



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

Versão 1.0  
XXX.YY  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

**GRUPO - III**

**GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO**

**USO DE UMA NOVA TECNOLOGIA PARA AUMENTO DE CAPACIDADE DE LINHA DE 88 kV DA CPFL**

**M. Claudia Costa Dominguite (\*)**  
**3M**

**Sergio Aparecido Nobre Miranda**  
**CPFL Energia**

**Fernando Malagoli Fonseca**  
**CPFL Energia**

**RESUMO**

Este artigo apresenta um estudo de caso da aplicação da tecnologia de condutores do tipo compósito metalo-cerâmico na obra de repotenciação de uma linha de 88 kV da CPFL Piratininga, em alternativa ao emprego convencional de condutores de alumínio com alma de aço.

Em razão de dificuldades e riscos observados no projeto inicial de reconstrução da linha, situada em uma região com elevada ocupação do solo, a opção pela utilização de cabos especiais atendeu aos requisitos técnicos e econômicos, ao permitir o aproveitamento das estruturas existentes e minimizar os impactos aos clientes locais.

**PALAVRAS-CHAVE**

Planejamento de Sistemas de Potência, Repotenciação de Linhas de Transmissão, Condutores em Compósito para Alta Temperatura e Capacidade.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A CPFL Piratininga, concessionária de distribuição de energia elétrica pertencente ao grupo CPFL Energia, atende a aproximadamente 1,3 milhões de unidades consumidoras em 27 municípios do estado de São Paulo, nas regiões da Baixada Santista e Oeste Paulista, em cidades como Sorocaba, Indaiatuba, Itu, Salto, São Roque, Jundiaí, Várzea Paulista, Santos, Cubatão, São Vicente e Praia Grande. Reúne, portanto, regiões desenvolvidas em termos de infra-estrutura, grandes indústrias, turismo e escoamento da produção, além de significativas atividades no comércio e agricultura, em uma área de 6.785 km<sup>2</sup> onde vivem mais de 3 milhões de habitantes. A empresa representa cerca de 10% da demanda total do estado de São Paulo e 3% em âmbito nacional.



**FIGURA 1 - Área de Concessão da CPFL Piratininga**

(\*) Rodovia Anhanguera, km 110 - Cepi 23020 - CEP 13181-900, Sumaré, SP - Brasil  
Tel: (+55 19) 3838-7068 – Fax: (+55 19) 3838-6999 – Email: cccosta@mmm.com

Conforme a Figura 1, o sistema elétrico da CPFL Piratininga é formado por 2 sistemas de 88 kV não interligados entre si: Oeste e Baixada Santista, sendo que o primeiro se divide entre os subsistemas de Sorocaba e Jundiaí.

A exemplo das linhas de transmissão que operam na área da Grande São Paulo, muitas das instalações de 88 kV e 138 kV da CPFL Piratininga estão situadas em áreas com moderada ou elevada taxa de ocupação do solo, nos segmentos de habitação, comércio e indústrias. Esta característica impõe crescentes dificuldades às concessionárias de energia elétrica quanto à elaboração de projetos de construção de novas linhas ou de repotenciação de linhas atuais, em termos de obtenção de servidões de passagem, licenças ambientais e impactos aos clientes durante a realização das obras.

Anualmente, os estudos de planejamento da CPFL Piratininga identificam a necessidade de expansão de seu sistema elétrico segundo critérios setoriais. Em razão de restrições constatadas no sistema de 88 kV da região de Jundiaí, foi proposto o aumento de capacidade de um trecho de 3,3 km de extensão, em circuito duplo, com a substituição dos condutores CAA Linnet por cabos CAA Grosbeak. Entretanto, na elaboração do projeto, observou-se que seria preciso uma reconstrução integral do trecho, com limitações impostas pelas estruturas atuais e por uma faixa de servidão estreita que inviabilizaria a montagem de variantes, além de eventuais prejuízos aos clientes afetados, face aos desligamentos previstos.

Dados os problemas verificados, a CPFL Piratininga avaliou tecnologias de condutores especiais que permitissem minimizar as intervenções no projeto original da linha, visando ao aumento de capacidade pretendido com o aproveitamento das estruturas existentes. Em parceria com a 3M do Brasil, a opção pela utilização de cabos de alumínio do tipo compósito metalo-cerâmico atendeu aos requisitos técnicos e ainda tornou-se vantajosa em termos econômicos, na comparação com a alternativa de reconstrução convencional<sup>4</sup>.

## 2.0 - ESTUDOS DE PLANEJAMENTO

O sistema elétrico da CPFL Piratininga na região de Jundiaí, a noroeste da Grande São Paulo, é formado por linhas de 88 kV em circuito duplo, que operam de forma radial conectadas a um único ponto de fronteira com a Rede Básica, a subestação Bom Jardim 440/88 kV, onde estão instalados três bancos de transformadores de 300 MVA. Essa subestação é responsável pelo atendimento à demanda das subestações da distribuidora nos municípios de Jundiaí, Várzea Paulista, Campo Limpo Paulista, Itupeva, Vinhedo e Louveira, que somados representam uma população aproximada de 650.000 pessoas.

Nos estudos de planejamento da expansão desse sistema, observou-se a necessidade de se aumentar a capacidade do trecho inicial do ramal Várzea Paulista, destacado na Figura 2, por superação do limite atual na hipótese de desligamento de um dos circuitos (critério de emergência), em patamares de carga pesada e média.

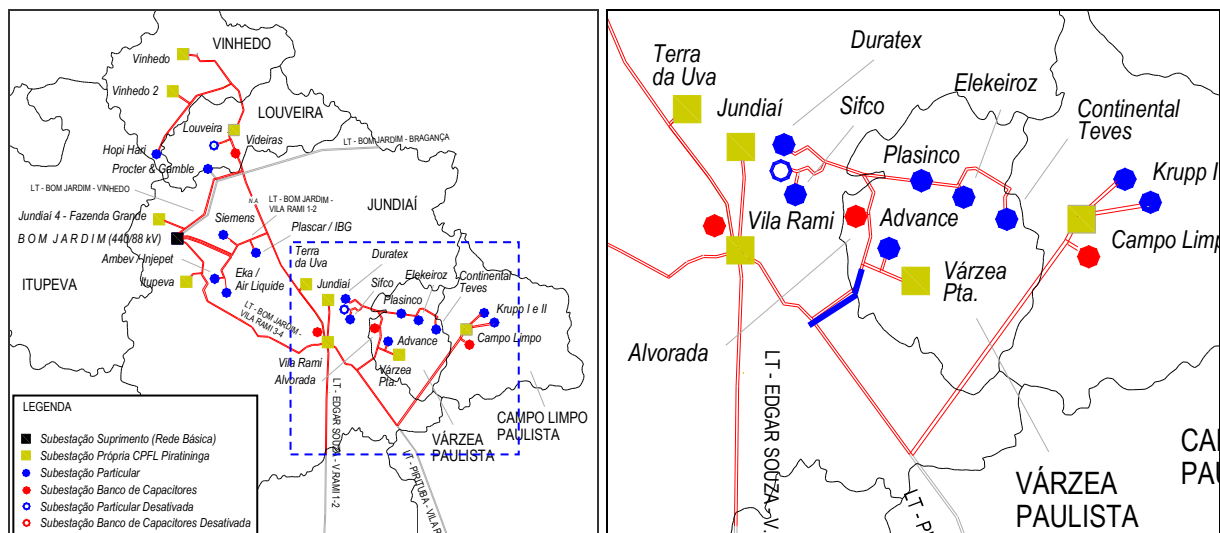


FIGURA 2 - Sistema de 88 kV da CPFL Piratininga na Região de Jundiaí  
(Destaque Trecho Inicial do Ramal Várzea Paulista em Azul)

O trecho inicial do ramal Várzea Paulista, com 3,3 km de extensão, em circuito duplo, possui atualmente condutores CAA Linnet (um por fase), também denominado ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*), e tem a função de atender a diversas subestações particulares de 88 kV, além de suprir a demanda da própria subestação Várzea Paulista da CPFL, que juntas totalizam uma demanda de aproximadamente 100 MW. Destaca-se que o referido ramal é apenas um dos que compõem a LT 88 kV Bom Jardim - Vila Rami, circuitos 3 e 4, conforme apresentado no diagrama unifilar da Figura 3:

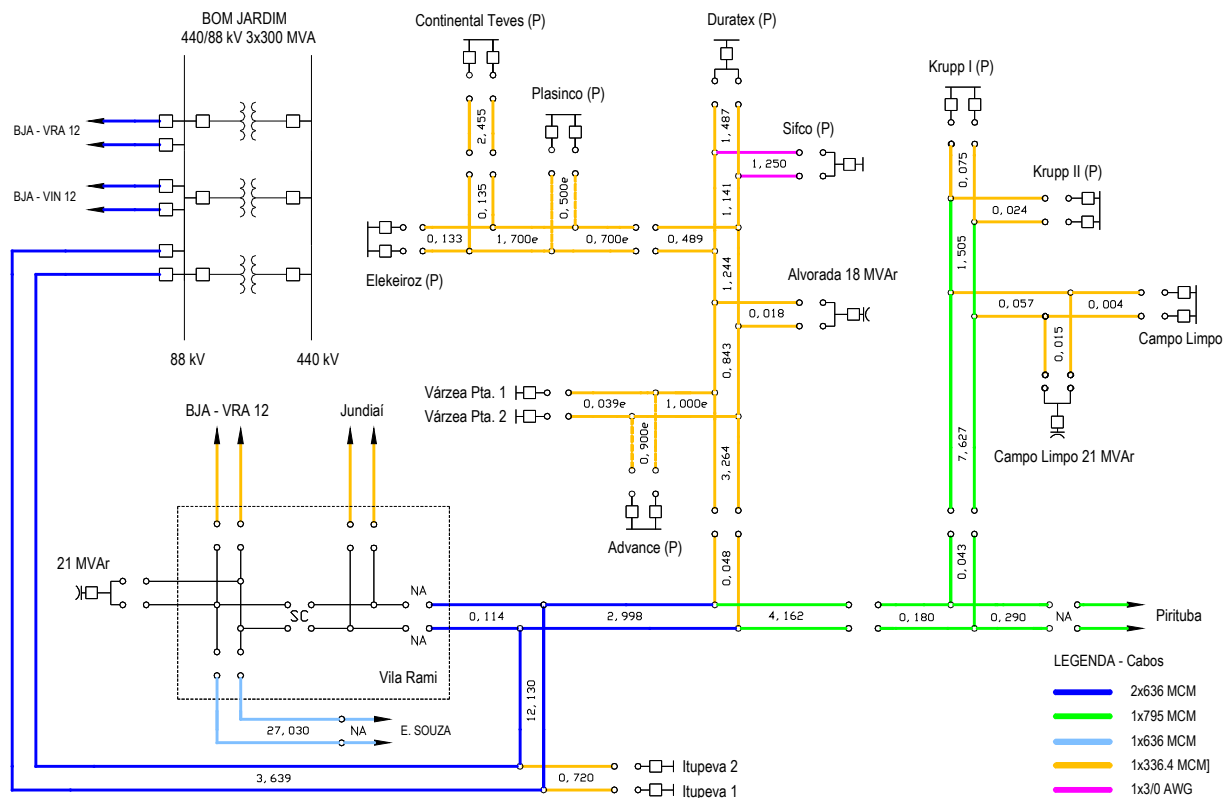


FIGURA 3 - Diagrama Unifilar da LT 88 kV Bom Jardim - Vila Rami 3-4

### 3.0 - RESTRIÇÕES À RECONSTRUÇÃO CONVENCIONAL

Definida a necessidade de se aumentar a capacidade de transporte do trecho de 3,3 km, foi inicialmente avaliada a viabilidade de construção de um novo ramal na região em análise, aproximando-se do atual com o intuito de se obter uma divisão das cargas com o ramal Campo Limpo. Porém, em visitas para definição do traçado desse novo ramal, constatou-se que haveria muitas interferências em áreas urbanizadas, além do fato de não evitar a obra original no ciclo decenal de planejamento.

Desta forma, partiu-se para o estudo de viabilidade de reconstrução do ramal, com a substituição dos condutores CAA Linnet por CAA Grosbeak, requerendo a adição de novas estruturas. Contudo, observou-se que a faixa de servidão de passagem no trecho de 3,3 km possui nos trechos mais críticos (na parte final de 1,3 km) cerca de 7 metros de largura, com construções adjacentes nos dois limites da faixa, conforme visualizado na Figura 4. Assim, os cabos das variantes ficariam sobre os imóveis, aumentando o risco de acidentes com terceiros além do risco natural envolvendo os encarregados pela execução da obra, pois a distância entre as variantes e as novas estruturas seria muito reduzida. Cabe ressaltar que a linha em questão foi originalmente projetada para a classe de tensão de 88 kV, antes da publicação do Decreto 73.080, de 1973, que excluiu essa tensão dos valores padronizados de fornecimento no Sistema Interligado Nacional.

Após essas análises, a CPFL Piratininga pesquisou novas alternativas de recondutoramento com as hipóteses de condutores especiais, fixando as características atuais da linha como limites à colocação de um novo cabo. Foi determinada a máxima tração a ser adotada, mediante um levantamento da catenária dos cabos em operação e um estudo de qual seria a tração atual. O valor obtido sofreu ainda uma redução de 10%, visando garantir um nível de segurança. Realizou-se também uma avaliação visual da conservação das estruturas, que já apresentam um período superior a 30 anos de instalação.



FIGURA 4 - Trechos do Ramal Várzea Paulista com Construções Adjacentes à Faixa de Passagem

Com essas diretrizes, antes da consulta aos fabricantes, foram então estabelecidas as premissas do projeto, que deveriam ser as seguintes:

- (a) obter um ganho de ao menos 50% na capacidade de transporte do ramal, para condição de emergência;
- (b) não adicionar estruturas no trecho final de 1,3 km, com elevada ocupação urbana;
- (c) não ampliar a faixa de servidão existente;
- (d) manter as distâncias existentes entre cabo e solo;
- (e) obedecer à tração máxima definida pelo estudo das catenárias.

Tais requisitos deveriam logicamente convergir para a adoção de um cabo condutor com características similares ao do cabo existente, quanto a diâmetro da seção transversal, peso, carregamento mecânico nas torres, porém com a propriedade de suportar temperaturas mais elevadas. A solução a ser empregada também deveria atender à condição de já estar em operação comercial em outras instalações, sendo já uma tecnologia confiável e testada<sup>2</sup> em diferentes situações<sup>3</sup>.

#### 4.0 - TECNOLOGIA EM CONDUTORES COMPÓSITOS

Na consulta aos fabricantes foram avaliadas as opções de condutores termo resistentes, Invar e compósito, tendo sido escolhida a última, oferecida pela 3M. Determinou-se que o condutor denominado ACCR - *Aluminium Conductor Composite Reinforced* - ou Condutor em Alumínio com Reforço em Compósito cumpria com os requisitos desejados. O cabo ACCR tem a aparência dos condutores convencionais com alma em aço, porém é feito de material compósito e alumínio termo resistente.

O termo compósito<sup>5</sup> refere-se a um material em cuja composição entram dois ou mais tipos de materiais diferentes. Alguns exemplos são metais e polímeros, metais e cerâmicas ou polímeros e cerâmicas. Os materiais que podem compor um material compósito podem ser classificados em dois tipos: matriz e reforço. O matriz é o que confere estrutura ao material compósito, preenchendo os espaços vazios que ficam entre os reforços e mantendo-os em suas posições relativas; já os do segundo tipo são os que realçam propriedades mecânicas, eletromagnéticas ou químicas do material compósito como um todo. Pode ainda surgir uma sinergia entre material matriz e materiais reforços que resulte, no material compósito final, em propriedades não existentes nos originais.

O Condutor ACCR<sup>1</sup> consiste de uma alma contendo vários tentos, na qual cada tento é composto de uma matriz de compósito metálico em forma helicoidal circundada por coroas de uma liga de alumínio-zircônio super resistente a altas temperaturas (ZTAL - *Super Thermal Resistant Aluminum Alloy*). A Figura 5 mostra um esquema do Condutor ACCR utilizado no projeto do ramal Várzea Paulista:



FIGURA 5 - Condutor ACCR

#### 4.1 Formação do Condutor

Os cabos ACCR têm aspectos construtivos similares aos cabos ACSR, pois possuem múltiplos tentos na alma e coroas de alumínio zircônio encordoado com passos em hélice sobre a alma, que também é disposta em hélice mas com passos mais longos que nos condutores convencionais. Tanto o diâmetro de cada tento quanto o diâmetro externo total têm dimensões similares aos condutores ACSR.

#### 4.2 Formação da Alma

Cada tento da alma do condutor 3M ACCR é reforçado por no mínimo 15.000 fibras de óxido de alumínio de altíssima resistência mecânica, desenvolvidos para operar em altas temperaturas sem alteração das propriedades ao longo do tempo, provendo grandes ganhos de ampacidade e redução significativa de flechas.

#### 4.3 Alma em Matriz de Compósito Metálico

Os tentos da alma são formados por um compósito de fibras contínuas de óxido de alumínio embebidas em puríssimo alumínio. Esse tipo de material é denominado de matriz metálica reforçada por fibra. A alma do condutor 3M ACCR não contém polímeros ou qualquer material plástico: tem como base metálica o alumínio. Esses constituintes conferem ao condutor 3M ACCR baixo peso, alta resistência à ruptura, fazendo-o operar com flecha reduzida mesmo quando submetido a altas temperaturas. Isto ocorre porque o compósito metálico reforçado por fibras tem resistência mecânica equivalente à do aço, com peso (densidade) similar a do alumínio, mas com expansão térmica menor que a do aço e retenção da resistência mecânica a altas temperaturas. Adicionalmente, algumas propriedades secundárias também são importantes, tais como o baixo *creep* e alta condutividade da alma (devido ao alumínio) e resistência à corrosão (similar à do alumínio).

#### 4.4 Coroas de Alumínio

As coroas de alumínio são feitas de liga Alumínio zircônio em formato circular ou trapezoidal cuja condutividade atinge 60% do padrão do cobre da IACS - *International Annealed Copper Standard*. As coroas de liga de alumínio zircônio são trançadas com alumínio duro, cujas propriedades mecânicas são semelhantes ao do alumínio 1350-H19 (23-25 ksi, 158-172 MPa de força de ruptura). Não é alumínio recozido. A adição de uma pequena quantidade de zircônio ao alumínio resulta em excelente propriedade térmica, garantindo que quando aquecido o alumínio não seja recozido e perca suas características elétricas e mecânicas. Assim, mesmo depois de aquecido e quando retorna a temperatura próxima à ambiente, suas propriedades continuam inalteradas.



#### 4.5 Acessórios para Uso com Condutor de Alta Temperatura

O condutor ACCR foi recebido juntamente com a gama de todos os acessórios que tem contato direto com o condutor para que fosse instalado. Estes acessórios foram desenvolvidos para dissipar a temperatura do condutor e entregar na conexão com a cadeia de isoladores uma temperatura nunca superior a 100°C mesmo com os condutores trabalhando a 210°C.



FIGURA 6 - Comparação Dimensional entre Acessório para Condutores ACSR e ACCR (à direita).

Embora similares aos convencionais, tais acessórios são de tamanho um pouco maior para que dissipem a temperatura do cabo, como observado na comparação da Figura 6. A Figura 7 mostra o comportamento dos acessórios com respeito à temperatura quando o condutor está trabalhando acima de 210°C.

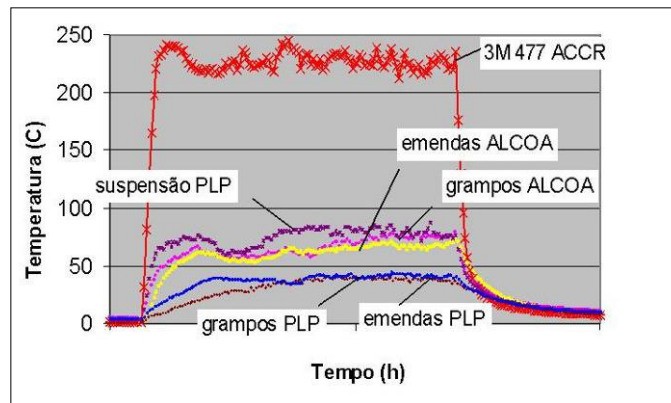


FIGURA 7 - Temperaturas de Operação do Condutor ACCR e Acessórios.

#### 5.0 - PROJETO

Em simulações computacionais conduzidas pela 3M, foram selecionados os condutores ACCR Ostrich e Linnet como os mais indicados para o empreendimento, ou seja, que poderiam atender às condições solicitadas. Na análise conjunta entre a CPFL Piratininga e a 3M, optou-se pela utilização do Linnet, principalmente por apresentar maior ampacidade com uma temperatura inferior à do Ostrich. Destacam-se ainda outros benefícios, como os menores valores de resistência elétrica e peso, comparativamente ao Linnet convencional ACSR.

Todos os estudos preliminares foram realizados tendo como referência planta e perfil originais e somente após a contratação em modalidade *turn-key* foi efetuado o levantamento topográfico para finalizar o projeto.

Os resultados alcançados no projeto eletromecânico foram compatíveis com os do estudo feito preliminarmente, porém como as estruturas de suspensão são relativamente estreitas (tipo P7), optou-se por fazer uma adaptação nestas estruturas, com a eliminação das mísulas dos cabos condutores e adaptados isoladores tipo pilar (menor balanço de cabos e maior distância fase terra). Com essa adaptação, foi preciso prever uma extensão para o ponto de conexão do cabo pára-raios, pois o ângulo de blindagem do ramal não atenderia às normas técnicas vigentes. Não houve necessidade de execução do projeto civil (fundações), dado que o carregamento mecânico das estruturas foi reduzido e não houve a necessidade de adição de estruturas.

TABELA 1 - Comparação entre Condutores

Propriedades do Condutor	Unidade	Linnet ACSR	Ostrich ACCR	Linnet ACCR
Seção	mm <sup>2</sup>	170	150,8	171
Diâmetro	mm	18,29	17,2	18,39
Peso	kg/m	0,688	0,501	0,573
Carga de Ruptura	kgf	6,396	5,488	6,305
Resistência Elétrica	ohm / km	0,1662	0,1832	0,1601
<b>Ampacidade</b>				
Máx. Temp. Oper. Contínua	°C	75	187	159
Ampacidade Oper. Contínua	A	580	917	926
Máx. Temp. Oper. Emergência	°C	75	187	159
Ampacidade Emergência	A	580	917	926
<b>Flecha e Tração</b>				
Tração Horizontal na Instalação	kgf	640	638	637
Tração de Instalação	% da Carga de Ruptura	10	11,6	10,1
Tração Horizontal Máxima	kgf	1,031	1,074	1,097
Tração Máxima	% da Carga de Ruptura	16,2	19,6	17,4
Flecha Máxima	m	3,7	3,7	3,7
Condições: vão regulador de 123 m; vão crítico de 133 m; desnível 0 m.				

Na licitação do empreendimento foram oferecidas às empresas proponentes duas possibilidades de construção: como primeira alternativa, empregar o condutor do tipo compósito somente no trecho final de 1,3 km do total a ser repotenciado, devendo a parte inicial de 2,0 km ser executada em condutores convencionais Grosbeak, com variantes; como segunda alternativa, aplicar o Linnet ACCR em toda a extensão de 3,3 km. Ambas as alternativas mostraram-se compatíveis economicamente, no entanto em função das dificuldades previstas na reconstrução convencional, a alternativa 2 foi a escolhida dentre as propostas recebidas pela CPFL Piratininga

A conclusão do projeto deu-se em janeiro de 2009 e a chegada dos materiais ao canteiro de obras em fevereiro de 2009. Em março houve a liberação para execução, com a previsão de término em 5 meses, uma vez que os desligamentos foram permitidos pelo Centro de Operação do Sistema da CPFL somente aos finais de semana.

## 6.0 - CONCLUSÃO

Os acréscimos de demanda de potência requerida no sistema elétrico ao longo dos anos e a crescente ocupação do solo em áreas muito próximas às linhas existentes têm estimulado a busca por alternativas que reduzam os riscos e impactos da expansão das redes em relação à sociedade. Essa necessidade está alinhada à missão da CPFL Energia, quanto ao provimento de soluções energéticas sustentáveis, atuando de forma integrada à comunidade.

Em parceria com a 3M do Brasil, a aplicação de condutores em compósito na obra de repotenciação do ramal Várzea Paulista atendeu aos requisitos de aumentar a capacidade da linha sem alterações nas estruturas existentes, minimizando os impactos à população local, e apresentando-se como uma alternativa viável economicamente.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) 3M do Brasil Ltda e 3M Co. ACCR Engineering Groups and Group Leaders.
- (2) Clark, R. Barrett, S. WAPA and DOE Field Test Composite 3M Conductor. Transmission and Distribution World, Nov. 2003.
- (3) Dominguite, Maria Claudia C. C. Oliveira, Luis Cláudio S. Deve, Herve. Teste de Campo em Condições Críticas para Condutor para Linha de Transmissão Suportado por Compósito sem Alma de Aço. XIX SNPTTE, Rio de Janeiro, 2007.
- (4) Technology Updates. Transmission and Distribution World, Jan. 2009
- (5) Wikipédia - Enciclopédia Eletrônica. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Comp%C3%B3sito>

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Maria Claudia de Carvalho Costa Dominguite

Nascida em Poços de Caldas, MG, em 24 de outubro de 1965.

Bacharel em Química (1989) pela UNICAMP (Campinas, SP).

Especialização em Ciência dos Polímeros e em Acústica e Pós Graduação em Gestão Empresarial pela FACAMP.

Empresas: 3M do Brasil desde 1990.

Gerente da Área do Condutor ACCR para a América Latina.

Sergio Aparecido Nobre Miranda

Nascido em Terra Rica, PR, em 4 de setembro de 1973.

Graduação (2004) em Engenharia Elétrica: Faculdade de Engenharia de Sorocaba (São Paulo, SP)

Empresas: CPFL Paulista - Companhia Paulista de Força e Luz, desde 1994.

Engenheiro da Divisão de Empreendimentos do Departamento de Engenharia e Planejamento.

Fernando Malagoli Fonseca

Nascido em Santos, SP, em 29 de março de 1976.

Graduação (1998) em Engenharia Elétrica: Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie (São Paulo, SP).

Empresas: CPFL Paulista - Companhia Paulista de Força e Luz, desde 1999.

Engenheiro da Divisão de Planejamento do Departamento de Engenharia e Planejamento.