



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

GMI 18
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

**GRUPO XII
GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO EM INSTALAÇÕES
ELÉTRICAS - GMI**

TÉCNICAS MODERNAS DE MANUTENÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

**Erick Fernando Alves * Otávio Luis de Oliveira
Mauro Araújo Bittencourt Fumitaka Nishimura**

PROCABLE ENERGIA E TELECOMUNICAÇÕES LTDA.

RESUMO

Com a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a reestruturação do setor elétrico brasileiro são exigidos das empresas concessionárias índices cada vez maiores de qualidade. Levam-se em conta fatores como número e tempo de atendimento de ocorrências emergenciais, indicadores de qualidade de fornecimento, entre outros. E o não atendimento dessas regras pode implicar em pesadas multas.

Portanto, torna-se essencial disponibilizar informações relevantes para os serviços preventivos e emergenciais. Este trabalho apresenta duas técnicas modernas de manutenção que aumentam a segurança e confiabilidade do sistema elétrico através da melhora dos dados quantitativos fornecidos às equipes de manutenção.

PALAVRAS-CHAVE

Linhas de Transmissão, Manutenção Emergencial, Manutenção Preventiva, Ondas Viajantes, Corrosão.

1.0 - INTRODUÇÃO

Atualmente a segurança e confiabilidade do sistema elétrico estão intimamente ligadas às linhas de transmissão. Enquanto usinas hidrelétricas, subestações primárias e de distribuição possuem operação e monitoramento com tecnologias avançadas, como sistemas computadorizados e SCADA, a proteção principal e as informações para manutenção das linhas de transmissão são baseadas nos dados fornecidos por relés ou oscilógrafos.

Apesar de serem dispositivos extremamente confiáveis e eficientes no âmbito da proteção, os relés dificilmente fornecem informações quantitativas relevantes para a execução dos trabalhos de manutenção, apenas qualitativas. E os dados fornecidos por oscilógrafos dependem de complexas análises que podem levar horas ou mesmo dias e geralmente não possuem a precisão adequada para as equipes de campo.

Portanto, é imprescindível para melhoria da segurança e confiabilidade do sistema elétrico o desenvolvimento de soluções que melhorem os dados quantitativos fornecidos para equipes de manutenção, tanto emergencial quanto preventiva. Este trabalho apresenta e analisa os benefícios de duas técnicas modernas de manutenção de linhas de transmissão que vêm de encontro com as necessidades expostas.

A primeira delas é a localização de faltas em linhas transmissão através do princípio das ondas viajantes. Com uma configuração simples é capaz de localizar curtos-circuitos e faltas a terra e identificar as seções afetadas com grande precisão e rapidez, trazendo assim informações valiosas para os serviços de manutenção emergencial.

A segunda tecnologia apresentada é a detecção de corrosão em condutores em linhas de transmissão aéreas. O sistema diagnostica as condições de corrosão dos cabos condutores, incluindo as partes internas, permitindo assim que as equipes de manutenção ajam preventivamente e evitem acidentes e a interrupção do fornecimento em ambientes agressivos, como áreas litorâneas e com incidência de chuva ácida.

2.0 - LOCALIZADOR DE DEFEITOS POR ONDAS VIAJANTES

2.1 Princípio das ondas viajantes

Na ocorrência de uma falta numa linha de transmissão radial, a corrente de surto induz ondas eletromagnéticas que trafegam por toda extensão da linha nas três fases. A localização do ponto de defeito consiste em detectar a diferença de tempo a qual essas ondas que viajam pela linha levam para chegar aos seus extremos. Este princípio é mais bem visualizado na Figura 1.

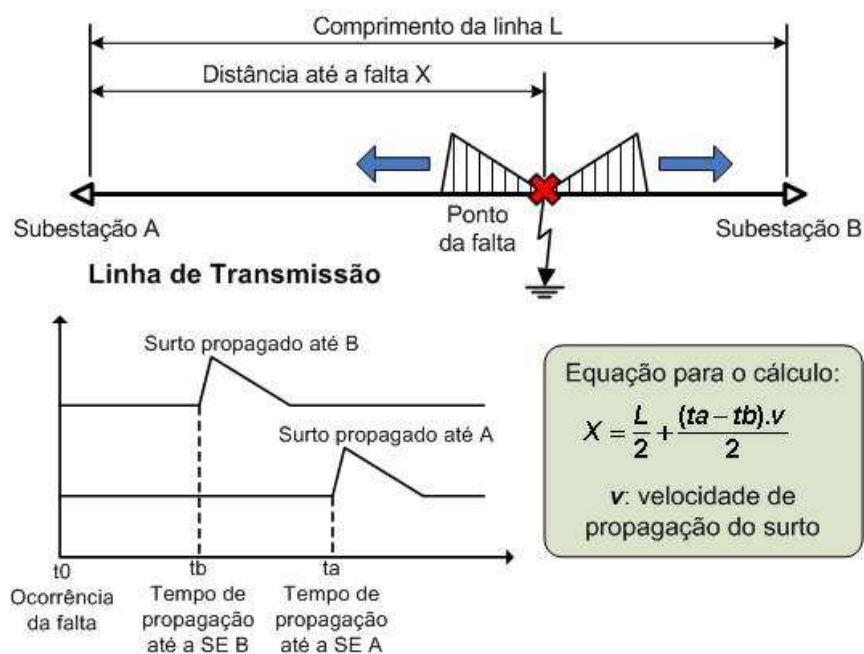


FIGURA 1 – Princípio das ondas viajantes

O comprimento da linha L e a velocidade de propagação v são constantes e valores construtivos conhecidos. Portanto, medindo a diferença de tempo entre a chegada das ondas nos pontos A (início da linha) e B (final da linha) é possível calcular a localização exata da falta.

2.2 Implementação utilizando o sistema GPS

Um localizador de defeitos por ondas viajantes basicamente é composto de um ou mais pares de estações locais, sensores de campo magnético e antenas GPS conectados entre si e com a estação principal, conforme exibido na Figura 2.

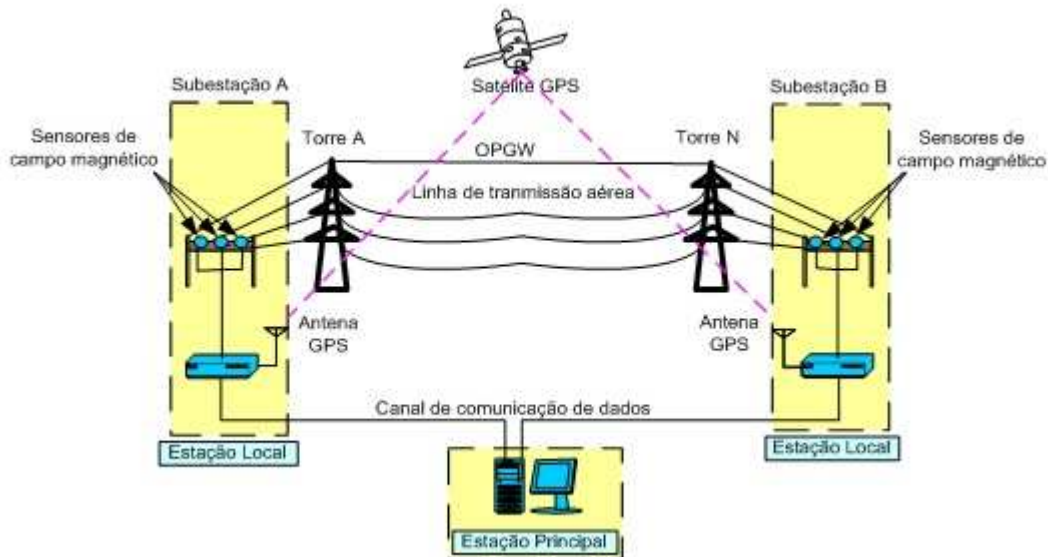


FIGURA 2 – Visão geral de um localizador de defeitos por ondas viajantes

Como pode se deduzir da equação mostrada na Figura 1, a precisão da medida de tempo está diretamente ligada a acurácia da localização da falta. Por isso, os sistemas de localização de defeitos por ondas viajantes utilizam as informações de tempo dos satélites do Sistema Global de Posicionamento (Global Positioning System ou GPS) para manter a precisão necessária dos seus contadores e sincronizar os relógios das estações locais.

Assim, cada estação local de um sistema localizador de defeitos por ondas viajantes recebe dados dos satélites para sincronização dos seus contadores, através de uma antena e receptor GPS. Ao utilizar o GPS é possível manter uma contagem de tempo de alta definição com imprecisão menor que $1\mu\text{s}$, permitindo uma localização de defeitos com incerteza menor que 300 metros, mesmo em linhas com compensação série.

Também na estação local um processador de sinais recebe as informações dos sensores de campo magnético instalados nas fases. Na ocorrência de uma falta, armazena-se o valor dos contadores e envia-se um sinal de trip para a estação principal.

Nesse momento, a estação principal confirma o sinal de trip recebido da estação local e coleta os dados do surto, com os quais o software de análise fará o cálculo da distância. Este software de análise também deve levar em consideração as deformações da onda de surto durante sua propagação para melhorar a precisão do cálculo. Para isso, é comum que se execute um processo de compensação dessa distorção, o qual é baseado na correção da forma de onda do surto aquisitada nas estações locais.

Ao final do processo, a estação principal exibe a distância e o ponto de referência (número da estrutura ou ponto de acesso) mais próximo do defeito, bem como a oscilografia da corrente de seqüência zero da falta, através da qual é possível identificar o tipo de defeito.

3.0 - DETECTOR DE CORROSÃO EM CABOS CONDUTORES

3.1 Princípio de funcionamento

O funcionamento do detector de corrosão em cabos condutores é relativamente simples e baseado no princípio da corrente Foucault e numa ponte de indutâncias.

A corrente Foucault é um fenômeno elétrico descoberto pelo físico francês Léon Foucault em 1851. Ocorre quando um campo magnético móvel ou variável intercepta um condutor ou vice-versa. O movimento relativo causa uma corrente de circulação no condutor, a qual gera um campo magnético que se opõe ao efeito do campo aplicado, segundo a Lei de Lenz. Quanto mais forte o campo magnético aplicado, maior a condutividade do condutor ou mais veloz o movimento relativo, maior a corrente gerada e conseqüentemente maior o campo que se opõe.

Conforme mostrado no esquema da Figura 3, ao aplicar um campo magnético paralelo ao condutor que possui uma velocidade v conhecida, é gerada uma corrente de Foucault marginal ao condutor que induz um campo magnético oposto ao aplicado e que pode ser mensurado utilizando-se uma bobina ativa Z' .

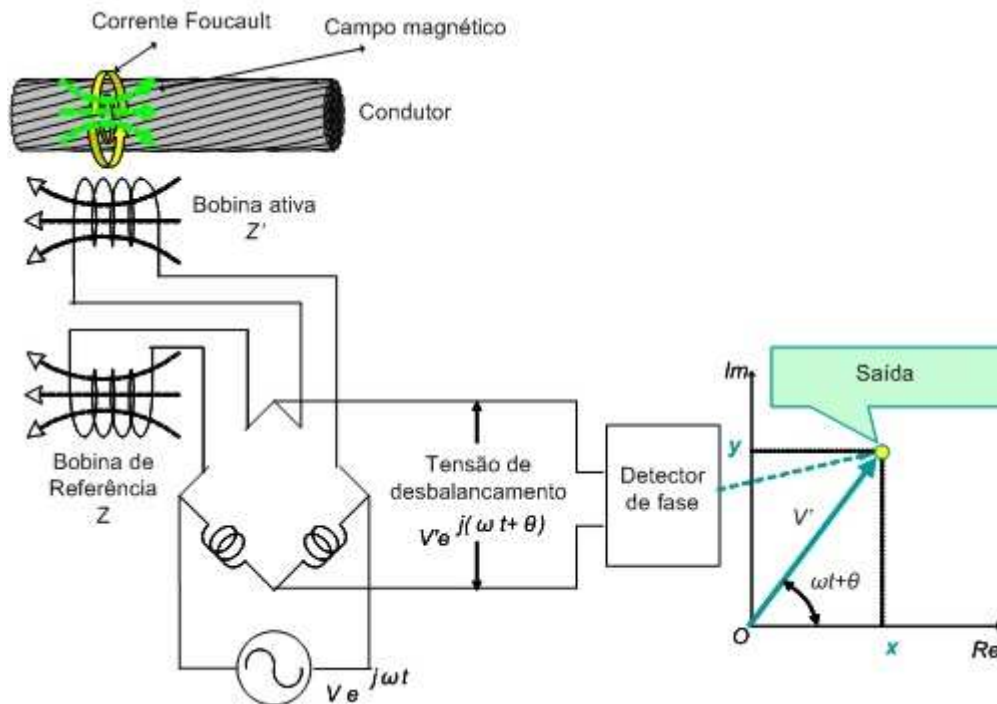


FIGURA 3 – Princípio de funcionamento do detector de corrosão

Quando esta bobina Z' é interligada a uma ponte de indutâncias que tem em um de seus braços uma bobina de referência Z com uma amostra do cabo original, é gerada uma tensão de desbalanceamento nos terminais da ponte. A magnitude dessa tensão é diretamente proporcional à seção do cabo condutor avaliado, já que quanto pior o estado de corrosão do mesmo, menor será sua condutividade. Conseqüentemente menor será a corrente Foucault e maior será a tensão de desbalanceamento nos terminais da ponte de indutâncias.

É possível também avaliar a tensão mecânica que o condutor suporta. Através de uma reta ajustada empiricamente, a qual depende apenas do material usado (aço ou alumínio), obtém-se o percentual remanescente da seção original do cabo. Com este dado em mãos, consegue-se também de forma empírica estimar a tensão suportável pelo cabo. O procedimento de avaliação das condições do condutor é mostrado na Figura 4.

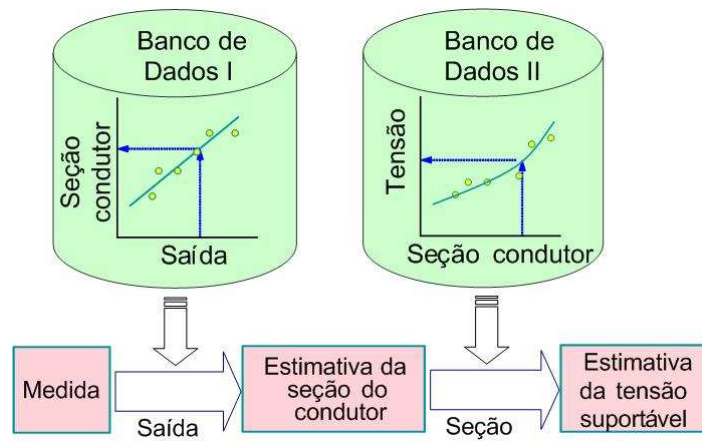


FIGURA 4 – Procedimento para estimar quantitativamente o estado de corrosão de um condutor

3.2 Implementação utilizando um carrinho de linha viva

Para execução de inspeção da linha de transmissão, o circuito mostrado na Figura 3 é montado sobre um carrinho de linha viva, que pode utilizar tanto auto propulsão quanto ser deslocado por um técnico treinado para o serviço em linha viva. As bobinas são implementadas através de acopladores indutivos do tipo bipartido que suportam bitolas entre 160 e 810 mm². Além disso, uma câmera CCD é posicionada próxima à bobina ativa para registrar visualmente as condições do condutor. Detalhes do sistema podem ser vistos na figura 5.

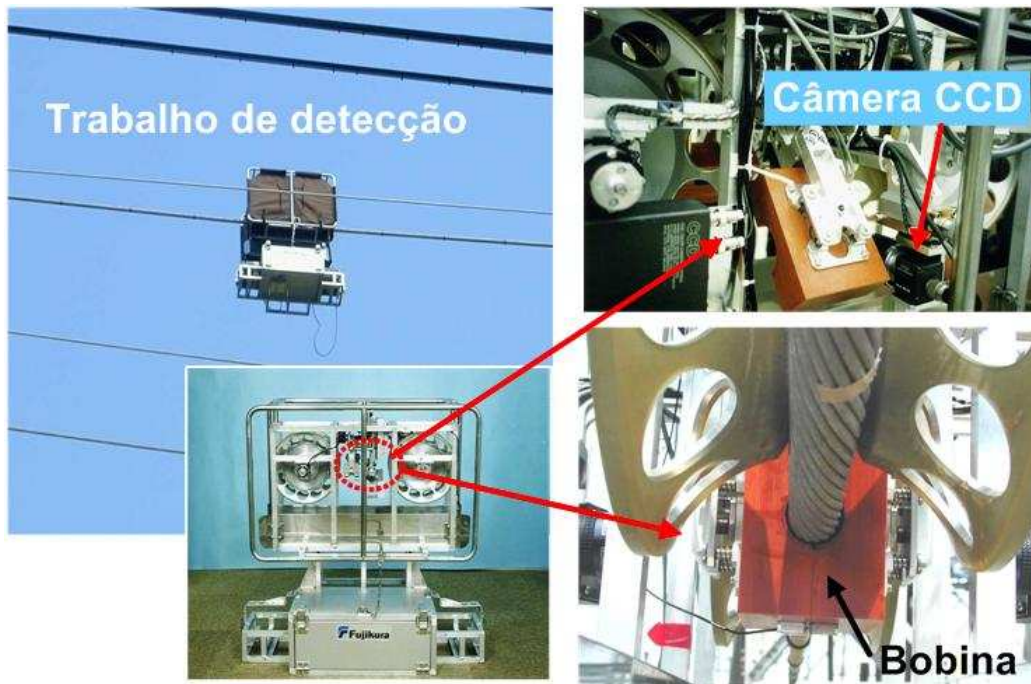
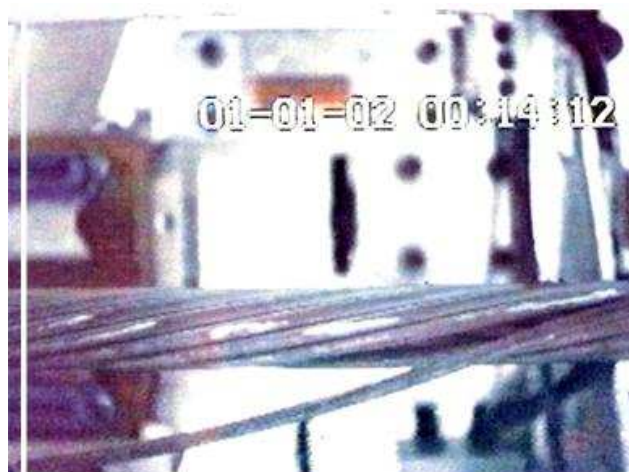


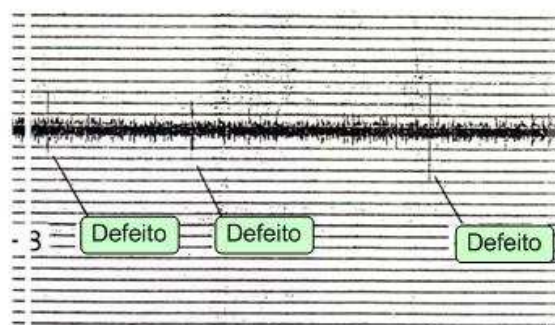
FIGURA 5 – Detalhes construtivos do sistema detector de corrosão

O peso do equipamento é de 50 kg e a velocidade aproximada de 10 m/min sendo que o ângulo máximo de catenária suportado é de 20°. Na versão com auto propulsão, 20 kg são adicionados devido às baterias que conseguem realizar até 1000 m de inspeção sem recarga.

Após percorrer a linha, o equipamento emite um relatório completo e referenciado com as condições do condutor, que associado às gravações da câmera CCD, identifica as seções críticas dos condutores. Para cabos ACSR é possível inclusive detectar separadamente a condição dos fios de alumínio e dos fios de aço que compõem o mesmo. Veja um exemplo deste relatório na Figura 6.



(a) Imagem do ponto de defeito



(b) Relatório referenciado indicando os pontos de defeito

FIGURA 6 – Informações fornecidas pelo sistema detector de corrosão

4.0 - APLICAÇÕES NO ÂMBITO DA MANUTENÇÃO

4.1 Manutenção emergencial e corretiva

As aplicações no âmbito da manutenção emergencial e corretiva do localizador de defeitos por ondas viajantes são imediatas. Com uma configuração simples o sistema é capaz de localizar curtos-circuitos e faltas a terra e identificar as seções afetadas com grande precisão e rapidez. Com uma incerteza menor que 300 metros, o defeito fica restrito a dois vãos na maior parte das linhas de transmissão existentes.

Isso significa que a fonte do defeito pode ser localizada com maior rapidez, muitas vezes numa simples inspeção visual a partir do solo. Essa informação mais precisa facilita o trabalho das equipes de campo, principalmente em áreas sujeitas a alagamento, regiões montanhosas ou de selva, já que é possível identificar antes mesmo da saída da equipe para o campo o melhor local de acesso ao ponto de defeito.

E além de auxiliar a localizar com precisão um ponto de defeito que causou o desligamento da linha, o sistema também pode identificar fontes de defeitos intermitentes. Como ondas viajantes são geradas sempre que há um transitório na linha, ocorrências de difícil localização como falta a terra causada por defeitos em isoladores, presença de vegetação ou excrementos de pássaros podem ser restritas a uma área delimitada e estudada detalhadamente em menor tempo, gerando economia de tempo e recursos para as concessionárias.

4.2 Manutenção preventiva

O detector de corrosão em cabos condutores tem aplicação voltada para a manutenção preventiva. Ao realizar uma inspeção dos condutores utilizando um carrinho de linha viva adaptado, do mesmo tipo usado para lançamento de cabos OPGW, é possível obter informações valiosas sobre o estado de conservação dos cabos.

Através dos dados fornecidos pelo equipamento, como seção de condutor remanescente e tensão mecânica suportável, torna-se relativamente fácil recalcular a carga máxima do sistema. Dessa forma, através da restrição temporária da corrente máxima da linha para valores abaixo do nominal, evita-se um possível rompimento de condutor e os enormes transtornos que uma ocorrência deste tipo pode trazer. Também permite que as equipes de manutenção tenham tempo hábil para se preparar e mobilizar recursos para resolver o problema da maneira mais eficiente possível.

Além disso, ao identificar seções específicas da linha com alto índice de corrosão mas sem perigo de rompimento, torna-se possível abordar o problema de forma preditiva, estudando soluções como substituição dos condutores por cabos resistentes à corrosão ou aplicação de graxa anti-corrosão em novos cabos do mesmo tipo, de forma a realizar uma intervenção programada no sistema para a solução do problema.

5.0 - CONCLUSÕES

A localização de defeitos por ondas viajantes e a detecção de corrosão são duas técnicas que pretendem disponibilizar informações quantitativas às equipes de manutenção. Apesar de seus princípios já serem conhecidos há muito tempo, apenas recentemente, através do desenvolvimento de novos materiais e uso de sistemas modernos como o GPS, foi possível desenvolver equipamentos que gerassem informações precisas sobre defeitos que ocorrem em uma linha de transmissão.

E o resultado é imediato na área de manutenção, já que uma localização precisa de defeitos traz uma maior eficácia, reduzindo o tempo no deslocamento da equipe e na identificação do defeito, permitindo a identificação de fontes intermitentes, um maior tempo para a solução do problema e a programação na realização dos serviços.

Isso traz benefícios diretos tanto para a concessionária quanto para a população, já que a energia não distribuída engloba duas parcelas: o lucro cessante, que é o prejuízo da companhia pela energia não faturada e o custo social, que a sociedade em geral perde quando há falta de energia.

Estudos de confiabilidade (um deles é da Eletrobrás – Pesquisa sobre Custos da Interrupção, de Mar.91) têm mostrado que o custo social é da ordem de 35 a 50 vezes o preço médio do kWh faturado, para regiões menos industrializadas, e de 50 a 100 vezes, para regiões bem industrializadas.

Por isso, embora os equipamentos atuais se demonstrem eficazes no âmbito da proteção, faz-se necessária a aplicação de novas técnicas e equipamentos para disponibilizar informações quantitativas às equipes de manutenção, de forma a manter um sistema elétrico seguro e confiável.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Bewley, L.V. –Travelling Waves on Transmission Systems– Dover Publications – Nova York, 1963
- (2) Stevenson Jr., W. D.; Grainger, R. D. – Power Systems Analysis – Mc-Graw-Hill – Nova York, 1994
- (3) Fitzgerald, A. E.; Kingsley, Charles Jr.; Umans, Stephen D. – Electric Machinery – Mc-Graw-Hill – Nova York, 1983
- (4) Fault location on transmission line using high frequency travelling waves – Jamali, S.; Ghezaljah,A. - Eighth IEE International Conference on Developments in Power System Protection - Amsterdam, April, 2004
- (5) Fault Location System for Power Cable Using Global Positioning System – Amano, Kazuo; Kon, Hiroyuki Dr., Kumada, Yoshinori – Fujikura Technical Review – Janeiro, 2002
- (6) Development of Corrosion Detector Robot for Overhead Transmission Line – Inuma, J.; Endo, M.; Kojima, Y; Hukuda, J.; Kumeda, T. – Fujikura Giho No. 79 – 1990
- (7) Corrosion Resistant Conductor for Overhead Transmission Line Corrosion Detector – Asano, Yuji; Hita, Takanori; Takei, Yuji – IEEJ Trans on PE Vol.124 No. 11 – 2004

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Erick Fernando Alves

Nascido em São Paulo, SP em 30 de abril de 1981.

Graduação (2006) em Engenharia Elétrica: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Empresas: Voith Siemens Hydro Ltda. (2005 a 2006)

ProCable Energia e Telecomunicações Ltda, desde 2006.

Engenheiro de Vendas e Aplicações

Otávio Luis de Oliveira

Nascido em Jundiaí, SP em 30 de junho de 1981.

Graduação (2006) em Engenharia Elétrica: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Empresas: ProCable Energia e Telecomunicações Ltda, desde 2006.

Engenheiro de Vendas e Aplicações

Mauro Araújo Bittencourt

Nascido em Belém, PA em 25 de novembro de 1966.

Graduação (1989) em Engenharia Elétrica: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Empresas: ProCable Energia e Telecomunicações Ltda, desde 1999

Gerente Comercial

Fumitaka Nishimura

Nascido no Japão em 25 de outubro de 1950.

Doutorado (1988), Mestrado (1977) e Graduação (1973) em Engenharia Elétrica: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Empresas: ProCable Energia e Telecomunicações Ltda, desde 1998

Diretor Geral