



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

GLT - 10
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO III
GRUPO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT**

**REPOTENCIAÇÃO E RECAPACITAÇÃO DE LT's DE 230 kV ATRAVÉS DE NOVOS CABOS CONDUTORES
E AUMENTO DA CAPACIDADE DE CARGA DOS SUPORTES
A EXPERIÊNCIA DA ELETROSUL**

***Jorge F. Dutra Franklin F. Lago Eduardo L. Cesar Gilberto Carpeggiani Sidnei M. Ueda
William Schauffert**

ELETROSUL Carpeggiani Engenharia NEXANS W.A. Engenharia

RESUMO

Esta contribuição técnica apresenta a experiência da Eletrosul na recapacitação de linhas de transmissão em 230 kV. O trabalho consistiu na troca do cabo condutor ACSR Grosbeak, existente, pelo cabo termorresistente TACSR Grosbeak e a recapacitação no reforço de suportes autoportantes de aço galvanizado.

São relatados aspectos que levaram a escolha desta solução, aspectos de engenharia de projeto e construção, ensaios dos materiais, critérios de projeto e execução de reforços dos suportes.

PALAVRAS-CHAVE

Linhas de transmissão, Recapacitação, Repotenciação, ACSR, TACSR.

1.0 - INTRODUÇÃO

A crescente demanda de energia elétrica no Brasil e a falta dos recursos necessários para satisfazer as necessidades de investimento em infra-estrutura, implicaram na busca de soluções de engenharia, que resultassem no aumento do fornecimento de energia elétrica, com a confiabilidade necessária, e a custos compatíveis com os recursos disponíveis.

Com o crescimento das preocupações com o meio-ambiente, fez-se necessária, também, a busca de critérios de projeto que minimizassem os impactos ambientais.

Uma solução recentemente adotada no Brasil, foi a utilização de condutores termorresistentes, os quais apresentam as mesmas características eletromecânicas do condutor comum, porém permitem o seu uso em temperaturas mais elevadas, levando em conta o critério de resistência mecânica em relação às temperaturas as quais foi submetido.

Será apresentada a experiência da Eletrosul na recapacitação das seguintes linhas de transmissão:

- LT 230 kV Areia – São Mateus (120 km)
- LT 230 kV Salto Osório – Campo Mourão I (182 km)
- LT 230 kV Salto Osório – Campo Mourão II (182 km)

*Rua Dep Antônio Edu Vieira, 999 - Pantanal - Caixa Postal 5091 - CEP 88040-001 - Florianópolis - SC - BRASIL
Tel.: (048) 231-7905

2.0 - RECAPACITAÇÃO DE LT's

Tendo em vista que estudos no âmbito do CCPE (Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos) indicaram problemas com a região noroeste do Estado do Paraná, agravadas nas situações de intercâmbio sul/sudeste elevados, onde contingências no triângulo de 525 kV, ou da LT Ivaiporã – Londrina, levam a carregamentos inadmissíveis nas LT's 230 kV mencionadas, a seguir caracterizadas na tabela 1.

TABELA 1 - Características das LT's anteriormente a recapacitação:

Linhas Recapacitadas	Areia – São Mateus	Salto Osório – Campo Mourão I	Salto Osório – Campo Mourão II
Tensão	230 kV	230 kV	230 kV
Tipo de circuito	Simplex	Simplex	Simplex
Extensão	129 km	182 km	182 km
Condutor	ACSR 636 MCM Grosbeak	ACSR 636 MCM Grosbeak	ACSR 636 MCM Grosbeak
Número de Condutores por fase	1	1	1
Cabo pára-raios	3/8" EHS, 7/8" ALUMOWELD, OPGW SM 16,4 mm ² e 105 mm ²	3/8" EHS e DOTTEREL	3/8" EHS, DOTTEREL, OPGW ST/ST 57 mm ² e ACS/ST 133 mm ² .
Tipo de isoladores	Vidro Temperado	Vidro Temperado	Vidro Temperado
Número de isoladores	16	16	16
Estruturas	Autoportantes Treliçadas de Aço Galvanizado	Autoportantes Treliçadas de Aço Galvanizado	Autoportantes Treliçadas de Aço Galvanizado
Número de Estruturas	289	397	397
Principal tipo de Fundação	Concreto em Tubulão	Concreto em Tubulão	Concreto em Tubulão
Sistema de Aterramento	Fio de Aço Galvanizado 4 BWG	Fio de Aço Galvanizado 4 BWG	Fio de Aço Galvanizado 4 BWG
Resistência Típica de Aterramento	8 Ω	8 Ω	8 Ω
Capacidade de Transmissão	230 MVA	220 MVA	220 MVA
Entrada em Operação	1977	1975	1975

Em função dos estudos realizados pelo CCPE, entre os reforços necessários para propiciar o adequado atendimento elétrico ao Estado do Paraná, e estabelecer intercâmbios entre as regiões Sul e Sudeste, foram relacionadas às obras de recapacitação para 350MVA destas LT's.

Razão pelas quais, algumas alternativas foram analisadas e considerando-se que o aumento da capacidade de transmissão ocorre somente em regime de contingência, a alternativa que mais se mostrou atraente foi a recapacitação das LT's existentes, através da troca do cabo condutor existente pelo cabo Termorresistente TACSR – Grosbeak, pelos seguintes motivos:

- Custo de implantação bastante inferior comparado com a instalação de novas LT's;
- Custo de perdas elétricas bastante baixas em função do regime de utilização das LT's;
- Custo de reforços baixos, devido à pequena alteração no carregamento das estruturas;
- Tecnologia amplamente conhecida e aplicada a bastante tempo em outros países;
- Rapidez na execução, devido a frequência da execução das obras;
- Nenhum impacto visual e ambiental;
- Utilização da mesma faixa segurança das LT's existentes.

Principais características do cabo de alumínio termorresistente TACSR 636 MCM Grosbeak, nas LT's recapacitadas:

TABELA 2 - Características do cabo TACSR 636 MCM Graobeak de acordo com a potência de transmissão.

Potência de Transmissão	350 MVA
Corrente no condutor (*)	955 A
Temperatura no condutor (*)	105°C
Resistência elétrica	0,12222 Ω/km
Perdas Efeito Joule Total	0,23 MW/km
Perdas percentuais / km	0,07 %

Nota: (*) Condição de temperatura ambiente de 30°C, com sol e vento de 1m/s.

Na tabela a seguir são apresentadas as principais propriedades da liga de alumínio termorresistente (TAL) em comparação com a liga de alumínio tradicional (Al 1350) utilizada em cabo condutores.

TABELA 3 – Principais propriedades da liga de alumínio TAL e AL 1350.

PROPRIEDADES	UNIDADE	TAL	AL 1350
Ponto de fusão	°C	660	660
Calor específico a 20°C	Cal/g 20°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	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 250 mm	%	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

2.1 – Critérios de Projeto

2.1.1 – Considerações básicas

Para viabilizar a troca dos condutores, adotaram-se nos estudos básicos do projeto as seguintes premissas:

- Mudar o cabo ACSR Grosbeak existente pelo cabo de liga termorresistente TACSR Grosbeak sem provocar o acréscimo de estruturas, sem alterar fundações e sem acrescentar extensões nas estruturas;
- Atender as distâncias de segurança segundo a NBR 5422, com o menor impacto físico possível;
- Em caso do não atendimento das distâncias de segurança, solucionar através do aumento da tração de EDS do condutor, troca da cadeia de suspensão por semi-ancoragem e finalmente pela raspagem do terreno;
- Não provocar grandes reforços estruturais, mantendo-se os mesmos critérios utilizados no cálculo do carregamento mecânico da época de instalação da LT;
- Não comprometer o desempenho a descarga atmosférica.

2.1.2 – Desenvolvimento do Projeto

Ao se aumentar a temperatura de um cabo ACSR ou TACSR, pelo efeito da dilatação térmica, este passa a apresentar uma flecha maior e uma tração horizontal menor, sendo necessária uma revisão dos valores de distâncias de segurança cabo-solo em cada trecho das LT's.

A partir das trações calculadas para a temperatura máxima de 105°C, foram inseridos no programa PLS-CADD as curvas das catenárias do cabo TACSR Grosbeak em toda a extensão das LT's e introduzidas as curvas que

representam as distâncias de segurança mínima para o solo. Verificou-se, então, a existência de pontos com espaçamentos insuficientes.

Como as LT's em questão haviam sido calculadas pela antiga norma NBR 182, constatou-se que com adoção da NBR 5422, havia uma "folga" nos espaçamentos, que foram utilizados para compensar o abaixamento devido ao aumento da temperatura final do cabo.

As LT's em questão haviam sido projetadas considerando um espaçamento vertical mínimo para o solo de 8,0 m, passando-se a adotar as distâncias conforme tabela abaixo:

TABELA 4 – Distância de segurança, de acordo com a NBR 5422, para condições normais.

NATUREZA DO OBSTÁCULO	D (m)
1. Locais acessíveis a pedestres e onde circulam máquinas agrícolas	7,39

Além disso, aumentou-se a tração EDS do cabo condutor de 18,5% para até 22% da tração de ruptura do cabo. Os valores de tração inicial (de lançamento) foram obtidos a partir das seguintes condições de governo:

- Para os vãos equivalentes acima de 234m: flecha do cabo ACSR GROSBEAK a 60°C igual à flecha do cabo TACSR GROSBEAK a 105°C, sem vento, final, equivalente a valores de tração EDS de 19% a 22%, variando conforme o vão.
- Para os vãos equivalentes abaixo de 234m: EDS do cabo TACSR GROSBEAK, a 15°C, condição final, sem vento, igual a 22% da carga de ruptura (2495kgf).

Com a adoção destes critérios pôde-se limitar o acréscimo da tração longitudinal nas estruturas das LT's, diminuindo o nível de reforços.

Por outro lado, como na LT 230 kV Salto Osório – Campo Mourão II e na LT 230 kV Areia - São Mateus, um dos cabos pára-raios convencional já havia sido substituído por cabos OPGW, com características técnicas de peso e diâmetro superiores, houve a necessidade de limitar a tração longitudinal do cabo TACSR, para manter-se um nível adequado de proteção das LT's quanto às descargas atmosféricas.

Para maior confiabilidade e segurança do projeto executivo foi feita uma verificação no campo, do perfil, vãos, tipos de torres, desníveis, novas travessias, confrontando com o projeto existente para verificar os pontos críticos.

Após a aplicação das novas tabelas de flechas e trações, verificou-se que havia necessidade de apenas duas raspagens de terreno e quatro trocas de cadeias de suspensão por semi-ancoragem para ser mantida a distância de segurança, para um total de 488 km de LT's onde os cabos TACSR foram lançados.

Na análise estrutural foram consideradas todas as hipóteses de carregamento dos suportes, sendo a hipótese de rompimento de um cabo condutor, a única que levou a necessidade de reforços.

Para as novas condições de carregamento, observou-se a necessidade de reforços em apenas 186 das 1084 estruturas, e que equivale a 17% das estruturas, sendo a grande maioria dos reforços executados nas barras da base de extensão do corpo básico (próximo às pernas).

Não houve a necessidade de reforços em fundações.

Adotou-se a tração máxima de 22% da tração de ruptura do cabo condutor na condição EDS, para obter-se o nível de amortecimento desejado para o cabo, no entanto, para grande parte dos vãos a tração é inferior a 20%.

2.2 – Ferragens e acessórios

Em virtude das características térmicas do cabo termorresistente, foram utilizadas ferragens e acessórios compatíveis com as altas temperaturas do cabo condutor.

2.2.1 – Acessórios

Considerando a necessidade de uma maior irradiação de calor do cabo, os seguintes acessórios, que estão em contato direto com o cabo condutor, foram reprojatados e testados para operar nesta condição, apresentando como consequência massa e dimensões maiores que os convencionais:

- Luva de emenda;

- Luva de reparo;
- Luva de compressão do grampo de ancoragem.

2.2.2 – Amortecedores Stockbridge

Quando da substituição do cabo condutor, observou-se que os amortecedores existentes apresentam deficiência no seu desempenho. Em função disto foram instalados novos amortecedores de Stockbridge adequados à operação a alta temperatura e obtendo-se resultados satisfatórios para a tração EDS de 22%.

2.2.3 – Grampo de suspensão

Os grampos de suspensão existentes foram testados e considerados adequados para reutilização. Havendo a necessidade de apenas utilizar armaduras heliformadas para melhor dissipação do calor.

2.2.4 – Cadeias

Foram mantidos todos os elementos componentes das cadeias, com exceção do grampo de ancoragem a compressão, armaduras heliformadas e os grampos de passagens.

2.3 – Ensaio

Foram realizados os seguintes ensaios de projeto no cabo TACSR e ferragens:

2.3.1 – Cabo TACSR

- Ensaio de Tensão – Alongamento;
- Ensaio de Resistência a CA.;
- Ensaio de Resistência a CC, 20°C;
- Ensaio de Fluência;
- Ensaio de Resistência a Ruptura;
- Ensaio de Auto-amortecimento;
- Ensaio de Corrente x Temperatura;
- Ensaio de Temperatura x Tração dos fios.

2.3.2 – Ferragens e Amortecedores Stockbridge

- Ensaio Mecânico (Ruptura e Escorregamento);
- Ciclo Térmico;
- Fadiga;
- Torque.

Nota: Os ensaios foram realizados nos laboratórios do CEPEL, LACTEC, FORJASUL e NEXANS. Nos ensaios de Ciclo Térmico, na condição do cabo à temperatura de 150°C e temperatura ambiente de 20°C, obteve-se uma temperatura máxima nas ferragens entre 70°C e 90°C. Durante o ensaio do Ciclo Térmico, a resistência elétrica, dos grampos e das luvas de emenda à compressão, mantivesse inferior à resistência elétrica do condutor.

2.4 – Aspectos Construtivos

1 – Não houve necessidade de lançar o cabo piloto de aço, tendo sido utilizado o próprio cabo condutor existente ACSR Grosbeak, pois o mesmo estava ainda em boas condições para ser tracionado, baixando-se desta forma o custo e o tempo de lançamento.

2 – O cabo ACSR Grosbeak retirado foi rebobinado e posteriormente vendido como sucata, contribuindo para diminuir os custos do empreendimento.

3 – A ELETROSUL obteve permissão para desligar uma linha de cada vez, sendo que o período para execução das obras foi o seguinte:

- | | |
|--|-----------|
| a) LT 230 kV Salto Osório – Campo Mourão I: | 3,5 meses |
| b) LT 230 kV Salto Osório – Campo Mourão II: | 3,5 meses |
| c) LT 230 kV Areia – São Mateus: | 2,5 meses |

Em caso de emergência no sistema elétrico de transmissão, a linha desligada deveria retornar no máximo em seis horas.

4 – Os cabos TACSR foram lançados com as LT's paralelas energizadas, tendo-se tido cuidados especiais, com o aterramento nas estruturas e equipamentos, devido a alta indução elétrica existente.

5 – Não houve maiores empecilhos para execução das travessias, pois os proprietários entenderam a instalação como uma revitalização das LT's, muito embora todas elas tenham sido reprojatadas.

6 – Os poucos casos de distância de segurança inadequados encontrados, foram solucionados com a raspagem do terreno e com a mudança do tipo de cadeia.

7 – Os reforços estruturais das LT's foram executados posteriormente ao lançamento do cabo termorresistente, pois a hipótese que levou a estes reforços foi a de rompimento dos condutores, considerada de pequena probabilidade de ocorrência.

3.0 - CONCLUSÃO

Com as recapacitações efetuadas, a Eletrosul aumentou a capacidade de transmissão de energia destas linhas em 50%, sendo necessário um investimento reduzido em relação à construção de uma nova linha de transmissão.

Utilizou-se a mesma faixa de segurança, reduzindo a zero os impactos ambientais e sociais do recondutoramento, que seria significativo caso se optasse pela construção de novas linhas.

Através da recapacitação foi possível atender os prazos curtos estabelecidos para viabilização das obras, tendo em vista que as mesmas foram consideradas emergenciais.

A recapacitação e repotenciação destas Linhas resultaram em um benefício sistêmico, reconhecido pelo ONS, sendo a empresa transmissora ressarcida dos custos envolvidos.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] NBR 5422 – Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica.

[2] IEC 826 – Loading and Strength of Overhead Transmission Lines

[3] ASCE 52 – Guide for Design of Steel Transmission Towers.

[4] NBR 8850 – Execução de Suportes Metálicos Treliçados para Linhas de Transmissão - Procedimento

[5] Especificações Técnicas de Projeto, Suprimento e Construção da ELETROSUL.