



**XXIII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GLT/07
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

**LT 500 KV CS BARREIRAS II – RIO DAS ÉGUAS - LUZIÂNIA
SOLUÇÃO ELETROMECÂNICA ESTRUTURAL PARA SIL DE 1670 MW**

Rogério Peixoto Guimarães(*)
Ricardo Shiguelo Nakamura
Paulo César Campos
Marina Megale de Carvalho Guerra
SAE TOWERS

Alcedo Quintiliano
ENGEPRO

João Batista G. Ferreira da Silva
PARANAÍBA TRANSMISSORA

Danilo Augusto Soares de Souza

RESUMO

Este informe técnico apresenta os estudos realizados para implementação da inovação técnica desenvolvida para obtenção do SIL de 1670 MW requerido pela ANEEL na LT 500 kV Barreira II – Rios das Éguas – Luziânia, ou seja, uma LT com capacidade de transmissão de energia 60% maior do que uma LT 500 kV convencional. Foram desenvolvidos projetos e realizados ensaios para a concepção do arranjo compacto das fases e da configuração das cadeias, como também a otimização da geometria da cabeça das torres, com o intuito de comportar, tanto do ponto de vista elétrico como mecânico, a configuração dos feixes de condutores que apresentam geometrias distintas para o feixe central expandido e lateral extremamente expandido, todos compostos por seis cabos condutores CAA 795 kcmil Tern por fase.

O informe ressalta como aspecto altamente significativo no desenvolvimento do projeto eletromecânico estrutural, a interação entre os projetistas da LT, das ferragens das cadeias e das torres, na otimização do projeto e nas análises de comportamento e estabilidade das cadeias, no dimensionamento e compatibilização dos engates dos conjuntos de ferragens nas torres, que culminou na realização de ensaios elétricos e mecânicos, cujos resultados plenamente satisfatórios obtidos em laboratórios confirmaram a expectativa esperada de excelente desempenho para a solução encontrada para ferragens e torres na operação e vida útil da LT.

PALAVRAS-CHAVE

Linha de Transmissão, Estrutura Compacta Cross-rope, Feixe Expandido, SIL, Otimização

1.0 - INTRODUÇÃO

As inovações tecnológicas introduzidas neste empreendimento vão de encontro ao atual modelo do Setor Elétrico Brasileiro que aponta para a necessidade de otimização dos projetos de linhas de transmissão, na busca de redução nos impactos ambientais e nos custos de energia, tornando-os mais confiáveis num ambiente mais competitivo, sem deixar de lado, no entanto, os critérios técnicos de segurança e os de manutenção para operação das linhas. Assim ressalta-se a importância de todos os projetistas das empresas consultoras e fornecedoras de cadeias de isoladores e torres, envolvidos num projeto desta natureza, estarem capacitados a responderem muito rapidamente aos desafios dos atuais projetos com estas características e especificidades.

Em dezembro de 2012 a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) realizou o leilão 007/2012 de um conjunto de linhas de transmissão, dentre elas o Lote G constituído pela LT 500 kV CS interligando as Subestações de Barreiras II e Rio das Éguas no estado da Bahia à Luziânia no Distrito Federal com aproximadamente 607 km de extensão. A Paranaíba Transmissora de Energia S.A., empresa controlada pela State Grid, Furnas e Copel, vencedora deste lote de concessão, contratou em regime EPC o Consórcio CCEIP formado por Isolux Projetos e

Instalações Ltda e Engevix Construções Ltda que juntamente com a projetista ENGEPRO e a fabricante de torres e ferragens SAE Towers buscaram as soluções integradas de Engenharia para vencer o desafio de projeto e construção desta linha de transmissão com 6 cabos de condutores por fase e alta capacidade de transmissão (SIL de 1670 MW), conforme especificado no Edital da ANEEL .

2.0 - ASPECTOS DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A seguir são apresentadas as soluções técnicas encontradas para o empreendimento de modo a atender aos desafios impostos pelos requisitos estabelecidos no Edital da ANEEL.

2.1 Aspectos Elétricos

2.1.1. Estudos de Otimização e Parâmetros Elétricos

A LT foi projetada para operar na tensão máxima de 550 kV, sendo as ferragens, acessórios, conexões e demais componentes da LT dimensionados de forma a atender, quando aplicável, as correntes de 4780 A/fase em regime de longa duração e 6020 A/fase em regime excepcional de emergência de curta duração, além da corrente de curto circuito de 50 kA junto as subestações terminais de cada trecho de LT. O projeto de todos estes componentes deve apresentar comprovadamente vida útil compatível com a importância do empreendimento para o setor elétrico brasileiro, e desempenhos adequados frente às correntes de operação e de curto circuito nas condições climáticas mais desfavoráveis encontradas na região de implantação da LT, sem criar qualquer tipo de óbice à operação da LT.

Dos estudos realizados foi definido o arranjo das cadeias com uma configuração expandida distinta para as fases laterais e central, e feita a otimização técnico/econômica do feixe de condutores para atingir a potência natural de 1670 MW. A otimização do campo elétrico superficial foi obtida com um feixe elíptico de 6 subcondutores TERN por fase com o arranjo geométrico mostrado na Figura 1 e que apresentou melhor relação potência natural / exequibilidade de fabricação das ferragens.

A estrutura típica encontrada para a LT como solução a todos os desafios elétricos e mecânicos deste empreendimento foi a torre cross-robe, cujos resultados de geometria, de cadeias e cabos são também apresentados na Figura 1. A solução foi desenvolvida de forma a atender ao SIL da LT e aos gradientes de superfície máximos que devem estar limitados os condutores e ferragens para que não apresentem corona visual em 90% do tempo, para as condições atmosféricas predominantes. Ademais esta configuração deve atender aos limites de campo elétrico e campo magnético, com a LT na tensão máxima operativa, aos limites estabelecidos na Resolução Normativa ANEEL nº 398, de 23 de março de 2010, como pode ser observado na Figura 2.

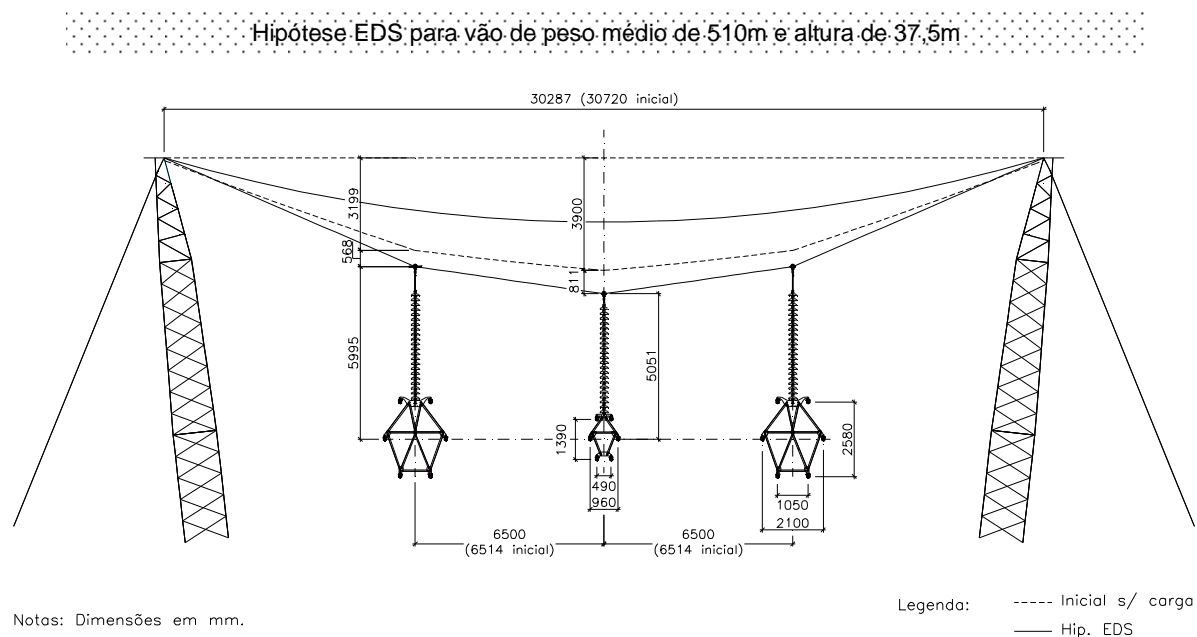


FIGURA 1 – Arranjo as Cadeias na Torre de Suspensão Cross-rope

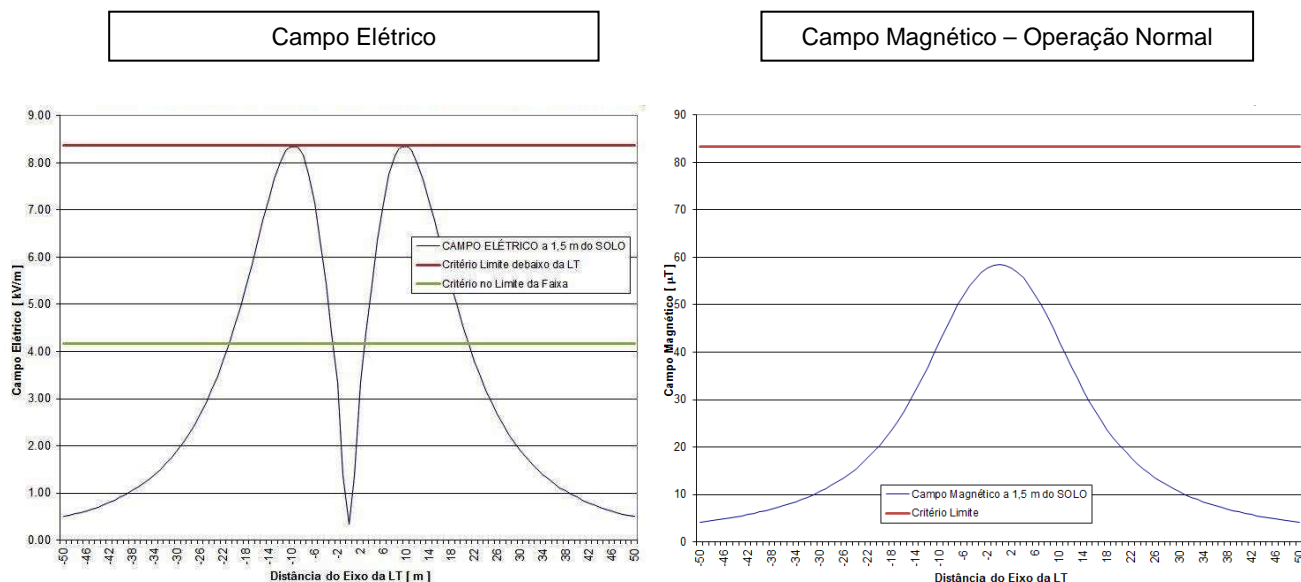


FIGURA 2 – Campos Elétricos e Magnéticos – Estrutura típica LT

Esta configuração da torre predominante resulta nos parâmetros elétricos da LT mostrados na Tabela 1, avaliados por ocasião do projeto básico que resultam no SIL de 1670 MW.

TABELA 1: Parâmetros Elétricos da LT 500 kV Barreiras II – Rio das Éguas - Luziânia

Parâmetro	Unid.	Sequência Positiva	Sequência Zero
Resistência	Ω/km	0,01388	0,35014
Reatância	Ω/km	0,192	1,392
Susceptância	$\mu\text{S}/\text{km}$	8,679	3,199
Impedância Característica	Ω	149	689

O gradiente superficial crítico-eficaz de cada condutor do feixe por fase foi calculado, sendo os valores máximos encontrados para as configurações dos feixes adotados de 18,17 kV/cm (médio) e 19,27 kV/cm (máximo).

2.1.2. Aspectos relativos à Coordenação de Isolamento

O nível de poluição considerado para a região é o do tipo “leve” (nível I) da Tabela II da publicação IEC 60815 [8], o que implica numa distância de escoamento específica de 14 mm/kV fase-fase, o que resultou nas cadeias aplicadas com isoladores de vidro (engate concha-bola) mostradas na Tabela 2, que na tensão máxima operativa atende, no máximo deslocamento das cadeias, a distância mínima fase-terra de 1,10m para qualquer elemento das torres.

TABELA 2: Tipos de cadeias projetadas

Cadeia de suspensão em I	22 isoladores de 160 kN (280 mm x 170 mm)
Cadeia de suspensão em V	2 x 22 isoladores de 210 kN (280 mm x 170 mm)
Cadeia de passagem em I	25 isoladores de 120 kN (254 mm x 146 mm)
Cadeia quádrupla de ancoragem	4 x 23 isoladores de 210 kN (280 mm x 170 mm)

Os riscos de falhas fase-terra nas situações de manobra de energização (10^{-3} fase-terra e 10^{-4} fase-fase) ou de religamento (10^{-2} fase-terra e 10^{-3} fase-fase) no dimensionamento resultante da configuração das cadeias, feixes, para-raios e finalmente do próprio dimensionamento da cabeça das torres, respeitam a distância mínima calculada de 2,35m para qualquer elemento da torre, no caso das fases laterais e, de 2,20m para a o caso da fase central, em atendimento aos requisitos estabelecidos no Edital da ANEEL para surtos de manobra.

Para o desempenho da LT frente às descargas atmosféricas, considerando a configuração obtida para a cabeça das torres, cadeias e cabos, nível cerâmico da região de 70 e uma resistência de aterramento média $R = 20\Omega$, determinou-se no Programa Flash um índice de desligamento de 0,83 falhas/100 km/ano, que atendeu a prescrição máxima de 1 falha/100 km/ano constante no Edital para o empreendimento.

2.1.3. Cadeias de Isoladores e Ensaio Elétricos

Para atender ao SIL da LT, o estudo geométrico dos arranjos das cadeias definiu duas configurações de feixes extra-expandidos com 6 cabos CAA 795kcmil Tern, ou seja, para as fases laterais: altura=2580mm/largura central=2100mm/largura superior e inferior=1050mm e para a fase central: altura=1390mm/largura central=960mm/largura superior e inferior=490mm, ambos simétricos nos eixos vertical e horizontal (ver Figura 3). Esta configuração de feixe se manteve tanto para as cadeias de suspensão, quanto para as cadeias de ancoragem.

- Cadeias de Suspensão

As cadeias de suspensão foram classificadas de acordo com os tipos das estruturas leves e pesadas, 160kN / 180kN e 210kN respectivamente, sendo utilizados os arranjos “III” (torre Cross-rope e portal) e “IVI” (torres de suspensão autoportantes). Na Figura 3 podem ser vistos detalhes dos projetos das respectivas cadeias e dos ensaios elétricos realizados.

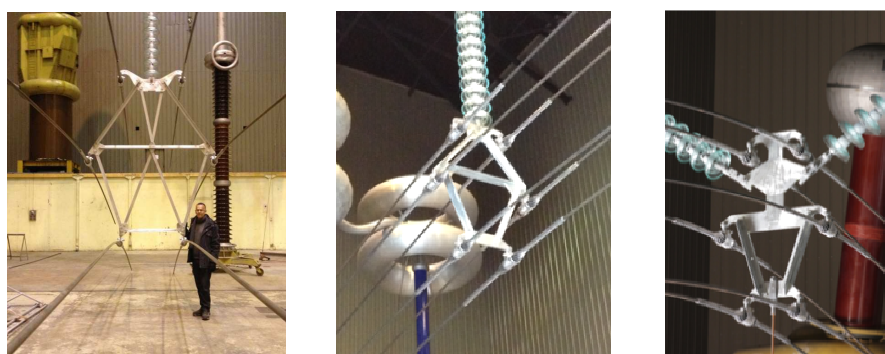


FIGURA 3 – Ensaio de TRI/Corona das Cadeias de Suspensão Lateral “I” e Central “V”

- Conjunto de Passagem

O conjunto formado pelo suporte de jumper contido na cadeia de ancoragem, três cabos CA 2500MCM Lupine para passagem de cada fase e a própria cadeia de jumper, foram definidos de forma a permitir uma melhor conexão elétrica na derivação dos seis cabos Tern. Esta configuração foi desenvolvida de modo a facilitar a passagem do jumper pela janela das torres, otimizando o projeto destas estruturas, já que permitiu uma redução no comprimento das vigas e mísulas das torres de ancoragem. A configuração da cadeia de passagem (ver Figura 4) foi em I utilizando isoladores de 120kN com cabos espaçados de 300mm.

- Cadeias de Ancoragem

Compostas por 4 pencas de isoladores de 160kN ou de 180kN, as cadeias de ancoragem quádruplas, foram projetadas para dois pontos de fixação nas estruturas. O projeto é atípico não somente pela dimensão dos feixes, mas também pela redução de seis cabos derivando para 3 cabos no jumper. Tal complexidade, aliado as flexibilidades ou composições que a cadeia deve atender para os ângulos horizontais e verticais, e possíveis extensores para compensar as trações de esticamento, resultaram no projeto cujas fotos são apresentadas na Figura 4.

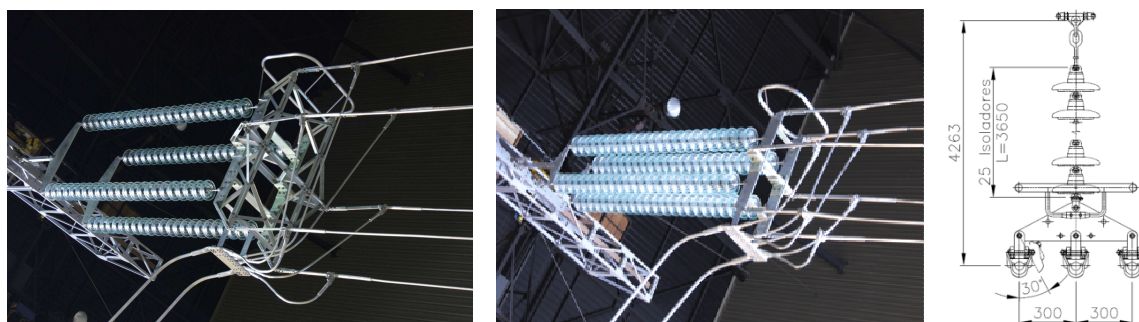


FIGURA 4 – Ensaio de TRI/Corona das Cadeias de Ancoragem Lateral, Central e Projeto Cadeia Jumper

O desenvolvimento dos projetos das cadeias teve grande interface com o projeto das estruturas onde foram analisados conjuntamente as premissas de distâncias elétricas, carregamentos mecânicos e estabilidade dos feixes, este último, principalmente na cadeia “V” (somente utilizado na fase central das torres de suspensão autoportantes).

Os ensaios elétricos foram realizados no laboratório CEB *Centre d'Essais de Bazet*, em Bazet na França, em duas etapas. A primeira etapa, como desenvolvimento interno da SAE Towers, foi realizada antes do processo de compra das ferragens, no início de Dezembro de 2013. Neste período, foram testadas as cadeias de suspensão central e lateral típicas da LT, aplicadas nas estruturas Cross-rope. Os ensaios realizados foram Tensão de Radio Interferência (TRI), Corona e distribuição de potencial, e os procedimentos seguiram a norma IEC-61284 [7] com arranjos que simularam os efeitos de uma fase na outra (torre compacta). Dado ao fato do feixe ser atípico, optou-se por utilizar distâncias menores do que as prescritas pela norma. Foi utilizado um fator conservativo redutor da ordem de 10% nas distâncias para levar em conta o efeito do feixe.

A segunda etapa dos ensaios, foram realizados ensaios de TRI e Corona nas cadeias V, jumper, ancoragem lateral e central, no mesmo laboratório. Os testes de arco de potência foram realizados no laboratório Veiki VNL na Hungria.

Os resultados dos ensaios podem ser observados na Tabela 3. As cadeias tiveram um desempenho excelente comprovando que a distribuição do campo elétrico em feixes extra-expandidos sêxtuplos é melhor do que em feixes convencionais.

TABELA 3 – Resultados dos Ensaios Elétricos TRI e Corona

Cadeia	TRI (μV)		Corona (kV)	
	Especificado	Encontrado	Especificado	Encontrado
Suspensão I Central	Máximo de 500	56	Mínimo de 335	392
Suspensão I Lateral		40		417
Suspensão V		100		400
Passagem		13		351
Ancoragem Central		56		> 400
Ancoragem Lateral		89		> 400

2.2. Aspectos Mecânicos e Estruturais

2.2.1. Confiabilidade Mecânica

Para determinação do carregamento mecânico atuante na LT 500 kV CS Barreiras II- Rio da Éguas – Luziânia foi elaborado um estudo de confiabilidade mecânica levando-se em consideração a probabilidade de falha conforme recomendações do IEC-60826 [2], estudos de dados de vento disponíveis na região de implantação do empreendimento e o Edital da ANEEL que estabelecia um período de retorno de 250 anos.

Os estudos estatísticos de vento indicaram o valor de 23,61 m/s para a Velocidade de Vento de Referência (V_R) definida como sendo a velocidade de vento que ocorre a 10 m sobre o terreno, em lugar aberto, plano e com poucos obstáculos (rugosidade B), com período de integração de 10 minutos e para um período de retorno de 50 anos. Para o nível de confiabilidade correspondente ao período de retorno de 250 anos, obteve-se a Velocidade de Referência de 27,77 m/s.

Conforme solicitado no Edital da ANEEL também foram consideradas hipóteses correspondentes a ventos de alta intensidade que atuam em frentes de pequenas dimensões, como as que ocorrem em Tormentas Elétricas (TS). Para o período de retorno de 250 anos, os estudos realizados indicaram a velocidade de vento de 44,44 m/s com período de integração de 3s. Este vento de alta intensidade tem como característica não variar com a altura e, devido as pequenas dimensões das frentes, foi considerado atuando integralmente sobre a estrutura e sobre 25% do vão de vento das estruturas. A Tabela 4 apresenta os valores das pressões de vento finais adotadas no projeto:

TABELA 4: Pressões de Vento de Projeto

Vento	Componente	Pressão final de vento (kgf/m^2)
Extremo	Condutor	84,0
	Para-raios	90,0
	Estrutura	$44,1 \times G_T$
Tormentas Elétricas	Condutor	125,0
	Para-raios	
	Estrutura	

Adicionalmente, as estruturas auto-suportadas foram verificadas conforme recomendações da Brochura Cigre 350 [5], de modo a conferir maior confiabilidade à LT.

2.2.2. Critérios para Tracionamento dos Cabos

Foram adotados os seguintes critérios para o cálculo das trações dos cabos condutores e para-raios:

- Sob ação do vento extremo ($T = 250$ anos), tração axial limitada a 70% da carga de ruptura do cabo, associada à temperatura de 17°C ;
- Sob ação do vento nominal ($T = 50$ anos), tração axial limitada a 50% da carga de ruptura do cabo, associada à temperatura de 17°C ;
- Na condição EDS (sem vento e após creep de 10 anos), tração axial limitada a 20% da carga de ruptura do cabo, associada à temperatura de 22°C ;
- Na condição de temperatura mínima (1°C), a tração axial limitada a 33% da carga de ruptura do cabo.

Respeitados os limites estabelecidos para o cabo Tern, as trações de projeto para os cabos para-raios foram definidas de modo que, na condição a 22°C (EDS) sem vento e final, suas flechas fossem aproximadamente iguais e limitadas a 90% das flechas correspondentes dos condutores.

2.2.3. Série de Torres

Além da Torre de Suspensão Cross-rope compacta com feixe expandido (tipo BLCR), torre típica da LT, foram projetadas mais 6 tipos de estruturas completando a família de torres, conforme mostrado na Tabela 5. Devido às dimensões dos feixes de cabos condutores, às distâncias entre fases e ao critério de alinhamento dos subcondutores intermediários, a estrutura Cross-rope apresentou alturas e abertura entre mastros maiores do que as usualmente empregadas em linhas de 500 kV no Brasil. A Figura 1 mostra parcialmente a silhueta da torre Cross-rope cujo mastro tem altura de até 55,0m. De modo a permitir a substituição da torre de suspensão estaiada Cross-rope por uma torre auto-suportada de mesmo SIL, foi projetada a Torre de Suspensão leve tipo BLPX, tipo portal com tirantes internos e quatro fundações. Entretanto, até o presente momento, não está sendo necessária a sua utilização na linha de transmissão. As demais torres da série foram projetadas para configuração horizontal de fases, porém com maior envergadura devido ao tamanho dos feixes de cabos condutores.

TABELA 5 – Tipos de Estruturas e Aplicações

Torre tipo	Aplicação	Ângulo	Vão Médio (m)	Vão Gravante (m)
BLCR	Suspensão Leve Estaiada Cross-rope	0° a 2°	535 a 0°	700
BLPX	Suspensão Leve Auto-suportada	0° a 1°	535 a 0°	700
BLSP	Suspensão Pesada Auto-suportada	0° a 8°	800 a 0°	900
BLST	Suspensão Transposição	0°	620	800
BLA15	Ancoragem Meio de Linha	15°	400	1000
BLA30	Ancoragem Meio de Linha	30°	400	1000
BLA60	Ancoragem Meio de Linha	60°	400	1000
	Terminal	20° (LT)	400	1000

2.2.4. Critérios de Projeto das Estruturas.

O projeto estrutural foi executado aplicando-se a metodologia dos estados limites últimos. As hipóteses de cargas foram elaboradas de acordo com os critérios estabelecidos na IEC-60826 [2], considerando adicionalmente àquelas referentes aos ventos de alta intensidade (tempestades elétricas) e as recomendações da Brochura Cigré 350 [5], que prevê a aplicação dos ventos de alta intensidade apenas sobre as estruturas.

Para o dimensionamento dos diversos elementos estruturais foram atendidos os requisitos prescritos na ASCE 10-97 [3] e as recomendações do Projeto de Revisão ABNT NBR 8850 – R20 [6], incluindo os coeficientes de minoração de resistência do aço para torres sujeitas ou não a testes de cargas.

Além dos ensaios de cargas executados nas torres tipo BLCR (suspensão Cross-rope), tipo BLSP (suspensão autoportante pesada) e tipo BLA60 (ancoragem para ângulo de 60° graus e terminal) com resultados satisfatórios, foi também realizado de maneira inédita o ensaio de montagem da cadeia central de ancoragem e das cadeias centrais de jumper no protótipo da Torre tipo BLA60, para que se pudesse comprovar as distâncias elétricas de segurança. Devido à dimensão do feixe de 6 condutores Tern da cadeia de ancoragem e à mudança para 3 cabos Lupine no trecho do jumper, de modo a evitar um aumento ainda maior da cabeça das estruturas de ancoragem,

considerou-se importante a execução do ensaio, não só para segurança elétrica do projeto como também para antecipar qualquer dificuldade durante a montagem no campo destas cadeias de dimensões não-usuais.

A Figura 5 mostra os testes de cargas das torres tipos BLCR e BLSP e o ensaio de montagem das cadeias de ancoragem e jumper na Torre tipo BLA60.



Figura 5 – Ensaio de Cargas das Torres tipos BLCR e BLSP – Ensaio de Montagem Cadeias Torre tipo BLA60

É importante ressaltar que os ensaios de montagem das cadeias confirmaram as distâncias elétricas previstas no projeto da estrutura tipo BLA60. Para se determinar as dimensões da cabeça das estruturas de ancoragem, não apenas as torres foram modeladas no programa PLS-Tower, mas também as cadeias de ancoragem e jumper com suas reais dimensões e pontos de ataques dos cabos, considerando diferentes ângulos de saída das cadeias de ancoragem. Após a modelagem dos cabos jumper foram feitas as medidas espaciais das distâncias fase-terra e ajustadas as silhuetas das estruturas de forma a atendê-las.

2.2.5. Estabilidade da Cadeia V e Interação do Projeto de Torres e Cadeias.

Para o projeto da cadeia V (aplicada na fase central das estruturas de suspensão autoportantes) foi necessário estudar sua estabilidade, face aos carregamentos mecânicos especificados. Normalmente a excentricidade referente ao ponto de encontro do prolongamento do eixo das penca de isoladores com o centro geométrico das cabos condutores é pequeno para feixes convencionais de 457mm para 3 e 4 cabos. Entretanto, feixes sêxtuplos com a geometria elíptica expandida proporcionam um valor de excentricidade bem maior, na ordem de 3 vezes. Ao se aplicar carregamentos transversais e verticais para análise da estabilidade da cadeia bem como verificação das distâncias elétricas com a estrutura, observou-se uma translação e uma rotação considerável do balancim, o que inviabilizou a solução convencional de conexão da penca de isoladores ao mesmo. Desta forma, foi necessário um estudo especial de modo a tornar a cadeia mais estável e ao mesmo tempo atender as especificações elétricas e mecânicas da mesma. Nesta análise (ver Figura 6), a medida em que mais estável a cadeia ficava, maior o ângulo de rotação do grampo de suspensão devido ao carregamento mecânico. A nova solução foi conectar a penca de isoladores entre os cabos superiores e intermediários do feixe (ver Figura 3). Após várias interações com diversas configurações de cadeia, encontrou-se o ponto de equilíbrio. Tal ponto, resultou em uma excentricidade de ~195 mm com um balanço do grampo de 50 graus.

Dado ao pioneirismo do empreendimento e ao curto prazo para fornecimento dos materiais, destaca-se a celeridade neste desenvolvimento devido ao fato do projetista das estruturas e fornecedor das torres e ferragens ser uma única empresa. Houve também uma

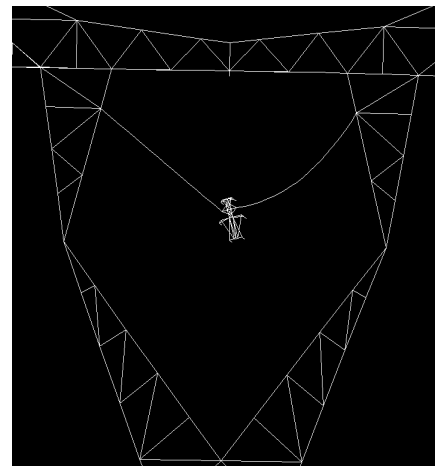


FIGURA 6 - Simulação da estabilidade da Cadeia V no PLS Tower

interação eficaz com o cliente e a empresa projetista da LT. Isto facilitou todo o desenvolvimento da solução aumentando a confiabilidade dos projetos. Além disso, ao contrário do fluxo normal de aquisição das ferragens, quando normalmente há uma defasagem de tempo relativamente grande com relação ao da compra das estruturas, as cadeias foram adquiridas imediatamente após a definição do fornecedor das torres.

Para definição de todos os projetos de cadeias de isoladores, houve uma grande interatividade com o projeto estrutural. Em certos casos, foi necessário alterar a silhueta e detalhamento das estruturas em função da solução adotada para as cadeias tanto de suspensão quanto de ancoragem.

2.3. Aspectos de Construção

A solução encontrada para as torres e cadeias de isoladores trazem aspectos positivos aos serviços de construção e montagem da LT. Do ponto de vista de montagem a estrutura tipo Cross-rope oferece grandes vantagens pela simplicidade da estrutura, podendo ser montada com grande produtividade utilizando-se tanto processos manuais como mecanizados. Como o cabo auxiliar de montagem e o cabo cross-rope são fornecidos cortados nas medidas especificadas e com os dispositivos de fixação e acessórios incorporados nos mesmos, o trabalho de montagem da armação do cross-rope no campo se restringe a fixar os cabos no mastro.

As cadeias de suspensão podem ser montadas pelos processos convencionais empregados nas obras, ressaltando o projeto das cadeias em "V", cuja concepção permite ao montador uma melhor estabilidade do conjunto durante os serviços de lançamento. As cadeias de ancoragem, que apresentam uma maior complexidade de projeto, têm fácil montabilidade com todas as suas peças e conexões claramente apresentadas nos desenhos de montagem. Além disso apresentam uma boa estabilidade do conjunto durante os serviços de lançamento dos cabos, devido ao engate duplo na estrutura, com ajustes adequados ao bom nivelamento dos condutores, inclusive nas situações em ângulo de linha. A confecção do jumper nas torres de ancoragem é facilitada pela redução de número de cabos e pela conexão aparafusada dos terminais no suporte instalado na cadeia de ancoragem.

Os conjuntos de cadeias foram projetados de forma a permitir os serviços convencionais de lançamento de cabos, inclusive o emprego do puller de 240 kN previsto para este empreendimento, com dois freios sincronizados de 160 kN, sendo cada freio para 3 cabos, de modo que os 6 cabos condutores do feixe possam ser lançados simultaneamente e convenientemente com a mesma tração.

3.0 - CONCLUSÕES

A solução compacta com as estruturas de suspensão Cross-rope e feixe de 6 condutores Tern por fase no arranjo apresentado no presente trabalho se mostrou bastante adequada para atender a uma capacidade de transmissão com potência natural de 1670 MW, além de atender simultaneamente a todos parâmetros elétricos e mecânicos requeridos no Edital da ANEEL.

Os ensaios elétricos realizados em laboratórios na Europa, como descritos no item 2.1.3 atestaram o desempenho previsto nos estudos realizados. Do ponto de vista mecânico e construtivo, a estrutura de suspensão compacta Cross-rope com cadeias "I" e feixes expandidos se mostrou adequada e com ótima performance estrutural.

O peso médio de estruturas por quilômetro de linha, com taxa de aplicação de 90% da estrutura de suspensão compacta Cross-rope, ficou em 19,18 t/km, conforme a Lista de Construção, tonelage esta bastante competitiva, quando considerada a potência total transmitida pela LT.

Os projetos das cadeias e torres foram elaborados para permitir a segurança dos serviços de lançamento, nivelamento e grampeamento dos cabos nos feixes de 6 condutores, que somado ao conjunto de investimentos feitos pela CCEIP em novos equipamentos e treinamentos na Itália, concorrerão certamente para o sucesso da construção e operação da LT 500 kV CS Barreiras II – Rio das Éguas – Luziânia.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ABNT – NBR 5422 – “ Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica” - Brasil
- (2) IEC-60826 – Design Criteria of Overhead Transmission Lines. Third Edition 2003-10
- (3) ASCE 10-97 - Design of Lattice Steel Transmission Structures – Edição 2000
- (4) EPRI – EHV Reference Book 345 kV and above, 1982;
- (5) Brochura Cigré 350 TF B2.06.09 – How Overhead Lines Respond to Localized High Intensity Winds, 2008;
- (6) Projeto de Revisão ABNT NBR 8850 –R20 : Execução de Suportes Metálicos Trelaçados para Linhas de Transmissão- Procedimento, 2005;

(7) IEC-61284 Overhead Lines – Requirements and Tests for Fittings – Edição ‘1997-09

(8) IEC-60815 Guide for Selection and dimensioning of high-voltage insulators for polluted conditions

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

	Rogério Peixoto Guimarães – Nascido em Belo Horizonte/MG em 1957, graduou-se em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais em 1979. Especialização em Engenharia de Estruturas pela UFMG em 1981. Atuou como Engenheiro Projetista de Estruturas Metálicas para LTs, SEs e Torres de Telecomunicações na empresa SBE no período de 1979 à 1993 e na ABB Ltda. no período de 1994 à 2007 como Coordenador e Gerente de Engenharia. A partir de 2007 atua como Gerente de Engenharia da Empresa SAE Towers Brasil Torres de Transmissão Ltda que fornece soluções para o mercado de transmissão de energia.
	Alcedo Quintiliano - Nascido em Rio de Janeiro em 1953, graduou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Veiga de Almeida – RJ em 1978. Atuou em estudos e projetos de Linhas de Transmissão como estagiário na Montreal Engenharia (1975 a 1978), como engenheiro na IESA (1979 a 1985), como engenheiro da Main Engenharia SP/RJ (1986 a 1992), como diretor na SAT Engenharia (1992 a 1999), como gerente de projeto na Marte (1999 a 2009), como gerente de projeto/contrato na SNC Lavalin (2010 a 2013). A partir de 2013 atua como consultor na ENGEPRO Engenharia que fornece estudos e projetos para linhas de transmissão e subestações
	Ricardo Shiguelo Nakamura – Nascido em Ipatinga/MG em 1970, graduou-se em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais em 1993. Pós-graduação em Engenharia Econômica pela Fundação Dom Cabral em 1999. Atuou como Assessor de Pesquisa e Desenvolvimento e Engenheiro Especialista na ABB em projetos tipo EPC (1994 à 2007). No período de 2008 à 2009 foi responsável pela engenharia de Ferragens e Acessórios e a partir de 2010 atua como Gerente de Negócios da Empresa SAE Towers Brasil Torres de Transmissão Ltda. que fornece soluções para o mercado de transmissão de energia.
	Paulo César Campos – Nascido em Contagem/MG em 1970, graduou-se em Engenharia Civil pela UFMG em 1996. Obteve o título de Mestre em Engenharia de Estruturas pela UFMG em 2001. Atuou como Engenheiro Projetista de Estruturas Metálicas para LTs, SEs nas empresas CR Gontijo Engenharia no período de 1996 a 1998, Quintas & Quintas/Damp Electric de 2002 a 2006, SAE Towers de 2007 a 2012 e Leme Engenharia Ltda de 2012 a 2013. Atua desde 2013 como Engenheiro Sênior na SAE Towers Brasil Torres de Transmissão LTDA que fornece soluções para o mercado de transmissão de energia.
	Marina Megale de Carvalho Guerra – Nascida em Brasília/DF em 1981, graduou-se em Engenharia Civil pela UFMG em 2005. Como Engenheira Projetista de Estruturas Metálicas, atuou no período de 2005 à 2007 na CR Gontijo Engenharia, de 2007 à 2012 na Damp Electric e, desde de 2012, atua na SAE Towers Brasil Torres de Transmissão LTDA que fornece soluções para o mercado de transmissão de energia.
	Danilo Augusto Soares de Sousa – Nascido em São José dos Campos/SP em 1981, graduou-se em Engenharia Mecatrônica pela Universidade Paulista de São José dos Campos em 2007. MBA em Gerenciamento de Projetos pela FGV-RJ em 2014. Atuou como Projetista e Engenheiro de Ferragens Eletromecânicas para LTs na empresa SADEFEM no período de 1999 a 2008. A partir de 2008 atua como Coordenador Técnico de Linhas de Transmissão da Empresa ISOLUX Projetos e Instalações Ltda que atua no mercado de construção e concessão de linhas de transmissão de energia.
	João Batista Guimarães Ferreira da Silva - Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais em 1974. Foi professor de estruturas metálicas na Escola de Engenharia da UFMG de 1975 a 2011. Possui vasta experiência no segmento de engenharia, fabricação e implantação de linhas de transmissão de energia no Brasil e exterior. Trabalhou nas empresas Morrison-Knudsen, Mendes Júnior Industrial, Asea Brown Boveri, Quintas & Quintas e DAMP Electric, de 1972 a 2012. Atualmente é Diretor Técnico de empresas de transmissão de FURNAS. Foi presidente do CIGRÉ Brasil de 1999 a 2003, Chairman do SCB2-WG08 - Transmission Line Structures de 1995 a 2010 e atualmente é Chairman do CIGRÉ SC B2 TAG-05 Towers / Foundations / Insulators do Comitê de Estudos B2 - Overhead Lines da CIGRÉ Internacional