



**XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica**  
**SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro**  
**Rio de Janeiro - RJ - Brasil**

Emmanuel Pasqua de Moraes	AES Eletropaulo Metropolitana - Eletr. de São Paulo S.A.	emmanuel.moraes@aes.com
Roberto Silva Vieira	AES Eletropaulo Metropolitana - Eletr. de São Paulo S.A.	roberto.vieira@aes.com
Joaquim Veloso Galvao	AES Eletropaulo Metropolitana - Eletr. de São Paulo S.A.	joaquim.galvao@aes.com
Daniel Gomes da Silva	AES Eletropaulo Metropolitana - Eletr. de São Paulo S.A.	daniel.gomes@aes.com
Gustavo Mafra Lauria	3M DO BRASIL LTDA	gmlauria@mmm.com
Luis Claudio S. Oliveira	3M DO BRASIL LTDA	lsoliveira@mmm.com
Roberto Felizardo Moreno	EDF Engenheiro Associados LTDA	rmoreno@epte.com.br

**Aspectos técnicos considerados na recapacitação de Linhas de Transmissão utilizando condutores termorresistentes**

**Palavras-chave**

Campos magnéticos  
Linhas de Transmissão  
Recapacitação  
Termorresistentes

**Resumo**

Este artigo apresenta a aplicação de cabos termorresistentes, utilizados em uma linha de transmissão de 88 kV pertencente ao sistema da AES Eletropaulo, apresentando os diversos fatores constantes na definição do plano de recapacitação.

Entre os temas abordados no informe técnico estão os critérios de seleção do cabo condutor a ser aplicado na recapacitação desta LTA, os estudos de compatibilidade de flechas e trações entre os cabos existentes e os termorresistentes, avaliação de aspectos e impactos ambientais, avaliação de campos elétricos e magnéticos, a análise estrutural de suportes, e, as fundações as quais encontram-se instaladas há cerca de 40 anos.

**1. Introdução**

O presente informe técnico refere-se à aplicação de cabos condutores termorresistentes, utilizados em linha de transmissão pertencente ao sistema da AES Eletropaulo, sendo discutidos os diversos fatores intervenientes na definição do plano de recapacitação. A linha, operando com cabos 636 MCM GROSBEAK, teria sua potência duplicada, requerendo a substituição dos cabos singelos por feixe de dois subcondutores, de idêntica bitola, por fase, implicando na troca da totalidade das torres instaladas.

Face aos aspectos e impactos ambientais resultantes da substituição dos cabos e estruturas, a concessionária optou pela recapacitação da instalação, sendo mantidos os suportes e substituídos os cabos condutores por alternativa representada por cabos termorresistentes os quais, pelas características elétricas e mecânicas, permitiriam manter as estruturas existentes, desde que se precedesse um efetivo programa de análise e verificação da suportabilidade das torres, aliado à implementação de um plano de revitalização destas, de forma tal a permitir a extensão da vida útil da infraestrutura instalada.

Entre outros temas, são discutidos no informe técnico os critérios de seleção do cabo condutor a ser aplicado na recapacitação desta LTA, os estudos de compatibilidade de flechas e trações entre os cabos existentes e os termorresistentes a serem instalados, a análise estrutural de suportes, a definição de plano de inspeção e amostragem de perfilados, chapas, parafusos e, principalmente, fundações, as quais encontram-se instaladas há cerca de quatro décadas. O trabalho apresenta, compara e discute os critérios de verificação estrutural dos suportes metálicos, sendo apresentada análise comparativa entre as diretrizes de projeto utilizadas pela Light (antecessora da Eletropaulo), e aquelas atualmente praticadas pelo setor elétrico brasileiro, com ênfase para a NBR 5422, com especial atenção para as solicitações decorrentes do vento.

São apresentados os resultados das inspeções nas grelhas e elementos estruturais enterrados, as quais foram precedidas de medição de potencial de corrosão visando delinear critério integrado para seleção de bases a serem escavadas e inspecionadas. Embora a linha de transmissão possua extensão limitada, menos de dois quilômetros, a faixa de passagem encontra-se confinada entre corpo d'água (Rio Pinheiros) e importante viário (Marginal Pinheiros) da cidade de São Paulo, havendo ainda transposição de duas pontes com elevada altura, condições que representaram obstáculos a serem superados para a realização dos serviços de recapacitação, mormente pela impossibilidade de desligamento simultâneo dos circuitos em função da importância da instalação no sistema de subtransmissão da Eletropaulo, a qual fornece energia a duas importantes subestações da concessionária.

Em decorrência da necessidade de atendimento aos baixos limites de exposição a campos magnéticos estabelecidos pela Portaria N.º 80 da Secretaria do Verde e do Meio Ambiente do Município de São Paulo, houve necessidade de avaliar a instalação sob a perspectiva de atendimento aos requisitos do documento legal aplicável tendo em vista que, na configuração inicial a linha de transmissão sobrepassava edifício de usina elevatória, local considerado de permanência prolongada, tendo sido requerido pelo agente ambiental o desvio da linha de transmissão visando evitar níveis de exposição superiores aos limites constantes na referida portaria. Como resultados finais o informe técnico sugere metodologia para elaboração de estudos de recapacitação de linhas de transmissão, estabelece critérios de inspeção e amostragem para verificação da integridade dos suportes de sustentação da instalação, discute os aspectos de caráter ambiental que foram prevalentes na definição das características do projeto e do plano de ataque às obras, e apresenta os resultados da implantação de cabo termorresistente em substituição aos cabos CAA existentes.

## **2. Desenvolvimento**

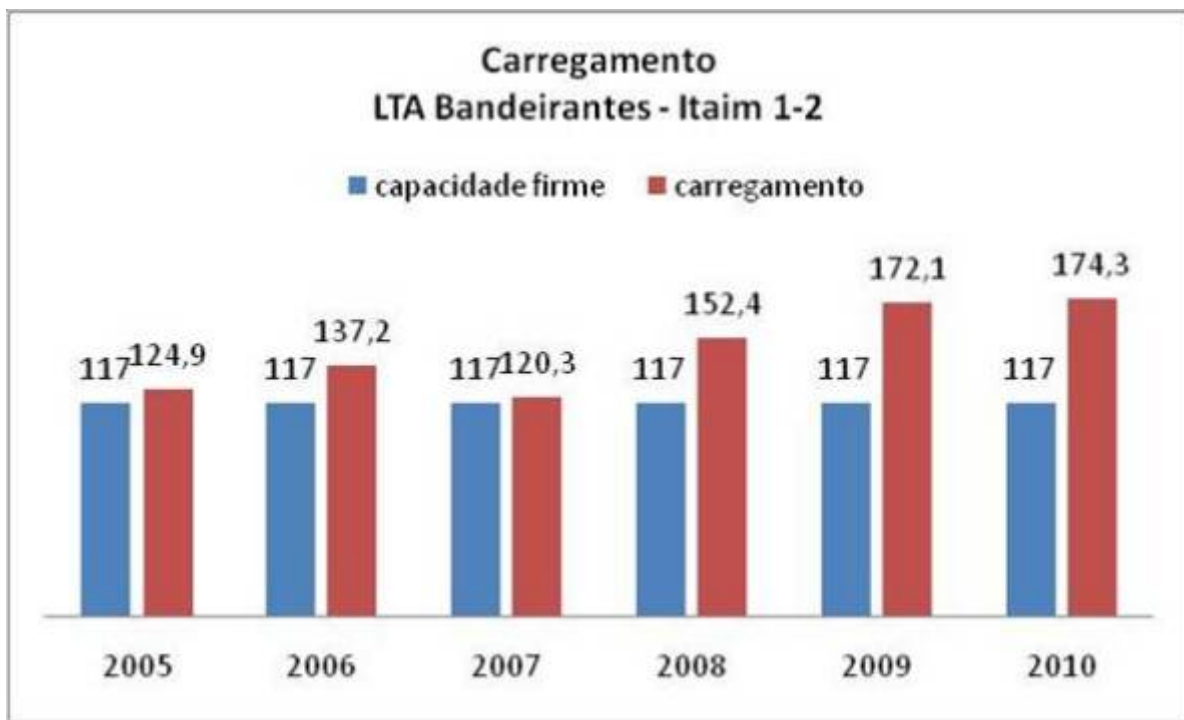
### **2.1. Objetivo**

Como requisito fundamental para manter o ritmo de crescimento do país, resultante de políticas públicas efetivamente compromissadas com os requisitos de investimento, o acesso ao insumo energia elétrica deve

ser assegurado aos diversos setores produtivos. Adicionalmente, como decorrência natural da melhoria da condição econômica do país, tem havido aumento considerável da demanda no segmento residencial, resultante da melhoria das condições de acesso a bens eletro-eletrônicos.

E, por outro lado, os programas de acesso à luz elétrica para as comunidades, até então carentes deste importante bem, são fatores que têm potencializado ainda mais a necessidade de energia elétrica disponível, confiável e segura.

O acréscimo da demanda em todos os setores produtivos, residenciais, de serviços públicos, impõe às concessionárias a obrigação de ampliação da capacidade de transmissão das redes elétricas, seja pela implantação de novas instalações, seja pela recapacitação daquelas existentes.



## 2.2. Estudo de alternativas

A inserção da linha de transmissão em trecho compreendido entre o Rio Pinheiros e a Marginal Pinheiros, em faixa de propriedade da EMAE – Empresa Metropolitana de Água e Energia, apresenta características ambientais particulares, já tendo sido sinalizado pela agência ambiental que, no caso de intervenção em subsolo, deveriam ser tomadas pela concessionária medidas visando identificar, classificar e promover descarte seguro do material resultante das escavações.

Esta condicionante decorre do fato da margem do referido corpo d'água ter sido utilizado historicamente, e ainda o é, para deposição do material retirado do leito por ocasião das sucessivas dragagens realizadas. Considerando a reversão do Rio Tietê para o Rio Pinheiros, e o contínuo lançamento de produtos industriais e domiciliares nestes cursos d'água, sem tratamento prévio, os materiais depositados nas margens poderiam ter contaminado o subsolo requerendo, em decorrência, medidas adicionais de precaução durante as escavações e o descarte.

Desta forma, eventual possibilidade de aproveitamento dos suportes instalados se caracterizava como opção desejável, tanto em função da simplificação do processo de licenciamento ambiental, bem como no que concerne à redução das atividades de implantação da infra-estrutura (fundações e torres) para sustentação dos cabos condutores.

Às vantagens acima descritas somava-se uma adicional relativa à redução do prazo necessário para adequação da linha de transmissão às necessidades do sistema, abreviando o período para conclusão das obras e serviços, evitando-se desta forma violação de carregamento elétrico da instalação, condição a que a linha vinha sendo submetida para os casos de operação em contingência.

Avaliações preliminares indicavam que, a menos de duas torres tipo T2, os demais suportes da linha de transmissão apresentavam, para a condição de apenas um condutor por fase, relativa reserva de carga em relação aos carregamentos de projeto estrutural. As torres T2 estariam próximas ao limite de carregamento mecânico, requerendo análise mais detalhada para avaliação de suportabilidade, não estando descartada a necessidade de eventuais reforços no caso de ampliação do nível de carregamento.

As alternativas aplicáveis resumiram-se a:

a) Reconstrução da LTA existente

A 1ª alternativa consistia na reconstrução da LTA, ou seja, seria construída uma nova linha de transmissão no eixo da LTA existente, sendo prevista para esta nova LTA a instalação de 8 novas estruturas autoportantes treliçadas, padrão 138 kV, em circuito duplo capazes de suportar os cabos condutores tipo GROSBEAK (636 MCM) que seriam instalados em uma configuração de 2 condutores por fase, atendendo as necessidades do sistema de transmissão da AES Eletropaulo.

Outro ponto importante a ser considerado são as fundações das estruturas, que por estarem próximas as margens do Rio Pinheiros, que provavelmente seriam fundações do tipo estaqueadas aumentando de forma considerável os custos de execução do projeto.

Por último, devido à importância desta linha de transmissão para o sistema elétrico da AES Eletropaulo, esta linha não poderia ser desligada já que alimenta uma das regiões mais importantes do município de São Paulo, dessa forma era previsto a construção de uma linha de transmissão provisória com 2 circuitos que garantisse a operação do sistema enquanto era construído a nova LTA que operaria em definitivo.

b) Recapitação da LTA através do condutor termorresistente

A reconstrução da LTA existente, alterando a configuração original de um condutor ACSR Grosbeak para dois condutores ACSR Grosbeak por fase, é um dos métodos convencionais para aumentar a capacidade da linha. No entanto como apresentado no item anterior, esta solução envolve troca de estruturas e construção de novas fundações, gerando elevados custos e prazos para a execução da obra, além dos impactos ambientais e sociais agregados a esta alternativa, pois a linha está localizada entre o Rio Pinheiros, a linha de trem da CPTM e o viário Marginal Pinheiros, além da transposição de dois viadutos de altura elevada e com tráfego viário.

Motivado por este desafio, a recapitação da LTA com o condutor de alta capacidade e baixa flecha 3M ACCR tornou-se uma solução técnica viável para atender o aumento de capacidade da LTA mantendo as torres existentes e minimizando os impactos ambientais e sociais.

O condutor 3M ACCR é um Condutor de Alumínio Reforçado por Compósito Metálico utilizado em linhas de transmissão aérea projetado para aumentar de duas a três vezes a capacidade de transmissão, mantendo as torres existentes sem necessidade de aquisição de faixa de servidão adicional. É uma tecnologia desenvolvida e comprovada para ser uma solução para recapitação de linhas de transmissão.

O condutor ACCR tem aspectos construtivos similares ao condutor CAA, pois possuem vários fios na alma e nas coroas de alumínio. No entanto os materiais são diferentes e com propriedades físicas que apresentam vantagens com relação aos condutores convencionais.

A alma de compósito metálico é constituída por fibras de óxido de alumínio com alumínio puro, não é polímero, e apresentam como principais vantagens técnicas: Baixo peso; menor expansão térmica; maior condutividade; material compatível com as coroas de alumínio, não corrosão galvânica; e alta resistência mecânica e alta temperatura.

As coroas externas são constituídas por fios de liga alumínio zircônio que aumenta a resistência térmica dos fios de alumínio permitindo que o condutor a 210°C em operação contínua e a 240°C em emergência sem perder as suas propriedades mecânicas e elétricas.

### 2.3. Definição da solução técnica

Considerando a potencial aplicação da solução com cabos termorresistentes, procedeu-se definição de etapas de trabalho visando preparar a instalação para recepção de um novo conjunto de cabos condutores e pára-raios, os quais deveriam dotar a instalação de capacidade para transmitir a potência requerida futura segundo os cenários do planejamento.

Adicionalmente, e considerando a “nova” vida útil prevista para a linha de transmissão, seria fortemente desejável que a mesma viesse a passar por uma revitalização geral, particularmente estruturas e fundações, com inspeção de bases, após escavação parcial, avaliação de integridade de perfilados e parafusos, pontos de fixação de ferragem, pintura e sinalização.

Para as torres T2, procedeu-se análise estrutural do suporte, uma vez que poderia haver eventual superação do carregamento mecânico adotado por ocasião do projeto da torre. Salienta-se que duas das torres T2 existentes na linha apresentavam engate de cabos em suspensão, sendo necessário convertê-las para ancoragem em função das características dimensionais e físicas do condutor a ser instalado, podendo haver violação da distância cabo-solo segundo os requisitos da NBR 5422.

O cálculo estrutural realizado demonstrou que, para o cabo a ser adotado na recapitação da linha, as torres tipo T2 não apresentariam violação da suportabilidade, podendo ser mantidas na linha, desde que convertidas para engate de cadeias em ancoragem.

No que concerne aos requisitos ambientais a serem atendidos pela instalação, o órgão licenciador estabeleceu que, com base na Portaria SVMA N° 80 da Prefeitura Municipal de São Paulo, para os locais de permanência prolongada, situados na lateral da faixa de transmissão, o nível de campo magnético não deveria exceder o limite de 3,0 uT.

Esta restrição afetava diretamente o edifício da EMAE situado abaixo da linha de transmissão, requerendo que os circuitos que sobrepassavam a edificação fossem deslocados lateralmente, tendo sido necessário adotar caminhamento para os circuitos contornando lateralmente o edifício, com implantação de uma estrutura adicional, a qual foi instalada lateralmente à via de rolamento da Marginal Pinheiros, local que não apresentaria contaminação de subsolo face à distância e à diferença de cotas em relação ao corpo d'água.

Visando atenuar o impacto sobre a paisagem, adotou-se poste monotubular para a estrutura extra a ser instalada na lateral da Marginal Pinheiros, sendo aplicada fundação em tubulão sem alargamento de base, permitindo conciliar a estrutura com as limitadas dimensões da área.

Definidas e equacionadas as condicionantes de ordem estrutural e ambiental, restava conciliar a execução dos serviços de recapitação com as restrições operativas da linha de transmissão, as quais impediam

desligamento de circuitos durante a semana e, nos finais de semana, somente um circuito poderia ser liberado pela operação da Eletropaulo.

Entretanto, a solução em recapitação já representava um grande avanço em relação à opção de reconstrução da instalação, para a qual haveria necessidade de montagem de variante para ambos os circuitos. Considerando que as torres seriam mantidas, conciliar intervenção nas torres com as restrições operativas implicou na montagem de variante para apenas um circuito, simplificando consideravelmente as etapas de trabalho.

Quanto à travessia das pontes Av. dos Bandeirantes e Cidade Jardim, Rio Pinheiros e CPTM, face à altura do greide das vias e à extensão dos vãos, seria impraticável adoção de variante nestes trechos, tendo sido modelado plano de trabalho com execução de serviços aos finais de semana.

#### 2.4. Planejamento da Implantação

As diversas etapas de trabalho desenvolvidas durante o planejamento da implantação da recapitação estão listados abaixo na tabela 1, sendo ressaltado que a modelagem consolidada não se restringiu apenas à substituição dos cabos condutores, sendo identificadas, e postas em ação, medidas complementares visando a revitalização da linha de transmissão, procurando-se, tanto quanto possível, prolongar a vida útil da instalação.

<b>- Projeto eletromecânico da linha de transmissão em análise</b>
<b>- Aspectos de projeto das torres de transmissão</b>
<b>- Hipóteses de carregamento</b>
<b>- Avaliação da capacidade de carga das estruturas</b>
<b>- Comparação entre esforços considerados no dimensionamento das torres</b>
<b>- Indicação de substituição e ou reforço de perfilados e parafusos</b>
<b>- Recomendações para execução dos serviços</b>

A medição de potencial de corrosão das grelhas permitiu identificar aquelas que, em função dos valores observados nas medições, poderiam apresentar processos de correção em andamento, sendo prevista escavação e inspeção visual dos elementos estruturais das grelhas na fase de execução dos serviços.

Tendo em vista que linha de transmissão se encontra instalada junto à estrada de serviço da EMAE, tendo sido aterrada parcialmente por ocasião da implantação da Marginal Pinheiros, era de se esperar que a sobrecarga representada pelo aterro pudesse ter induzido deformações nos perfis metálicos das grelhas. Por outro lado, foi identificado nas inspeções que alguns perfis metálicos constituintes dos pés da torres apresentam deformações atípicas, provavelmente decorrentes de impactos laterais de caminhões e equipamentos que transitaram na via de acesso junto à faixa.

Os perfilados com ocorrência de corrosão, ou que apresentassem deformações excessivas seriam substituídos durante a execução dos serviços de recapitação da linha de transmissão.

Quanto à suportabilidade mecânica das torres tipo T2 optou-se pela realização de análise estrutural completa

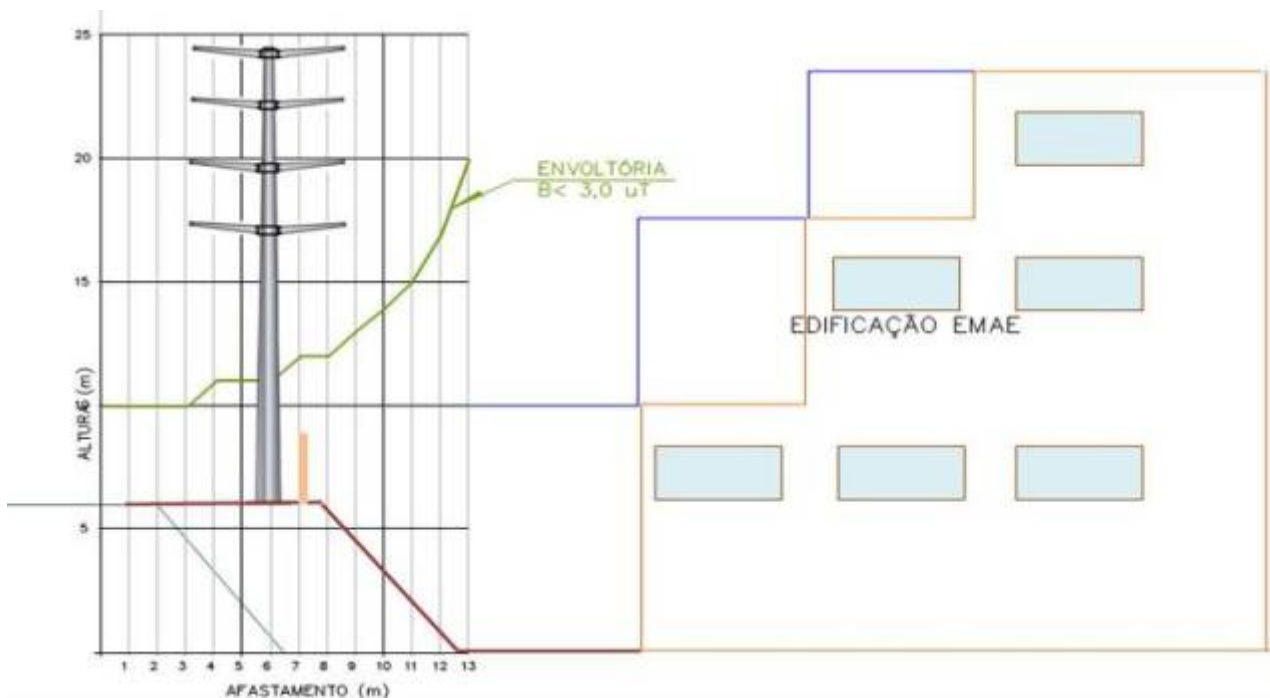
destes suportes, tendo como condições de contorno as diretrizes prescritas pela NBR 5422, tendo sido obtido indicativo de atendimento dos suportes às novas condições de carregamento, sem violação das trações admissíveis.

Em atendimento aos requisitos estabelecidos pela SVMA de São Paulo quanto aos limites de exposição a campos magnéticos de baixa frequência, procedeu-se prospecção de local adequado visando, primeiramente afastar os circuitos dos locais de permanência prolongada existentes na edificação da EMAE e, como requisito complementar, evitar intervenção em área que outrora pudesse ter sido utilizada como bota-fora ou área de disposição de resíduos extraídos do Rio Pinheiros.

O conjunto de restrições direcionou a locação do suporte extra para a lateral da via de rolamento da Marginal Pinheiros, sendo apresentado na figura 1 a disposição dos circuitos existentes e aqueles projetados.



A Figura 2 apresenta a envoltória de campo magnético obtida para regime normal de operação da linha de transmissão, com níveis de exposição inferiores a 3,0 uT, limite estabelecido na Portaria SVMA N° 80.



Para a escolha do condutor ACCR, alguns critérios foram definidos para o sucesso do projeto. O condutor ACCR deve ter uma capacidade de corrente compatível com a necessidade de aumento de carga solicitado pelo departamento de planejamento, o condutor selecionado deve ter características físicas e mecânicas similares ao condutor CAA Grosbeak a ser substituído e atender aos requisitos mecânicos nas estruturas após o trabalho de revitalização realizado, e as flechas do condutor deve ser atender as distâncias de segurança definidas pela NBR 5422 em todos os vão da linha.

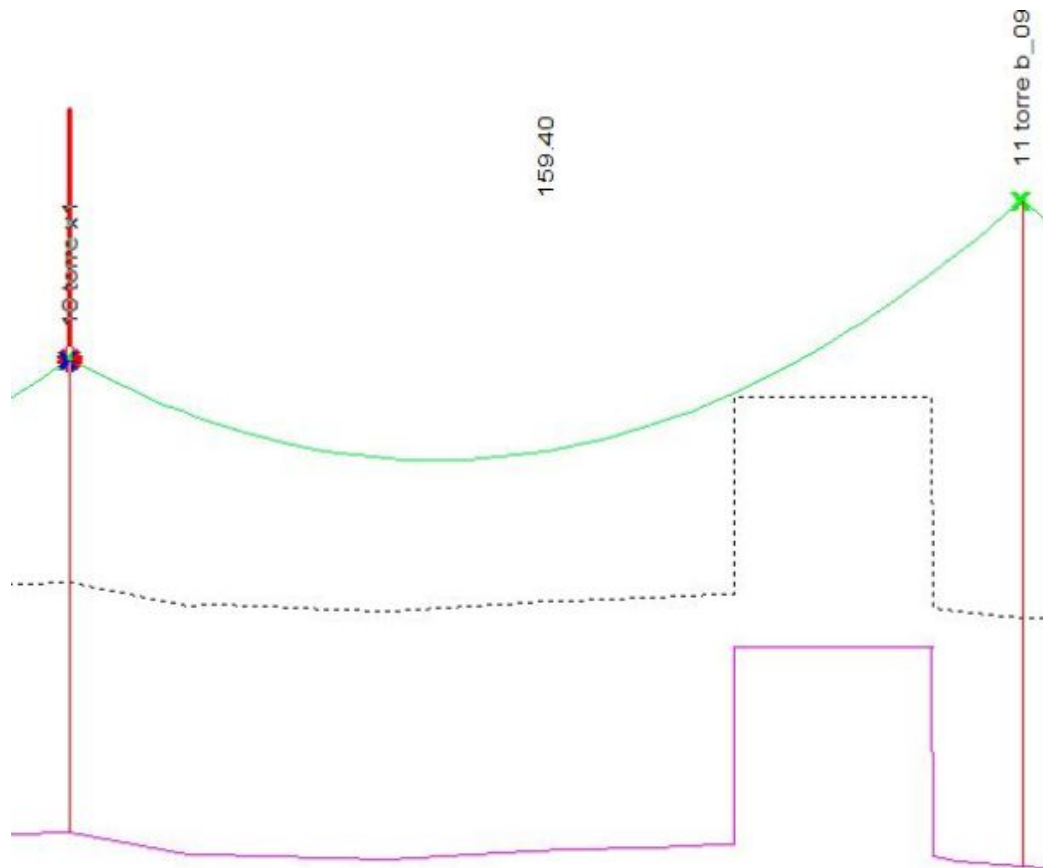
O condutor ACCR TW 795 Concor tem capacidade de condução de corrente em regime de operação contínua, 210°C, de 1754 A atendendo a nova demanda de carga esperada; tem diâmetro e peso similar ao condutor substituído; atende a condição de contorno de tração horizontal máxima de 1500 kgf na condição final a 10°C com vento de 110 km/h; e as flechas cumprem com as distâncias de segurança definidas pela NBR 5422 nas áreas de acesso a pedestres e nas áreas de cruzamento com rodovias, ruas, avenidas.

A tabela 2 abaixo mostra o estudo comparativo entre o condutor substituído e o condutor utilizado no projeto.



Propriedades do Condutor	Unidade	CAA 636 Grosbeak	ACCR TW 795 Condor
Seção	mm <sup>2</sup>	321.8	400.8
Diâmetro	mm	25.15	25.2
Peso	kg/m	1.302	1.293
Carga de Ruptura	kgf	11,431	12,655
Resistência Elétrica	ohm/km	0.0884	0.0691
<b>Ampacidade</b>			
Temperatura do Condutor	C	75	210
Corrente	Amps	780	1,754
Potência	MVA	119	268
<b>Flecha e Tração</b>			
Tração Horizontal na Instalação	kgf	942	970
Tração de Instalação	%RBS	8.4	7.8
Tração Horizontal Máxima	kgf	1,456	1,503
Tração Máxima	%RBS	12.9	12.0
Flecha Máxima	m	12	12.2

A figura 3 mostra o comportamento do condutor ACCR em um dos vãos críticos da linha, uma transposição com a ponte Cidade Jardim. A catenária verde representa o comportamento de flecha do ACCR a 210°C. A linha tracejada representa a distância mínima de 8,5 metros que deve ser atendida em locais de travessia com rodovias, ruas e avenidas conforme NBR 5422 para a classe de tensão de 138 kV. Nota-se que o condutor ACCR atende o requisito de distância mínima de segurança neste vão e também nos demais vãos da LTA.



## 2.5. Implantação da solução técnica

A seqüência executiva das atividades foi elaborada tendo como restrição principal a necessidade de manutenção da continuidade operativa da linha de transmissão, a impossibilidade de desligamentos durante a semana, e liberação de um dos circuitos à noite e nos finais de semana.

Face a estas restrições a implantação de variante para um circuito se caracterizou como necessidade primeira da intervenção pretendida, tendo sido utilizados na variante postes monotubulares e torres P7 padrão 88 kV.

A Figura 4 apresenta trecho típico da variante, instalada entre a linha de transmissão existente e a estrada de serviço da EMAE.



### **3. Conclusões**

Como apresentado neste informe a transmissão de energia elétrica através de linhas de transmissão aéreas em grandes centros urbanos encontra hoje um grau de dificuldade muito grande para a constituição de novas faixas de passagem, seja pela questão ambiental, que hoje tornou-se um grande obstáculo na construção de uma LT, ou pela grande ocupação de solo. No entanto, a necessidade de aumentar a capacidade de transporte de energia das linhas de transmissão da AES Eletropaulo trouxe na aplicação de condutores termorresistentes uma solução viável, atendendo as necessidades do sistema elétrico.

Assim, adotando-se o uso de um condutor termorresistente, tipo ACCR, pôde-se aproveitar a infra-estrutura existente, porém, como demonstrado, com uma criteriosa avaliação de estruturas e fundações dado o longo tempo da instalação desta linha de transmissão.

O investimento final na recapacitação da instalação manteve-se próximos a solução convencional, no entanto, destaca-se o ganho em prazo e simplificação das consultas e autorizações necessárias, fatores decisivos para o sucesso do empreendimento.

Por último, a linha com o condutor termorresistente (ACCR) foi energizada em abril de 2011 e opera normalmente desde sua energização.

#### **4. Referências bibliográficas**

ABNT NBR 5422. Projetos de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia - Procedimento, Fevereiro de 1985;

ANBT 7270, Cabos de Alumínio Nus com Alma de Aço Zincado para Linhas Aéreas – 2009;

3M - SPECIFICATION FOR FIBER REINFORCED ALUMINUM MATRIX COMPOSITE WIRE-  
Standard Specification For Fiber Reinforced Aluminum Matrix Composite (AMC) Core Wire For  
Aluminum Conductors Composite reinforced (ACCR), 2009;

3M ACCR - CONDUTOR DE ALUMÍNIO REFORÇADO POR COMPÓSITO - Catálogo Técnico;

3M - Standard Test Methods Available for Evaluating 3M ACCR Constituent Materials, 2009.

---