que as soluções convencionais.

11.0 BIBLIOGRAFIA

- (1) "ELECTRIC POWER TRANSMISSION AND THE ENVIRONMENT: FIELDS, NOISE AND INTERFERENCE" - CIGRE - CE-36 - WG-01 - 1993
- (2) "COMPACTING OVERHEAD TRANSMISSION LINES" - CIGRÉ - SC22/33/36 - 1991
- (3) "ELECTROMEGNETIC FIELDS AND HEALTH" - M.Souques, J.Lambrozo E M.Plante - ELECTRA CIGRÉ - OUT/2000.
- (4) "MAXIMIZING THE RATINGS OF NATIONAL GRID'S EXISTING TRANSMISSION LINES USING HIGH TEMPERATURE, LOW SAG CONDUCTOR - M.J.Tunstall, S.P.Hoffmann, N.S.Derlyshire And M.J.Pyke - CIGRÉ Conference 2000.
- (5) Nascimento, C.A. M. do, Giudice, E.B., Mourão, M.A., Brito, J.M.C., Assunção, J.M., Fonseca, B.Q.A., Ferreira, V.O.A.H., Bracarense, A.Q. e Ueda Sidnei - Aumento da capacidade de transmissão de linhas aéreas, utilizando cabo CAA de liga de alumínio termorresistente (TAL) - XV SNPTEE, Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu, PR, 1999
- (6) "COMPACTING OVERHEAD TRANSMISSION LINES" - CIGRÉ - SC22/33/36 - 1991
- (7) "ELECTROMEGNETIC FIELDS AND HEALTH" - M.Souques, J.Lambrozo E M.Plante - ELECTRA CIGRÉ - OUT/2000.
- (8) "MAXIMIZING THE RATINGS OF NATIONAL GRID'S EXISTING TRANSMISSION LINES USING HIGH TEMPERATURE, LOW SAG CONDUCTOR - M.J.Tunstall, S.P.Hoffmann, N.S.Derlyshire And M.J.Pyke - CIGRÉ Conference 2000.
- (9) CORONA AND FIELD EFFECTS OF AC OVERHED TRANSMISSION LINES - INFORMATION FOR DECISION MAKERS - IEEE Power Engineering Society - July 1985
- (10) "CAMPO ELETROSTÁTICO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO E SUBESTAÇÕES - MEDIÇÕES" - Armando Isaac Nigri, Luiz Antonio Rosa Assunção, Renato Leal Crusius - VIII SNPTEE - SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - 1986
- (11) "GUIDELINES AND STANDARDS FOR EXPOSURE TO ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS AT POWER FREQUENCIES" - B. J. Maddock - Paper Prepared For The International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Panel Session On Electric And Magnetic Fields - 31 August 1992 - National Grid Technology And Science Laboratories
- (12) LLNL'S HEALTH & SAFETY MANUAL - Vol. II - Section 8 - Ionizing Radiation/Nonionizing Radiation - Supplement 26.12 Nonionizing Radiation And Fields - May 21, 1998