



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

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

GRUPO - XII

GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO - GMI

Equipamento para Conexão Temporária entre Trechos de Linhas Aéreas de Subtransmissão e Subestações da Eletropaulo

Júlio César Ramos Lopes
TAG

Walter Pinheiro (*)
TAG

Gustavo Silvestre
Eletropaulo

Sergio Caparroz
Eletropaulo

RESUMO

Este artigo descreve o resultado dos estudos realizados no desenvolvimento de equipamento inédito no Brasil para conexão temporária entre trechos de linhas aéreas de subtransmissão e subestações da AES Eletropaulo, para ser empregado em variantes durante a reconstrução de linhas de subtransmissão aéreas e subestações constituído por cabos isolados extrudados na tensão de 138 kV, terminais flexíveis isolados a seco e sistema para desenrolar e enrolar os cabos.

O artigo é o resultado de um projeto de pesquisa e desenvolvimento do programa da ANEEL.

PALAVRAS-CHAVE

Linhas de Subtransmissão, Variantes, Conexão Temporária com Cabos Isolados

1.0 - INTRODUÇÃO

No Brasil, as exigências regulatórias que refletem as aspirações da sociedade com relação à continuidade do fornecimento de energia elétrica são crescentes. Desta forma é imprescindível, que os serviços de manutenção, construção e ampliação do sistema elétrico sejam realizados reduzindo-se as interrupções, principalmente as devidas aos serviços programados.

Uma das formas atualmente empregadas com esta finalidade, quando da realização de manutenção em torres de linhas de subtransmissão aéreas é a construção de variantes, empregando estruturas provisórias e toda a infraestrutura (fundações, aterramento, etc.) necessária a sua implantação. A construção destas variantes, por sua vez, exige tempo, espaço e a perda de serviços e materiais nela empregados.

Ocorre, ainda que a falta de espaço nas faixas das linhas de subtransmissão (LTs) e subestações (SEs) da AES Eletropaulo dificulta sobremaneira, e até mesmo inviabiliza, a implantação destas variantes, o que aumenta o tempo necessário para as interrupções programadas e manobras, bem como aumenta o risco de desligamentos acidentais durante a construção ou reconstrução de trechos de linhas e subestações. Outro aspecto não menos importante é a quantidade de resíduos durante as obras, que aumenta os custos e potencializa problemas ambientais.

Visando solucionar esse problema é que a AES Eletropaulo resolveu investir em um projeto de pesquisa e desenvolvimento dentro do programa da ANEEL que teve como objetivo principal o desenvolvimento de equipamento inédito no Brasil para ser empregado em variantes de linhas de subtransmissão e subestações. Atualmente não existe no mercado brasileiro equipamento constituído por cabos isolados na tensão de 138 kV que possa ser utilizado em variantes durante a reconstrução e manutenção de linhas de subtransmissão e de subestações.

(*) Rua Professor Teotônio Monteiro de Barros Filho, 436 – CEP 05360-030 - São Paulo, SP – Brasil
Tel: (+55 11) 9.9312.9445 – email: walterp.pinheiro@gmail.com

Os resultados deste projeto, apresentados neste artigo, mostram que o equipamento desenvolvido é uma excelente alternativa técnica e econômica a construção de variantes, atualmente utilizada quando da realização de manutenção em torres de linhas de subtransmissão, empregando estruturas provisórias e demais infraestrutura (fundações, aterramento, etc.) necessária a sua implantação. O uso deste equipamento se mostrou bastante promissor para uso nos grandes centros urbanos por concessionárias com instalações similares as da AES Eletropaulo.

2.0 - PROJETO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

O projeto de pesquisa e desenvolvimento realizado foi executado através das seguintes etapas:

- 1) Levantamento das características das obras de reforma e de reconstrução de LT's e SE's da AES Eletropaulo;
- 2) Elaboração de especificação de engenharia para o equipamento a ser projetado para realização de conexão temporária entre trechos de LT's e SE's da Eletropaulo:
 - a. Requisitos do Sistema Elétrico da Eletropaulo;
 - b. Requisitos Técnicos Gerais
- 3) Desenvolvimento de cabo flexível com isolamento de 138 kV;
- 4) Seleção de terminais secos e acessórios compactos;
- 5) Desenvolvimento do sistema para armazenagem, transporte e mecanismo para enrolar e lançamento dos cabos.;
- 6) Fabricação protótipo e testes;
- 7) Desenvolvimento de procedimento para uso do equipamento desenvolvido para conexão temporária entre trechos de LT's e SE's da Eletropaulo;
- 8) Transferência tecnológica.

Destaca-se que as maiores dificuldades encontradas no desenvolvimento deste tipo de equipamento foram relacionadas com:

- 1) A constituição do cabo isolado, que deveria ser mais flexível que o utilizado de forma permanente em linhas subterrâneas, e que possa ser movimentado sem danos ao mesmo. Destaca-se como principais empecilhos a elevada capacidade de corrente e o elevado nível de curto circuito requerido pelo sistema de subtransmissão da AES Eletropaulo;
- 2) Terminais secos e de fácil conexão;
- 3) Desenvolvimento de bobina para acomodação do cabo e dos terminais e sistema para enrolar e desenrolar, que pudesse ser utilizada em locais com espaço reduzido conforme os disponíveis nas faixas das linhas de subtransmissão da AES Eletropaulo;

3.0 - CARACTERÍSTICAS DAS OBRAS DE REFORMA E DE RECONSTRUÇÃO DE LTS E SE'S DA AES ELETROPAULO

3.1 Linhas de Subtransmissão

Os principais serviços que normalmente necessitam ser executados nas linhas de subtransmissão da AES Eletropaulo são:

- 1) Reconstrução da linha de subtransmissão envolvendo substituição de estruturas e troca de cabos condutores e para-raios;
- 2) Substituição de estruturas;
- 3) Substituição de cabos condutores;
- 4) Substituição de cabos para-raios;
- 5) Reforços de fundações;
- 6) Substituição de cadeias de isoladores;
- 7) Construção de muros de arrimo e contenções de talude em faixas de linhas de subtransmissão.

O equipamento desenvolvido será empregado prioritariamente em serviços a serem executados em trechos linhas de subtransmissão, em alternativa ao procedimento utilizado atualmente que necessita da construção de variantes. Poderá também ser utilizado em outros serviços de menor porte como a substituição pontual de estruturas, troca de cabos condutores e/ou para-raios e reforços de fundação, que necessitem de construção de variantes para o desligamento temporário da rede.

São mostradas na Figura 1 fotos de montagem de variantes, como forma de ilustrar a complexidade dessa atividade.



a) com estruturas treliçadas

b) com postes de madeira
variante

c) lançamento de cabos na

FIGURA 1 (a), (b) e (c) – Montagem de Variantes

3.2 Subestações

Os principais serviços que normalmente necessitam ser executados nas subestações da AES Eletropaulo são:

- 1) Reconstruções e ampliações;
- 2) Substituição de barramentos;
- 3) Substituição/manutenção de chaves seccionadoras;
- 4) Substituição de transformadores de potencial e de corrente;
- 5) Substituição/manutenção de disjuntores;
- 6) Ligação provisória de transformador reserva e implantação de postes e barramentos temporários;
- 7) Utilização para manutenção do bay de entrada;

São mostradas na Figura 2 detalhes de instalações típicas de SEs da AES Eletropaulo para ilustrar a complexidade de atividades de manutenção dentro destas instalações energizadas.

a) Chaves seccionadoras a serem substituídas
temporário

b) Transformador reserva em barramento

FIGURA 2 (a) e (b) – Instalações Típicas de Subestações da AES Eletropaulo.

4.0 - CABO FLEXÍVEL COM ISOLAÇÃO DE 138 KV E TERMINAIS PARA REALIZAÇÃO DE CONEXÃO TEMPORÁRIA ENTRE TRECHOS DE LTS E SES

4.1 Requisitos do Sistema Elétrico da AES Eletropaulo

O equipamento para conexão temporário de linhas de subtransmissão de subestações foi projetado para ser instalado em sistema elétrico que apresenta as seguintes características:

- 1) Tensão nominal de operação entre fases: 138 kV;
- 2) Corrente nominal: 1.000 A;
- 3) Potência nominal em regime permanente, quando operando em 138 kV: 235 MVA por circuito;
- 4) Frequência: 60 Hz;
- 5) Fator de carga: 0,75;
- 6) Máxima temperatura do condutor: 90° C;
- 7) Nível básico de isolação: 650 kV;
- 8) Corrente de curto circuito fase-terra máximo: 21 kA;

- 9) Duração do curto circuito: 30 ciclos (0,5 s).

4.2 Condições de Instalação

Os componentes do equipamento foram projetados para as seguintes condições ambientais:

- | | | |
|--|---|------------------------|
| 1) Altitude em relação ao nível do mar | - | 800 m |
| 2) Temperatura mínima anual externa | - | 0° C |
| 3) Temperatura máxima anual externa | - | 40° C |
| 4) Temperatura média anual externa | - | 27° C |
| 5) Velocidade do vento | - | 0,6 m/s |
| 6) Insolação plena | - | 1.000 W/m ² |
| 7) Umidade relativa média anual | - | superior a 80% |

4.3 Requisitos Técnicos Gerais

O cabo e terminais foram projetados para instalação aérea, com o cabo disposto sobre o solo e os terminais fixados em estruturas próprias para fixação dos mesmos, possuindo os seguintes requisitos gerais:

- 1) Os cabos e acessórios foram projetados para suportar todos os esforços térmicos e mecânicos a que serão submetidos em condições de regime ou transitórias de operação;
- 2) As blindagens metálicas foram projetadas para suportar as correntes de falta à terra passíveis de ocorrer no sistema;
- 3) Os cabos foram projetados para ter uma vida útil de no mínimo dez anos;
- 4) A capa externa e demais camadas do cabo foram projetadas para suportar sucessivos lançamentos e enrolamentos a que o cabo será submetido durante sua vida útil;
- 5) O condutor deverá ser uniforme em tamanho e formato, e sua superfície deverá ser lisa e isenta de defeitos e pontas;
- 6) O condutor do cabo singelo será composto de fios de alumínio circular ou segmentado, encordoado e compactado, conforme IEC – 60228 (1);
- 7) O número mínimo de fios do condutor e a resistência em CC deverão estar de acordo com a IEC – 60228;
- 8) A camada semicondutora sobre o condutor deverá ser extrudada, firmemente fixada à superfície externa do condutor, cobrir totalmente a superfície do condutor, ser compatível com a temperatura de operação do cabo e com o material do isolamento;
- 9) A isolamento deverá ser de polietileno reticulado (XLPE) e deverá estar de acordo com os requisitos das normas IEC e com alto grau de pureza;
- 10) A camada semicondutora sobre a isolamento deverá ser aplicada por extrusão diretamente sobre a isolamento, ser contínua, cobrir totalmente a superfície do isolante, ser compatível com a temperatura de operação do cabo e com o material do isolamento e a blindagem metálica;
- 11) As camadas da semicondutora interna, da isolamento e da semicondutora externa devem ser aplicadas simultaneamente por tripla extrusão e resfriadas por processo de cura a seco (*dry curing*), para assegurar homogeneidade das camadas e eliminar vazios;
- 12) Deverão ser empregadas fitas para bloqueio de penetração e migração longitudinal e radial de umidade, constituídas de material absorvente expansível cobrindo totalmente a superfície da camada semicondutora externa;
- 13) A blindagem metálica será constituída de fios de cobre e dimensionada para suportar o curto circuito especificado no item 4.1 durante 30 ciclos;
- 14) A camada de proteção externa deverá ser extrudada e constituída de polietileno de alta densidade. Deverá ser dimensionada para suportar os sucessivos desgastes mecânicos ocasionados pelos lançamentos e enrolamentos do cabo;
- 15) Os terminais flexíveis são do tipo pré-formado deslizante, seco sem líquidos isolantes, com saias isolantes de silicone para instalação externa.

4.4 Requisitos para Seleção de Terminais a Seco Cabo Flexível com Isolação 138 kV

Os principais requisitos para a seleção dos terminais foram:

- 1) Isolação que atenda os mesmos padrões de desempenho do cabo;
- 2) Conexão para interligar a cobertura metálica do cabo ao sistema de aterramento temporário;
- 3) Proteção da isolamento contra a penetração de umidade no terminal e cabo;
- 4) Proteção das partes metálicas contra corrosão;
- 5) Provisão de suporte ao cabo;
- 6) Habilidade de suportar cargas termomecânicas do cabo e forças externas como vento, etc.

5.0 - SISTEMA PARA ARMAZENAGEM, TRANSPORTE E LANÇAMENTO DO CABO ISOLADO

5.1 Condições Gerais da Bobina de Armazenagem

A bobina foi projetada para ter resistência mecânica suficiente para manuseio, transporte e armazenamento de um lance de aproximadamente 500 m do cabo isolado projetado com aproximadamente 5 toneladas de cabo. A bobina foi projetada de forma a proporcionar condições para que o cabo possa ser movimentado (desenrolar e enrolar) sem danos em condições mecânicas dinâmicas na situação de uso que exige o equipamento para conexão temporária entre trechos de linhas aéreas de subtransmissão e subestações da AES Eletropaulo, ver detalhes ilustrativos na Figura 3.

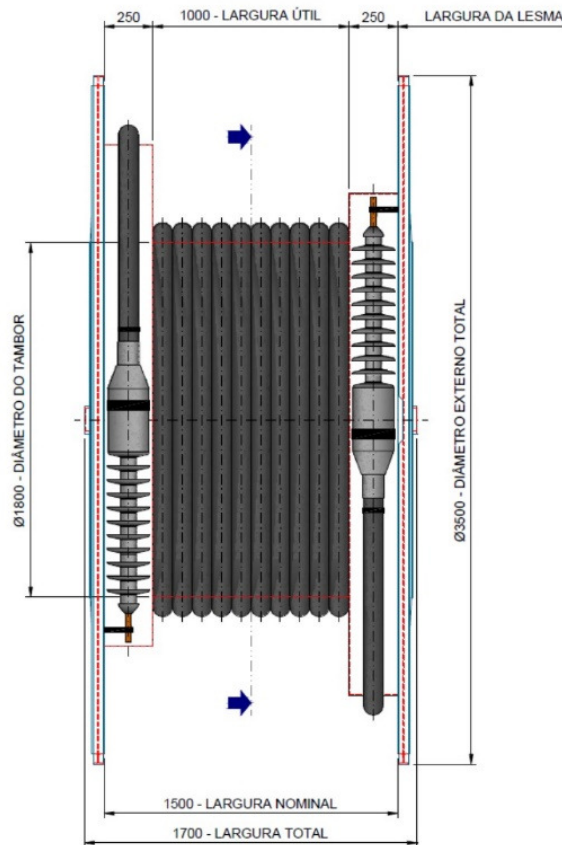


FIGURA 3 – Detalhe Ilustrativo de Bobina para Acondicionamento do Cabo e dos Terminais

5.2 Condições Gerais do Sistema para Desenrolar e Enrolar o Cabo

O sistema necessário para o manuseio da bobina em campo durante a operação de enrolamento e/ou desenrolamento do cabo e os elementos que o compõem e dotado de um motoredutor acionado por um motor elétrico à prova de poeira e jatos d'água em todas as direções com (grau de proteção IP- 65) dimensionado com torque e potência necessária para vencer a inércia do conjunto composto pela massa da bobina e peso específico do cabo nela acondicionado além de fornecer força suficiente para tracionar o cabo no puxamento durante o processo de rebobinamento do cabo.

6.0 - PROTÓTIPO DO CABO E TERMINAIS

6.1 Detalhes Construtivos do Protótipo do Cabo

O cabo isolado desenvolvido para ser empregado em conexões temporárias apresenta particularidades que permitem um manuseio mais fácil durante a sua aplicação.

Possui condutor constituído por corda de alumínio compactada e capa metálica de alumínio laminado que possibilitaram um cabo mais leve para facilitar o transporte, o lançamento e o recolhimento do cabo na bobina de armazenagem após a sua utilização.

A blindagem metálica é constituída de fios de cobre com capacidade de curto circuito compatível com o sistema elétrico da AES Eletropaulo e permite um cabo com maior flexibilidade e desta forma facilitar o rebobinamento do cabo bem como o seu lançamento.

A Figura 4 mostra desenho com a constituição do cabo desenvolvido e todas as suas camadas.

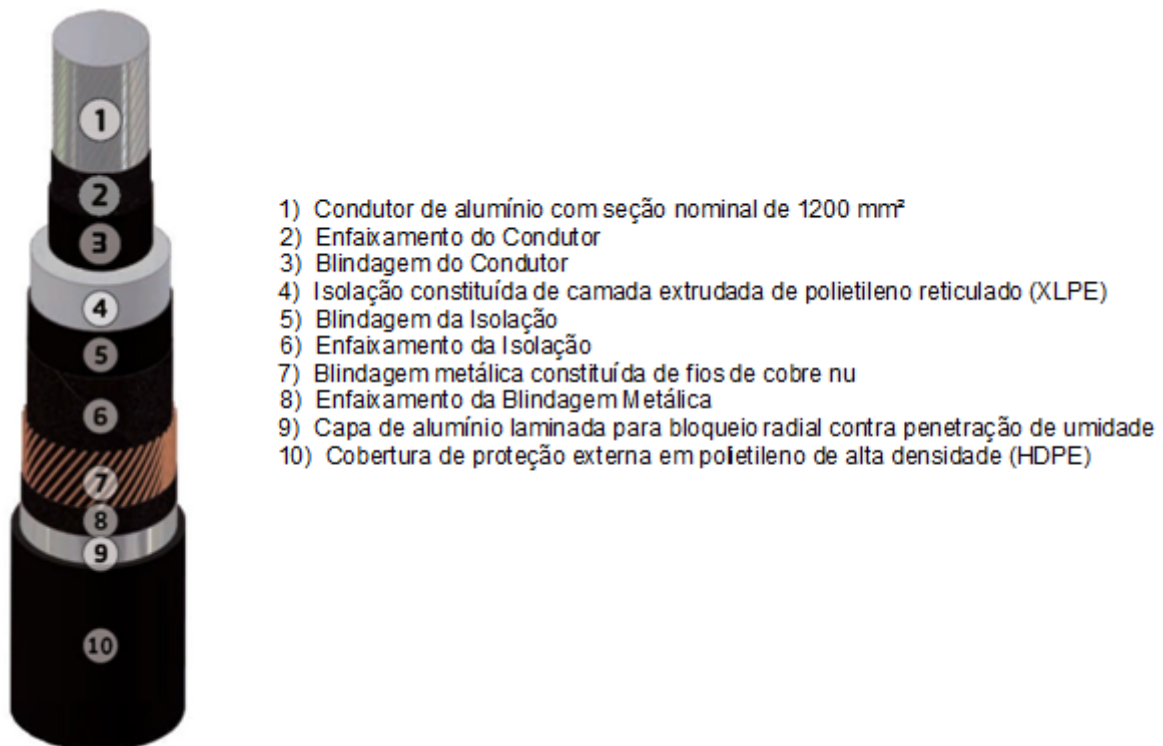


FIGURA 4 – Detalhe Construtivo do Protótipo do Cabo

6.2 Detalhes do Terminal

O terminal escolhido para a montagem deste equipamento foi um terminal do tipo externo, seco, para cabos isolados em XLPE completamente livre de qualquer líquido ou gas. Além de ambientalmente correto, este tipo de terminal é de fácil montagem sem a necessidade de preenchimento com qualquer isolante líquido ou gas, o que lhe confere um baixo peso e facilidade de manuseio. Como possui uma relativa flexibilidade permite uma perfeita acomodação na bobina de armazenagem e transporte.

A Figura 5 mostra um detalhe do terminal, após a montagem no cabo e bobina sendo testado em laboratório segundo as recomendações da IEC 60840 (2).

A Figura 6 mostra um detalhe do cabo e terminal acomodado na bobina empregada para armazenagem e transporte.

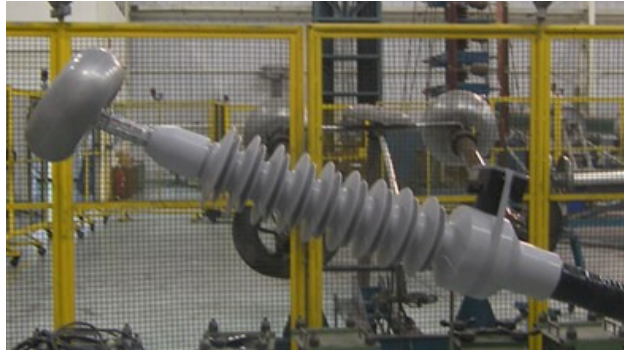


FIGURA 5 – Detalhe do Terminal Utilizado



FIGURA 6 – Detalhe do Lance do Protótipo do Cabo (500 metros) com Terminais Enrolado na Bobina

7.0 - PROCEDIMENTO PARA UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO

O projeto de pesquisa e desenvolvimento, além do equipamento para conexões temporárias, elaborou procedimento detalhado para a utilização do equipamento em serviços de reconstrução e manutenção de linhas de subtransmissão e subestações.

O procedimento descreve as medidas que devem ser tomadas para armazenagem, transporte, descarregamento da bobina, preparação do local para lançamento, testes para verificar a integridade da isolação antes da energização e rebobinamento do cabo para retorno ao local de armazenagem.

Os procedimentos em linhas gerais e de forma muito resumida estão descritos a seguir.

- 1) A armazenagem das bobinas será feita em terreno plano e local abrigado que forneça proteção contra sol e chuva.
- 2) O transporte deverá ser feito em período noturno face às restrições de tráfego na cidade de São Paulo para caminhões e cargas de maior porte.
- 3) O descarregamento do equipamento será feito com caminhão com guindaste tipo “munck” com capacidade mínima para içamento de cargas de 10 toneladas, e as bobinas serão levantadas pelo seu eixo e alças nelas posicionadas com esta finalidade.
- 4) As praças de lançamento deverão estar limpas e deverá ser evitado o contato da capa externa do cabo com superfícies abrasivas.
- 5) A bobina será posicionada na carreta de lançamento e rebobinamento que compõe o equipamento de conexão temporária em linha com a direção de puxamento do cabo e de tal forma que o cabo seja puxado do topo.
- 6) O lançamento do cabo será feito sobre roletes posicionados sobre o solo de maneira que a capa externa do cabo não tenha contato com o mesmo evitando-se que seja danificada.
- 7) Após o lançamento dos cabos das três fases os mesmos serão dispostos em formação triangular e fixados entre si através de abraçadeiras de nylon.
- 8) Os terminais serão fixados nas estruturas de sustentação componentes do equipamento para permitir a conexão com a linha aérea.
- 9) Após a montagem do equipamento e antes da conexão com a linha aérea, o equipamento será submetido a teste de tensão e medição de descargas parciais conforme descrito nos procedimentos elaborados.
- 10) Após a utilização do equipamento os cabos serão rebobinados e transportados para o local de armazenagem.

8.0 - CONCLUSÃO

O equipamento desenvolvido permite o trabalho seguro em linhas de subtransmissão energizadas nos trechos em que é empregado como variante, pois possibilita a continuidade de transmissão de energia e o desligamento do trecho em variante. Desta forma reduz a duração das interrupções programadas proporcionando uma melhor continuidade de fornecimento de energia aos consumidores.

Comparado ao método tradicional de construção de variantes de linhas aéreas em estruturas treliçadas autoportante ou postes, apresenta um menor tempo de preparo e aplicação e uma redução dos custos estimada em 35% sobre os valores das variantes tradicionais.

Apresenta uma redução dos riscos de desligamentos acidentais durante a construção ou manutenção de trechos de linhas e a eliminação dos resíduos resultantes de fundações temporárias para as variantes convencionais. Permite a eliminação do transporte dos materiais provenientes da escavação destas fundações, proporcionando uma significativa redução dos impactos socioambientais resultantes de variantes convencionais.

O equipamento face as suas características poderá ser empregado por outras concessionárias de energia elétrica que apresentem necessidades semelhantes às da AES Eletropaulo com relação a manutenção e reconstrução de linhas de subtransmissão e subestações.

9.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Conductors of Insulated Cables. IEC 60228. Edição 2004.
- (2) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Power Cables with Extruded Insulation and Their Accessories for Rated Voltages Above 30 kV ($U_m = 36$ kV) up to 150 kV ($U_m = 170$ kV) - Test Methods and Requirements. IEC 60840. Edição 2011

10.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Julio Cesar Ramos Lopes nasceu em São José do Rio Preto, SP, Brasil, em 1954. Graduiu-se em Engenharia Eletrotécnica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tem MBA pela Faculdade de Economia e Administração da Universidade de São Paulo e cursos de especialização na Owen School da Vanderbilt University - EUA, École de Management de Lyon - França, e Darden School da Virginia University - EUA. Sua experiência profissional inclui Light Serviços de Eletricidade S.A. e Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo. Atualmente desenvolve trabalhos de consultoria e engenharia para concessionárias de geração, transmissão e distribuição. É diretor da INOVATEC Consultoria e Engenharia e da TAG Inovação Tecnológica Ltda.



Walter Pinheiro nasceu em São Paulo, SP, Brasil, em 1956. Graduado em engenharia pela Escola de Engenharia São Paulo. Doutor em Sistemas de Potência pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Sua experiência profissional inclui CESP – Centrais Elétricas de São Paulo e Elektro. Ele desenvolve trabalhos de pesquisa e desenvolvimento para concessionárias de distribuição e de transmissão de energia elétrica. É diretor da TAG Inovação Tecnológica Ltda.



Gustavo Correa Silvestre nasceu em São Bernardo do Campo, SP, Brasil, em 1979. Graduiu-se em 1998 Técnico Eletrotécnico pela Escola Técnica Estadual “ETE” Lauro Gomes, em 2006 graduou-se em Engenharia Elétrica na Faculdade de Engenharia Mauá – São Caetano e Pós Graduação 2010 em Sistemas Elétricos de Potência: FEI São Bernardo. Empresa: Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S.A, desde 2000.



Sérgio Luiz Caparroz nasceu em 14 de Setembro de 1958 em São Paulo, Brasil. Engenheiro Eletricista graduado em 1984 na faculdade de Engenharia Eletrotécnica – FEI. Sua experiência profissional inclui a AES Eletropaulo, São Paulo, Brasil, onde começou a trabalhar com Subestações Convencionais e Compactas. Fez Pós-Graduação em Sistema de Potência na Universidade Escola Politécnica de São Paulo.