



GLT/014

21 a 26 de Outubro de 2001
Campinas - São Paulo - Brasil

GRUPO III GRUPO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

PROCEDIMENTOS DE RECAPACITAÇÃO DA LINHA DE TRANSMISSÃO 230 KV MILAGRES-BANABUIU-FORTALEZA PELO SISTEMA FESTÃO

Roberval Luna da Silva-CHESF (*) José Eduardo Teixeira Nóbrega-CHESF Antonio Pessoa Neto-CHESF
Oswaldo Régis Júnior-CHESF Sebastião Gusmão Cavalcanti-CONSULTOR

BRASIL

RESUMO

O informe técnico descreve os procedimentos construtivos adotados durante a recapacitação da linha de transmissão 230kV Milagres-Banabuiu-Fortaleza. Esta recapacitação foi projetada com o objetivo de aumentar a potência natural da linha ao introduzir um condutor adicional em cada fase existente. O processo de recapacitação consistiu em lançar este cabo adicional junto a cada fase da linha. Após nivelado e grampeado no vão de frente e vão de ré, próximo das cadeias de cada Grosbeak já existente, era o mesmo fixado por suspensão nos pontos intermediários no vão original do cabo Grosbeak formando sub-vãos ou festões. Apesar da simplicidade das operações de campo nesta obra foram aplicadas técnicas inéditas de trabalho. As conclusões do IT se referem aos aspectos técnicos, produtividade e benefício x custo do empreendimento.

PALAVRAS-CHAVE

Linhas de transmissão - Recapacitação - Potência Natural Elevada.

1.0 - INTRODUÇÃO

A linha recapitada foi construída em 1977 com estruturas metálicas, na configuração original de circuito duplo trifásico, com um condutor Grosbeak ACSR 636 MCM 26/7 por fase, dois pára-raios Allumoweld 3 N.7 AWG e isolamento com 16 isoladores disco de vidro. O cabo introduzido é do tipo

Beetle, com seção 100 mm², diâmetro 13,35 mm, massa 292,5 g/m e carga de ruptura 1781 daN.

A extensão recapitada totaliza 402 quilômetros, com dois trechos básicos: Milagres-Banabuiu com 226 Km e Banabuiu-Fortaleza com 176 Km. Os serviços foram realizados mantendo um circuito energizado e o outro desenergizado, aterrado e isolado nos terminais, com desligamentos diários das 6:00 horas às 17:00 horas.

2.0 - ELEMENTOS DE PROJETO

A nova concepção eletro-mecânica foi desenvolvida pela CHESF com o apoio do CEPEL, aproveitando os conceitos de Linha de Potência Natural Elevada-LPNE, cujo resumo já foi objeto de artigos técnicos anteriores [1]. Os aspectos construtivos de maior interesse na construção são os detalhes de fixação (Figura 1) e as tabelas de instalação do cabo adicional. O travamento do cabo Beetle foi projetado isolando vão a vão do tramo de lançamento, antes e após cada torre existente, com alças preformadas para Grosbeak/Beetle tipo redução de referência APAR-1001W; conectores tipo cunha para Grosbeak/Beetle de referência 602121-9 ou 493929-1; e conectores tipo cunha para Beetle/Beetle de referência 600466-0. A instalação dos sub-vãos foi feita implantando alças preformadas de suspensão tipo redução para acoplamento Beetle/Grosbeak de referência APSR-1002.W, nos pontos indicados pelo projeto (Foto 1).

(*) COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO - CHESF
Rua Delmiro Gouveia, 333 - Bongi, Recife-PE CEP 50.761-901
Tel: (081) 3227-1994 - Fax (081) 3229-2731

As tabelas de nivelamento e grampeamento deslocado do cabo Beetle na condição anterior à criação dos sub-vãos, com tração de lançamento previamente avaliada, foram elaboradas por meio de aplicativos computacionais preexistentes. Para instalar os sub-vãos foi desenvolvido um programa específico denominado FESTÃO 2.

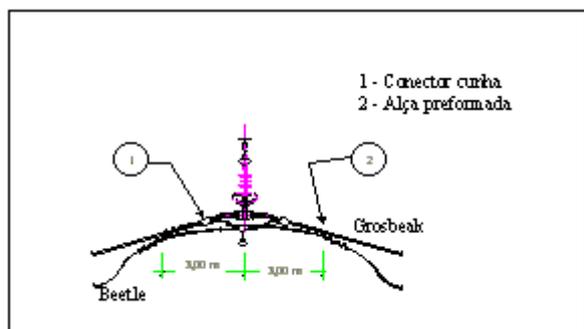


Figura 1 – Detalhes de passagem e ancoragem do cabo Beetle.

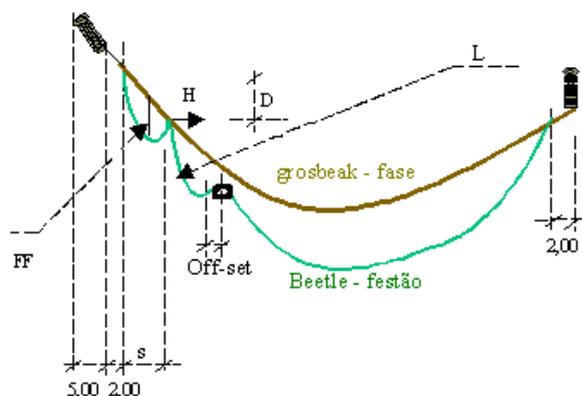


Foto 1 – Materiais de travamento e conexão

Este aplicativo que utilizou o método da convergência total possui dois arquivos executáveis distintos e unificados, com rotinas simples para detecção de erros. As distâncias Beetle-Grosbeak nos pontos de maior flecha dos sub-vãos deveriam oscilar entre valores mínimos e máximos, conforme estabelecido pelo projeto. As flechas acima de um determinado valor significam perdas por efeito corona e abaixo de um limite superior significam menor ganho de potência natural. A principal dificuldade encontrada na concepção deste aplicativo esteve relacionada com a influência de peso do montador + bicicleta no cálculo das flechas e off-sets. Para agilizar a obra durante a marcação dos sub-vãos, acrescentou-se ao programa uma rotina que permite o cálculo da distância percorrida pela bicicleta. Os dados de saída do programa necessários a montagem da obra são os seguintes (Figura 2) :

- v – vão a ser recapitado;
- n – número do sub-vão;
- S – comprimento do sub-vão distância horizontal;
- off – offset de marcação do sub-vão;
- d – distância máxima Beetle-Grosbeak;

Ao usuário é permitido escolher se a instalação do festão será feita considerando ou não o peso adicional de montagem. A primeira opção considera a deformação do condutor Grosbeak, devido ao peso da bicicleta + montador. A segunda opção considera o alívio de carga, estando o montador e a bicicleta apoiados em outra fase.



- Dist – distância percorrida pela bicicleta;
- H – tração horizontal no sub-vão;
- L – comprimento do cabo no sub-vão;
- FF – flecha do festão.

Figura 2 – Dados de saída do programa FESTÃO 2.

3.0 – APOIO LOGÍSTICO E SERVIÇOS PRELIMINARES.

Cinco frentes distintas de recapitação atuaram isoladamente. O sistema de comunicação dentro de cada frente foi feito através de rádios convenientemente distribuídos no campo. Cada frente dispunha de um conjunto básico de equipamentos independentes e compatíveis com o diâmetro mínimo, tração máxima de lançamento, e características de resistência do cabo Beetle: **Guincho ou Puller; Rebobinadores manuais; Cavaletes porta-bobinas; Tensionador ou Freio; Tratores D-8; Tratores de esteira; Roldanas; Grampos esticadores; Dinamômetros; Aparelhos eletrônicos para altura de cabos; Luvas giratórias; Emenda elástica; Cabo piloto; Catracas; Rádios; Arraias; Bicicletas de montagem; Chaves e acessórios diversos; Grampos de aterramento fixo; Sistema de aterramento móvel; Passadiços de borracha; Cercas de**

advertência; Cercas de segurança; Hastes de aterramento; Malhas de aterramento; etc.

Cada frente de recapacitação contou com a presença constante de dois fiscais, munidos com telefone celular e rádios móveis. Coube também à fiscalização a tarefa de rodar na própria obra, as planilhas de nivelamento e grampeamento deslocado, além das tabelas de instalação dos subvãos para formação dos festões.

Equipes distintas foram criadas para executar serviços preliminares anteriores a recapacitação, relacionados com a conferência topográfica, abertura e ou recuperação de acessos, limpeza eventual da faixa, montagem de peças avulsas nas estruturas, reposição de peças, extinção de formigueiros, substituição de parafusos, transporte de bobinas, instalação de equipamentos nas praças de lançamento e instalação de empancaduras .

4.0 – PROCEDIMENTOS CONSTRUTIVOS

Antes de iniciar a construção foi feito um treinamento prático em um tramo experimental com **1943 m** de extensão, composto por 4 vãos. Para efeito de análise e aprovação da fiscalização o empreiteiro apresentou um planejamento executivo detalhado, incluindo o plano de lançamento para os diversos tramos em que a linha foi dividida. Com base na experiência obtida no tramo experimental foi montado um cronograma básico para cada frente de recapacitação, constando das seguintes etapas:

| |
|---|
| 1 ^o dia – Lançamento do cabo piloto; |
| 2 ^o dia – Lançamento do cabo Beetle; |
| 3 ^o dia – Nivelamento e grampeamento do cabo Beetle; |
| 4 ^o dia – Instalação dos sub-vãos |

4.1 – Lançamento do cabo piloto.

A primeira etapa do cronograma básico se iniciava com a montagem de roldanas provisórias, com dispositivos de aterramento deslizante, instaladas a 0,50m do corpo da torre sob as mísulas de cada fase, sendo as mesmas apoiadas por intermédio de uma peça de madeira devidamente projetada. Cadeias basculantes auxiliares de isoladores poliméricos, foram também instaladas a 0,50m das cadeias de suspensão ou ancoragem dos cabos Grosbeak (Figura 3).

O lançamento dos três cabos piloto era feito simultaneamente nas três fases, utilizando um cabo de aço com 3/8” de diâmetro e 6000 daN de capacidade mecânica, pelo processo de tração convencional com

um trator de esteira devidamente adaptado. Os cabos piloto eram lançados sobre o solo passando nas roldanas provisórias e posteriormente presos nos pés das estruturas, permanecendo assim durante o período noturno. Ao final de lançamento, estando o cabo piloto com uma das extremidades chegando ao guincho, a outra extremidade era liberada para o acoplamento do cabo Beetle a ser puxado da praça do freio até a praça do **puller**.

4.2 - Lançamento do cabo Beetle.

Estando o cabo Beetle posicionado corretamente no tambor do freio, iniciava-se o seu lançamento nas roldanas provisórias isoladamente fase a fase, sob tensão mecânica controlada variando entre 500 daN a 700 daN, velocidade limitada em 1000 metros/hora e mantendo o cabo a uma altura mínima de 3,00m do solo. Este lançamento era iniciado pela fase superior, prosseguindo na seguinte seqüência: fase superior/fase central/fase inferior. O cabo condutor era puxado até passar pela última torre antes da praça do **puller**, deixando a sobra para atender as operações subsequentes.

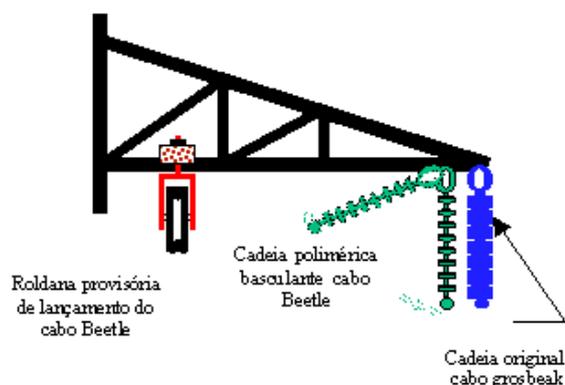


Figura 3 – Pontos provisórios de lançamento do cabo Beetle para efeito de religamento

Imediatamente após o lançamento de cada fase era feita a transferência da mesma para junto do cabo Grosbeak na ponta das mísulas, utilizando um processo de carretilhas móveis ou basculando as cadeias poliméricas auxiliares e encabeçando provisória ou definitivamente a extremidade livre do cabo Beetle no cabo Grosbeak, na última estrutura lado **puller** do tramo. A outra extremidade livre lado freio era liberada e depois transferida para um camelão instalado na ponta da mísula, sendo tracionada sob carga superior àquela estipulada para o nivelamento, de modo a reduzir a distância Beetle-Grosbeak. Posteriormente era ancorada provisoriamente no cabo Grosbeak, retirando-se as ferramentas de tracionamento. Este procedimento permitia que a linha fosse devolvida

para operação noturna, com o cabo Beetle numa situação provisória de religamento. Nos vãos muito grandes instalava-se preformados provisórios ao longo do vão, para evitar que a maior densidade de corrente no cabo Beetle aumentasse termicamente a flecha do feixe, o que acarretaria maior carga mecânica no cabo guia e progressivamente o aumento da sua flecha, até então tocar na fase seguinte desligando a linha. Ao final de cada turno de desligamento a linha era vistoriada pela fiscalização e liberada para energização, ficando os cabos numa situação provisória, ancorados temporariamente nas extremidades livres do tramo de lançamento e em suspensão através de cadeias poliméricas auxiliares de 500 KV nas torres intermediárias.

Para minimizar o risco de acidentes nos tramos de travessias com outras linhas de transmissão, os serviços foram feitos pelo processo manual, lançando o cabo por meio de bicicletas, com os montadores passando um cabo guia cuidadosamente em bandolas suspensas, convenientemente instaladas no cabo Grosbeak.

4.4 - Nivelamento e grampeamento do cabo Beetle.

No terceiro dia do cronograma básico de trabalho as ancoragens provisórias das extremidades eram retiradas, sendo cada fase do cabo Grosbeak tracionada por uma das extremidades, e nivelada com o apoio de tratores D-8, sob uma tração de regulagem da ordem de 300 daN. Com o auxílio de teodolitos e rádios transmissores, os cabos eram colocados nas flechas indicadas para cada temperatura ambiente, como numa operação de nivelamento tradicional.

Enquadrando-se as flechas de um determinado tramo ou vão e marcados os off-sets, o cabo Beetle era fixado definitivamente ao cabo condutor Grosbeak conforme detalhes de projeto, podendo-se retirar as cadeias poliméricas auxiliares. Para nova energização noturna eram instalados preformados de suspensão ao longo dos vãos, onde as distâncias Beetle-Grosbeak, apresentavam-se superiores a 1,00m.

4.5 - Instalação dos preformados nos sub-vãos

O último dia do cronograma básico era dedicado a retirada dos eventuais preformados provisórios de pernoite, preparação dos jumpers e implantação dos festões, com a instalação das alças preformadas de suspensão tipo redução nos pontos indicados pelo programa. As alças preformadas das fases inferior e central foram instaladas sem a influência de peso homem + bicicleta, utilizando um sistema de cordas de alívio apoiadas na fase superior. Puxada por uma corda

de nylon, a bicicleta devia parar quando o piquete de conferência da distância e prumo indicasse na tabela a distância horizontal ideal de projeto para fixação de cada alça. Durante a obra foi permitido o uso do odômetro nas bicicletas, uma vez que a experiência mostrou que o erro verificado estava dentro das tolerâncias, sendo a topografia usada apenas para dirimir eventuais dúvidas. A fase superior foi instalada com apoio direto do montador + bicicleta sem alívio de peso, tendo as duas fases inferior e central como balizadores de prumo na instalação das alças preformadas. Nos vãos muito grandes e desnivelados onde a distância entre o Beetle e o condutor Grosbeak era elevada, o festão devia ser suspenso por meio de uma mini-roldana até o ponto onde era fixado ao condutor, marcando-se o eixo de grampeamento e os valores dos off-sets tabelados calculados pelo programa FESTÃO-2.

A montagem das alças preformadas de suspensão era feita enroscando a espira mais grossa sobre o Grosbeak, até fechá-la tendo o cuidado de não arranhar o cabo de suporte. Com a marca da vareta sobre o ponto marcado no cabo e a ponta voltada para o meio do vão, verificando se as pontas terminavam por baixo do cabo condutor. Em seguida, enroscava-se a espira mais fina da alça sobre o cabo Beetle, com a marca de fabricação coincidindo com o off-set. Se fosse o caso soltando a bandola e observando se o sub-vão a ré ficou com o espaçamento "al" previsto ou pouco menor, para então fechar as pontas das alça por cima do cabo Beetle sem arranhá-lo.

5.0 – ESPECIFICAÇÕES DE SEGURANÇA

O trabalho foi considerado como um procedimento repetitivo com risco médio de desligamento para o sistema, desde que adotadas as precauções adequadas, principalmente aquelas relacionadas com o aterramento dos equipamentos, a segurança mecânica e outras medidas para evitar aproximações indevidas de objetos com o circuito lateral energizado. Um único responsável autorizado mantinha contato com a operação do sistema, tomando ciência do momento de desligamento. Durante o período de execução das atividades de campo o sistema de religamento automático ficava desativado. Em caso de urgência a linha deveria ser devolvida em uma hora. Cada frente de recapacitação somente poderia iniciar os trabalhos com a presença da fiscalização, em contato permanente com o responsável pelo desligamento, cabendo ao mesmo autorizar o início dos serviços e liberar o empreiteiro ao final de cada turno de trabalho.

As praças do freio e **puller** foram considerados pontos de controle, estando nestes locais posicionados os

rádios principais, para que os operadores estivessem em contato constante com todos os locais importantes da operação. Além dos rádios posicionados no freio e guincho, outras pessoas munidas com rádio para o acompanhamento do piloto e passagem do Beetle ao longo do tramo de lançamento, foram posicionadas em cada ponto importante tais como as travessias.

Embora a linha fosse recebida desenergizada, isolada e aterrada nos terminais foram exigidos aterramentos locais nas três fases do circuito desenergizado. A empreiteira sempre iniciava os serviços aéreos com a instalação dos aterramentos nas torres de um determinado trecho da linha, adjacentes ao tramo de trabalho, utilizando materiais especificados para uma corrente mantida de 400 ampères e corrente de 1500 ampères durante 30 ciclos, por meio de bastões de linha viva, obedecendo à seqüência correta de instalação: ligação do grampo de aterramento para superfícies planas das estruturas metálicas, seguindo-se a instalação dos grampos de aterramento nas superfícies condutoras cilíndricas. Esporadicamente, foram utilizados aterramentos intermediários, em especial durante a instalação dos preformados para formação dos sub-vãos. Os equipamentos eram colocados nas suas respectivas praças, apoiados sobre as malhas de aterramento, conforme indicado nas especificações técnicas de serviço (Foto 2).



Foto 2 – Sistema de aterramento.

Considerando uma distância de 4,50m entre o ponto de instalação das roldanas provisórias e os respectivos cabos Grosbeak, permitia-se em condições esporádicas que a instalação das roldanas fosse feita com a linha energizada. Caso a programação preestabelecida não fosse concluída a tempo ou a linha fosse solicitada antecipadamente pela operação, adotavam-se as medidas de emergência previstas, visando a devolução do circuito no tempo hábil. Os serviços eram suspensos provisoriamente, em caso de chuvas ou ventos com velocidade acima de 10 m/seg. Para efeito

de entrega da linha por emergência ou energização de rotina, estando a recapacitação em qualquer fase do trabalho, devia-se retirar todos os aterramentos provisórios ao longo do tramo e estruturas adjacentes, descer o pessoal das torres e inspecionar o tramo para verificar se existiam irregularidades de qualquer natureza.

Durante a etapa de lançamento do cabo piloto não havia procedimentos emergenciais, desde que este já estivesse devidamente preso junto ao corpo das estruturas, garantindo a manutenção das distâncias de segurança, sem possibilidade de acidentes provocados por aproximações decorrentes de ventos elevados. Para evitar acidentes de ordem mecânica, minimizando o risco de vandalismo sobre os cabos piloto pernoitando distribuídos no terreno, recomendava-se manter vigilância constante nos locais mais propícios a este tipo de ação. Nas travessias com estradas vicinais caracterizadas pela movimentação esporádica de veículos, mantinha-se o cabo piloto rente ao chão ou enterrado ou ainda instalava-se uma sinalização efetiva. Nas estradas públicas era obrigatória proteção com cavaletes e sinalização por meio de cones, cujos locais já estavam previamente indicados no plano de lançamento.

Recomendou-se que equipamentos tipo **puller** fossem dotados de dispositivos capazes de interromper automaticamente a operação, caso a tração superasse em algum momento o seu valor limite estabelecido. Se houvesse suspensão do desligamento, por motivo emergencial durante o lançamento dos cabos Beetle, com os mesmos ainda nas roldanas provisórias presos aos equipamentos de **puller** e freio, e não havendo tempo de transferência para as cadeias poliméricas auxiliares, o mesmo deveria ser cortado e retirado nos sub-vãos cujo lançamento não foi concluído. A rotina do serviço admitia que após a transferência completa dos cabos Beetle para cadeias poliméricas auxiliares, os mesmos permanecessem durante a noite nesta situação provisória. Somente em casos excepcionais sob a autorização da fiscalização, com a presença de vãos pequenos e baixo risco de desligamento acidental por aproximação devida aos ventos, os cabos adicionais poderiam pernoitar tracionados nas roldanas provisórias instaladas sob a mísula junto ao corpo da torre. Esta condição do cabo Beetle pernoitar nas cadeias poliméricas auxiliares de um dia para o outro junto ao cabo Grosbeak, admitia que a distância entre as fases distintas não fosse superior a 1,00m. Após o grampeamento ou fixação do cabo Beetle não poderia ficar qualquer pedaço de cabo suspenso ou solto, considerando que a linha era religada diariamente.

Durante o nivelamento dos cabos, no caso de uma ou duas estruturas que delimitavam o tramo fossem de suspensão, mantinha-se as cadeias de isoladores originais na posição garantida, através de um estaiamento provisório com isoladores poliméricos de 500 KV entre fases e fase-terra

Após a conclusão dos serviços diários, o fiscal responsável por cada frente de recapacitação autorizava a retirada dos aterramentos no tramo, adotando a seqüência inversa de instalação e comunicava ao responsável geral pelo desligamento.

6.0- CONCLUSÕES

Após a conclusão da obra foram realizadas medições experimentais, em três vãos da linha na sua configuração final de projeto, visando estabelecer o novo perfil do campo elétrico transversal, novo campo magnético transversal típico, avaliações do ruído audível-RA, além de observações do corona visual com equipamentos de visão noturna. Também foram verificadas as distâncias reais entre o cabo original e o cabo adicional, no tocante aos limites mínimos e máximos especificados pelo projeto, e o clearance fase inferior-solo. Com a instalação de um cabo adicional em uma linha existente suspenso nos condutores originais, é de se esperar que apareçam situações críticas de cabo-solo ou agravem situações já existentes. As condições de balanço do novo feixe de cabos é diferente do cabo singular original, embora a formação dos festões acrescente um certo grau de amortecimento. Novos estudos estão programados.

Calculando a produtividade final de cada uma das frentes de recapacitação, após descontar os dias em que a linha não foi disponibilizada pela operação, obteve-se uma média diária igual a 2 km, trabalhando cerca de 11 horas / dia / equipe, para recapacitar a linha 230 KV Milagres/Banabuiu/Fortaleza (2 x 401 Km). O tempo total de construção foi 120 dias corridos.

Os resultados após a conclusão dos serviços, quando associados aos parâmetros elétricos obtidos pela operação do sistema, indicam um aumento de 33 % acima da potência natural original da linha. O custo da montagem e materiais para a recapacitação totalizaram cerca de R\$25.800,00/Km ou seja 25% inferior de uma nova linha com de Potência Natural igual a esta que foi recapacitada, estimado em R\$103.200,00/Km. O tempo de montagem é aproximadamente 1/4 do tempo de um empreendimento normal.

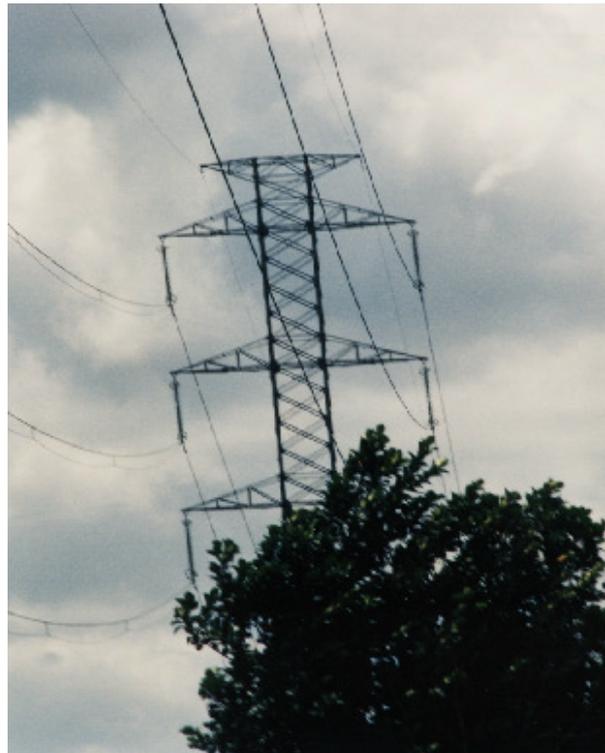


Foto 3 – Aspecto final da linha após a recapacitação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] Antonio Pessoa Neto, Oswaldo Régis Junior, Roberval Luna da Silva, José Sarmento Sobrinho, Sebastião Gusmão Cavalcanti, Fernando Chaves Dart, e Cabral Domingues - Novos Métodos para Aumento de Potência de LT 230 KV : Estudos, Projeto e Implantação Comercial – XV SNPTEE (outubro/99) e Revista Eletricidade Moderna (Abril/2000).