



**XXII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GLT/25
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO – III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

**LINHA DE TRANSMISSÃO 138KV MANGUEIRAL – BRASÍLIA CENTRO:
CONHECIMENTOS DIFERENTES PARA UMA MESMA LINHA**

Lima, A. J. O. (*)
AJOL ENGENHARIA

LEE, W. J.
PRYSMIAN

Pinto, P. R. V.
VPE-CEB

Vale, P. A. M.
CEB-GER

RESUMO

Com a finalidade de reforçar as condições operativas e melhorar o fornecimento de energia na região central de Brasília, onde ficam localizados os três poderes, foi construída a LT Manguelral – Brasília Centro, com potência firme de 160 MVA, que resulta uma corrente nominal de 670A.

A LT teve que atravessar o lago Paranoá e esse informe mostra como a mesma foi constituída de três tipos de instalações: Aérea, Sublacustre e Subterrânea.

PALAVRAS-CHAVE

Cabos, cabos de energia, cabos isolados, travessias subaquáticas, cabos em dutos, projeto elétrico.

1.0 - INTRODUÇÃO

Em meados de 2009 foi concluída a LT 138 kV Manguelral x Brasília Centro, com 4,65 km subterrâneos, 1,7 km sublacustre e 14,385 km aéreo, constituindo-se em caso especial na construção de linhas urbanas, pois contém as três modalidades conhecidas de linhas em implantação no sistema elétrico brasileiro.



FIGURA 1 – SE Manguelral



FIGURA 2 – Usina de Corumbá

A subestação Manguelral foi construída simultaneamente com a linha e com a Usina de Corumbá III, que fornecerá energia para essa linha. A subestação Manguelral receberá energia de três fontes distintas: Usinas Corumbá III e Corumbá IV e SE 500kV Samambaia, de Furnas. Isso a torna uma subestação de grande importância, pois, além

(*) Rua Marina, n° 942 – sala 2 – CEP 09.070-510 – Santo André – SP – Brasil
Tel: (+55 11) 2379-1948 – Email: ajolengenharia@uol.com.br

de atender uma região em expansão, ela transportará energia para a SE Brasília Centro, que atende a toda a região da Esplanada dos Ministérios e fará o fechamento de um anel de 138 kV.

Os dois empreendimentos, linha e subestação, foram financiados pela Eletrobrás.

Neste trabalho são apresentados detalhes da implantação da LINHA DE TRANSMISSÃO 138kV MANGUEIRAL – BRASÍLIA CENTRO, que foi construída TRÊS EM UMA, ou seja uma linha aérea, que continua com uma linha subaquática e termina com uma linha subterrânea. A potência firme da linha é de 160MVA cuja finalidade é reforçar as condições operativas e melhorar o fornecimento de energia à região central de Brasília onde ficam localizados os três poderes.

2.0 - PROJETOS DAS LINHAS

A CEB teve que coordenar os projetos para os três tipos de instalações diferentes, definindo os parâmetros, a filosofia de construção e o controle de custos para instalações tão diferentes.

Partindo da SE Mangueiral, a linha tem seu traçado por uma região de implantação de condomínios residenciais horizontais e pelo Parque Dom Bosco, até chegar à margem direita do lago Paranoá. Cruza o lago e interliga-se com o trecho subterrâneo em terreno vizinho ao Palácio da Alvorada, residência oficial do presidente da República.

Em seguida caminha pelo Parque da Vila Planalto e área urbana até a SE Brasília Centro, situada atrás do Palácio do Planalto.

Os cálculos elétricos foram realizados separadamente e depois utilizados como um todo.

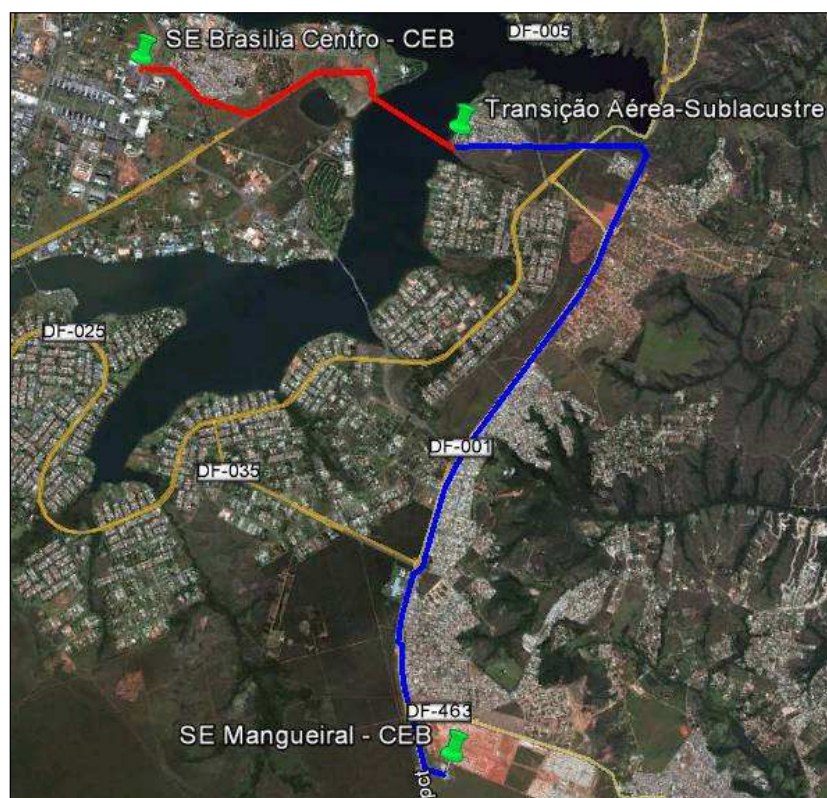


FIGURA 3 – Rota da LT Mangueiral – Brasília Centro: a linha em azul indica a rota da linha no trecho aéreo e a linha em vermelho indica a rota da linha com cabos isolados (subaquático e subterrâneo).

2.1 Trecho Aéreo

O projeto do trecho aéreo foi desenvolvido pela Cristal - Consultoria e Projetos Ltda.

O projeto foi desenvolvido tomando-se como base as prescrições da NBR 5422/85 – Projeto de Linhas de Transmissão e normas da CEB. O quadro a seguir mostra as principais características da linha.

Tabela 1 – Quadro com as principais características da linha aérea.

Tensão Nominal	138 kV
Frequência	60 Hz
Número de fases	03
Número de condutores por fase	01
Número de circuitos	02
Número de Para-raios	02
Número de cabos auxiliares	02
Disposição dos condutores	Vertical
Cabos Condutores	CA 795 MCM (LILAC)
Cabos Para-raios	OPGW com 12 fibras óticas, 13,3mm e aço galvanizado HS 5/16"
Cabos Auxiliares	CAA 2/0 AWG (QUAIL)
Tipo de Estrutura	Concreto armado
Isoladores	Poliméricos
Extensão	14,385 km
Distância mínima condutor/solo a 60°C	10 m

O trecho aéreo foi construído no padrão urbano, com 149 estruturas de concreto armado circular e foram concebidos para aplicação em meio urbano, para circuito duplo, com instalação do 1º circuito, cabo 795 MCM – Lilac, cabo PR 3/8" e OPGW e cabo auxiliar 2/0 AWG - Quail. Este trecho interliga-se com a parte sublacustre por meio de uma subestação de transição situada na margem direita do lago do Paranoá.

Por orientação da CEB, foram baseadas no conhecido Padrão Copel, adaptadas às condições específicas do local de implantação deste projeto.

O aterramento de pé de torre foi especial, considerando o aspecto urbano da linha. Inicialmente era previsto um aterramento com dimensões de 5mX5m que foi substituído por um aterramento redondo com raio de 1,5m, aumento do número de hastes e substituição da cordoalha de cobre de 70mm² por fio de aço cobreado 4AWG. A resistência de aterramento se manteve dentro de valores aceitáveis com grande economia de custo. Foi projetada uma calçada em torno de cada estrutura com a utilização de materiais que garantissem que as tensões de passo e de toque permanecessem dentro dos limites normalizados. Na figura 4 é mostrado o esquema de uma das configurações adotadas.

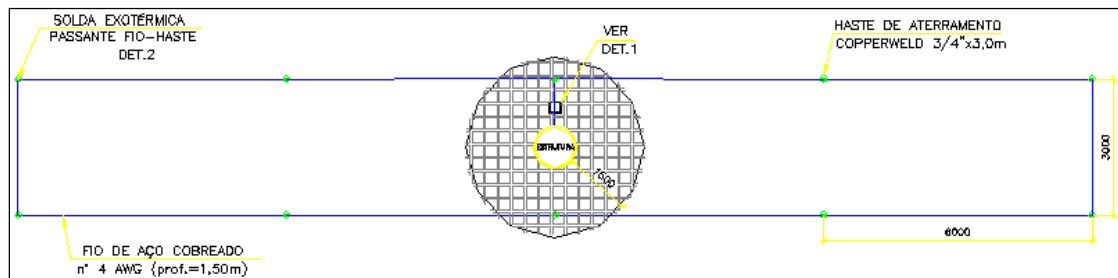


FIGURA 4 – Malha de aterramento para os postes da linha aérea 138kV

2.2 Trecho Sublacustre

O projeto para instalação do circuito sublacustre foi realizado pela Prysmian Energia Cabos e Sistemas do Brasil S.A.

Uma característica especial utilizada nesse tipo de projeto é o levantamento batimétrico em conjunto com o levantamento das coordenadas da rota.

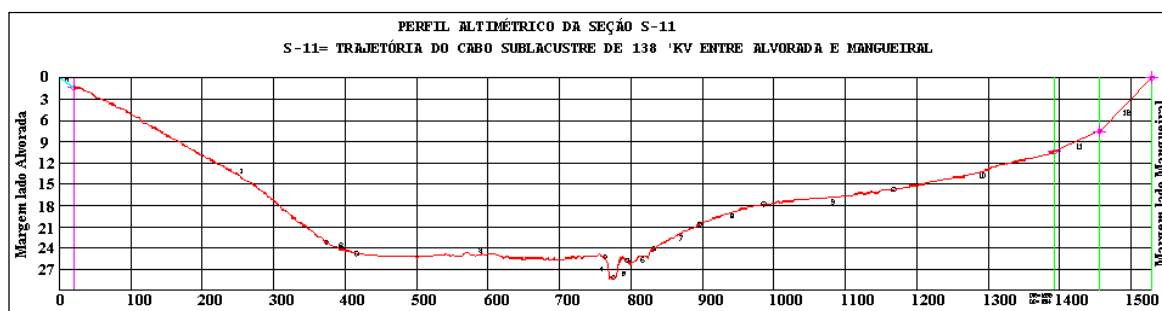


FIGURA 5 – Levantamento Batimétrico da trajetória do cabo no Lago Paranoá

Para esse trecho de cerca de 1700m, o cabo utilizado para atender a potência definida foi o cabo com condutor de cobre de seção 400mm², com isolamento EPR, blindagem metálica com capa de chumbo, cobertura interna em LDPE, armação metálica a fios de cobre e cobertura externa em HDPE.

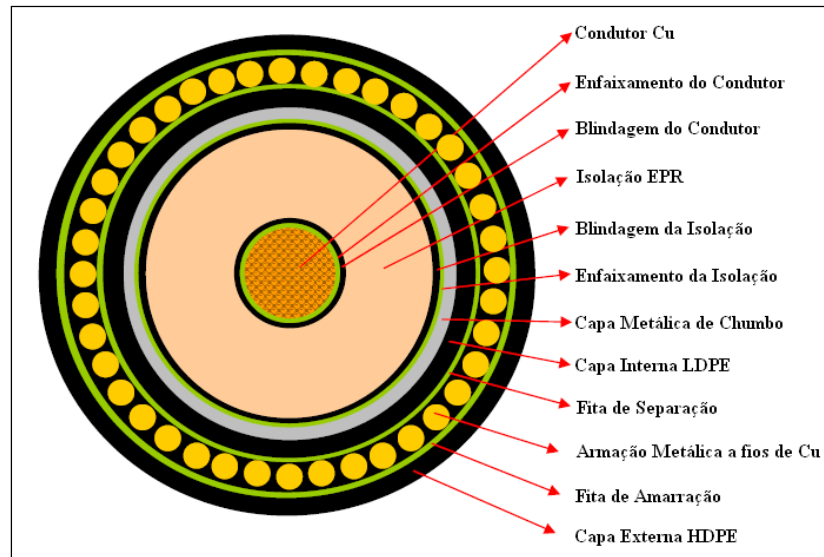


FIGURA 6 – Cabo subaquático utilizado.

Como o lançamento de cabos subaquáticos exige cuidados especiais devido a imprecisão do posicionamento dos cabos no fundo do lago, para evitar o cruzamento entre os mesmos, as fases foram distanciadas a uma média de 25 metros dentro do lago.

O sistema de aterramento utilizado é o “Both Ends Bonding”, projetado de uma forma especial por se tratar de um cabo subaquático.

Nesse sistema de aterramento, as perdas na blindagem metálica (capa de chumbo) devido a correntes induzidas tendem a aumentar conforme o distanciamento entre fases aumenta. Então para que essas perdas fossem reduzidas, a armação metálica foi aterrada nas duas extremidades.

Essas perdas são reduzidas devido ao fato das correntes induzidas na armação metálica anularem grande parte das correntes induzidas na blindagem metálica (capa de chumbo) pelas correntes dos condutores. O aquecimento gerado na armação metálica pelas correntes nelas circulantes será compensado pelo fato do cabo estar em contacto direto com a água do lago.

Esse aterramento foi feito utilizando caixas metálicas especiais que na margem do lado do palácio da Alvorada foi instalada na posição vertical em um tipo de armário, construído em alvenaria com porta de ferro com cadeado. Já no lado da transição aérea – sublacustre a mesma foi enterrada na posição horizontal.

Para melhor execução dessa etapa, o total de fios de cobre da armação metálica de cada cabo foi dividido em três grupos, os quais foram conectados à caixa de aterramento.

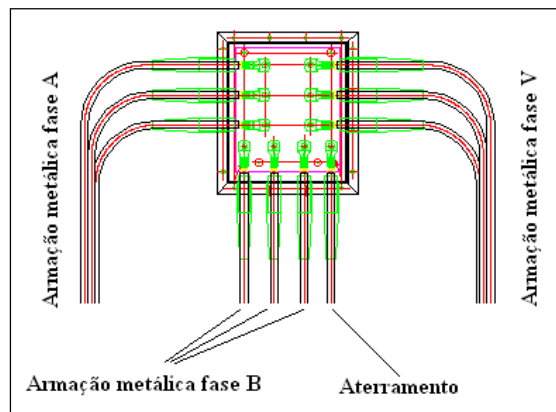


FIGURA 7 – Caixa de aterramento da armação metálica

A temperatura no lago adotada foi de 20°C e a resistividade térmica adotada foi 0,5 K.m/W.

Já nas margens do lago, as condições ambientais são menos favoráveis do ponto de vista térmico. Nelas os cabos estão instalados em dutos diretamente enterrados.

O trecho nas margens do lago é o mais crítico de toda instalação, onde os cabos foram enterrados a uma profundidade máxima de 1,5m e um distanciamento mínimo entre fases de 0,4m.

Para que o cabo atendesse a potência nominal requerida, foi retirada a armação metálica do mesmo, pois, como a distância entre as fases é pequena, as perdas por correntes induzidas foram reduzidas sem a armação metálica.

A capa metálica de chumbo foi aterrada tanto na caixa de emendas do lado do palácio da Alvorada como no lado da transição aérea – sublacustre. Nas margens do lago foi adotada a temperatura de 25°C e a resistividade térmica de 0,9 K.m/W.

2.3 Trecho Subterrâneo

O projeto para instalação do circuito subterrâneo foi realizado pela Prysmian Energia Cabos e Sistemas do Brasil S.A.

Para esse trecho de cerca de 4700m, divididos em 6 lances, o cabo utilizado para atender a potência definida foi o cabo com condutor de alumínio de seção 630mm², com isolamento a base de XLPE, blindagem metálica a fios de cobre e cobertura em HDPE.

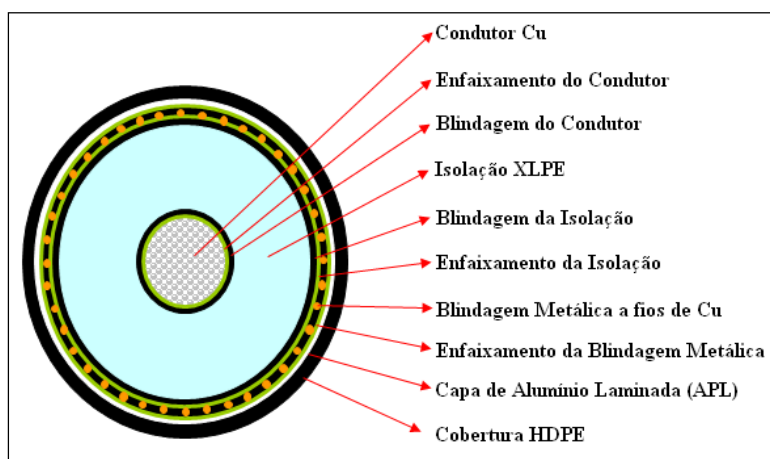


FIGURA 8 – Cabo subterrâneo utilizado.

O sistema de aterramento utilizado é o “Cross Bonding”.

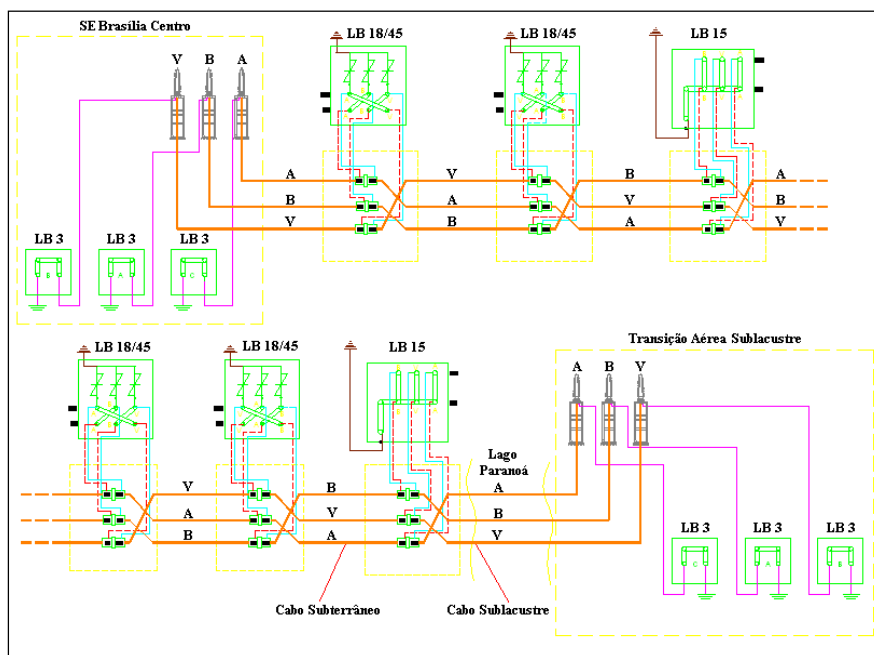


FIGURA 9 – Sistema de Aterramento do trecho subterrâneo e sublacustre.

Os cabos ficaram em formação plana horizontal distanciados de 250mm a uma profundidade média de 1,7 metros em quase todo o trecho.

Somente próximo a chegada à SE Brasília Centro foi necessária a utilização de método não destrutivo (MND) para três travessias em vias públicas, onde a distância entre os cabos variou de 750mm a 1250mm de acordo com a profundidade que variou de 1700mm a 3600mm.

A resistividade térmica do solo natural foi 1,2 K.m/W e no banco de dutos envoltos de backfill foi 0,9 K.m/W. A temperatura no solo adotada foi de 25°C.

3.0 - CONSTRUÇÃO DAS LINHAS

A construção da mesma também foi feita separadamente.

3.1 Trecho Aéreo

O trecho aéreo foi implantado na região metropolitana de Brasília, iniciando na SE Mangueiral e terminando na margem leste do lago Paranoá, próximo ao Setor de Mansões Dom Bosco, onde foi construído o ponto de transição dos trechos aéreo e sublacustre, perfazendo um total de 14385m.

O trecho aéreo, padrão urbano, foi construído em circuito duplo, utilizando estruturas de concreto armado, com disposição vertical entre fases, com todo o seu caminhamento desenvolvido em área urbana. Apenas o circuito 1 faz parte da LT SE Mangueiral – SE Brasília Centro, o circuito 2 faz parte LT SE Mangueiral – SE Altiplano que teve a continuação em circuito aéreo.

Como as estruturas adquiridas eram circulares - tipo R - e com peso menor do que o previsto, o projeto das fundações foi alterado de forma que sua execução pudesse ser feita com uso de perfuratriz e possibilitar a redução do prazo da obra, como fora solicitado pela diretoria da CEB. Essa solução, além de dar velocidade, trouxe uma economia no valor dos serviços.



FIGURA 10 – Fundação em formato circular.

No campo das interferências ambientais, a linha foi exemplar. A abertura de faixa, principalmente na travessia pelo Parque Dom Bosco, foi feita com um mínimo de cortes de árvores para dar passagem e garantir a segurança operativa da linha.

3.2 Trecho Sublacustre

Para a travessia do lago Paranoá foi necessário o uso de embarcações especiais e mergulhadores para a execução do lançamento dos cabos.



FIGURA 11 – Puxamento dos cabos com boias.



FIGURA 12 – Chagada dos cabos na transição.

Para que os cabos fossem corretamente posicionados na rota e a tração de puxamento fosse reduzida, os cabos foram amarrados em tambores plásticos para permanecer boiando durante a operação de puxamento.

A transição entre o trecho de linha aérea e o trecho de linha sublacustre foi feita com a utilização de um pórtico em área fechada.



FIGURA 13 – Transição Aérea – Sublacustre

Nas margens, os cabos foram instalados formando uma senoide de modo a ancorá-los.

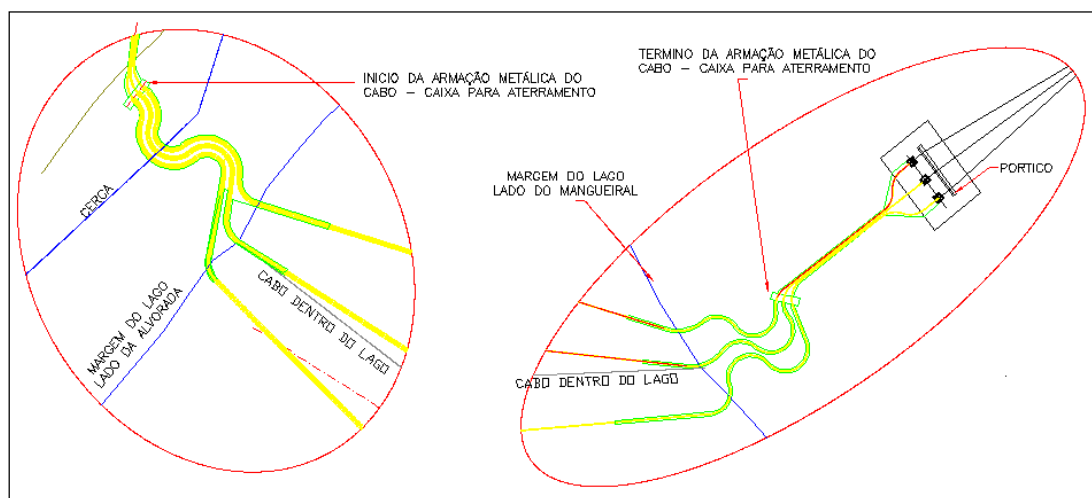


FIGURA 14 – Chegada dos cabos nas margens do lago Paranoá.

A transição entre o trecho sublacustre e o trecho subterrâneo foi feito por meio de emendas e dispositivos especiais, estudados para evitar que as correntes induzidas nas armações metálicas prejudicassem a condição de instalação dos cabos no trecho subterrâneo.

3.3 Trecho Subterrâneo

O trecho subterrâneo foi iniciado em área vizinha ao palácio da Alvorada.

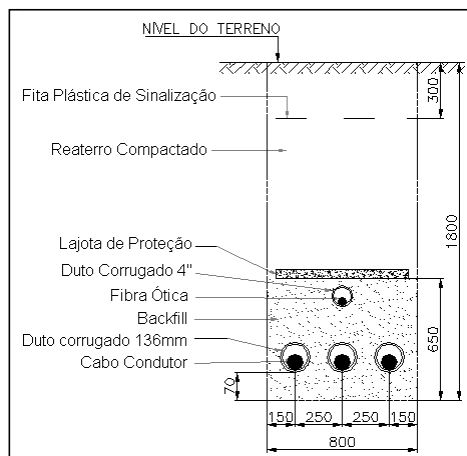


FIGURA 15 – Corte de vala.

Os cabos foram instalados na maior parte do trecho em um banco de dutos corrugados de PEAD envoltos de backfill de pó de pedra, com granulometria especial, para atingir a compactação suficiente para manter as características térmicas mesmo que o backfill fique completamente seco.

Nas travessias, onde foi utilizado o MND, os dutos lisos de PEAD são instalados diretamente no solo através de máquinas próprias para esse tipo de instalação.

Uma grande vantagem na instalação de linhas de transmissão subterrâneas na cidade de Brasília, é que por existir bastante espaço livre entre as ruas e as edificações, as mesmas normalmente são instaladas nessas áreas ajardinadas, o que não prejudica o asfalto e reduz os transtornos como desvio de trânsito. Assim o custo com as obras de instalação acaba sendo reduzido.

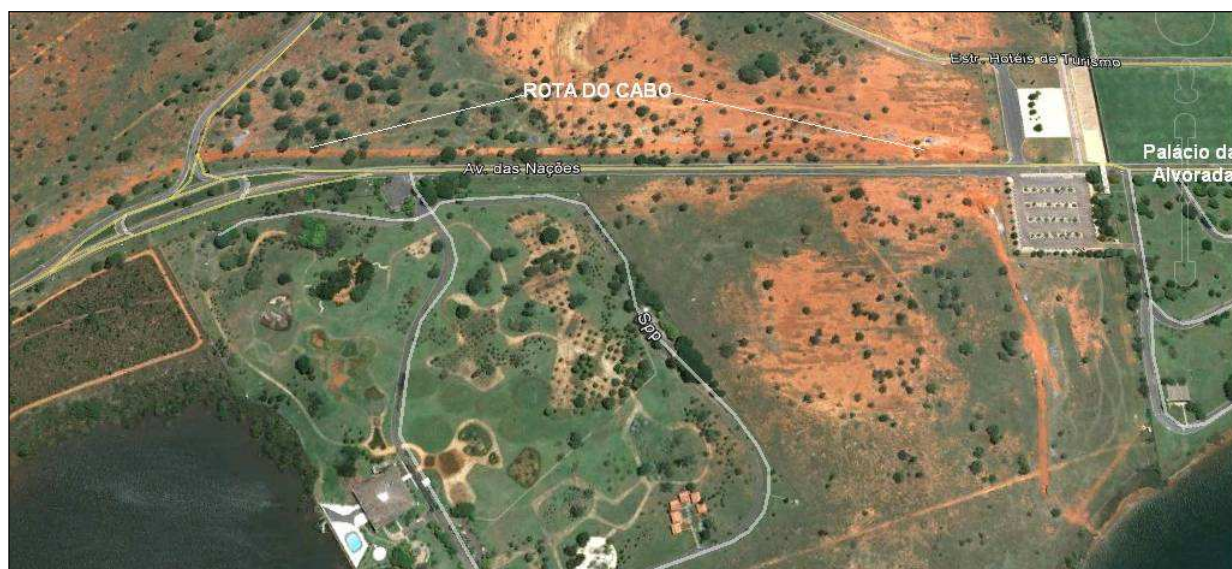


FIGURA 16 – Vista aérea da rota do cabo subterrâneo

4.0 - CONCLUSÃO

Os estudos efetuados para a construção dessa linha de transmissão mostraram ser perfeitamente viável a convivência desses três tipos de instalações diferentes.

Construtivamente ela trouxe a necessidade de harmonizar os conhecimentos que já tinham sido utilizados individualmente e coordenados por uma única equipe.

Eletricamente, embora cada trecho tenha métodos de cálculos específicos, os resultados podem ser reunidos para os trabalhos operativos do sistema.

Mostra a flexibilidade que se consegue com a utilização de linhas de alta tensão com cabos isolados.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION 60287-1-1, Electric cables – Calculation of The Current Rating – Part 1-1: Current Rating Equations (100 % load factor) and Calculation of Losses – General, 2006.
- (2) PRYSMIAN CABLE & SYSTEMS – High Voltage Cable Brochure, 2007
- (3) PRYSMIAN CABLE & SYSTEMS – Submarine Energy System Brochure, 2007
- (4) ABNT NBR 5422/85 – Projeto de Linhas de Transmissão



6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Aloísio José de Oliveira Lima nasceu em Bernardino Campos, SP, em 12 de janeiro de 1942. É formado em Engenharia Elétrica, modalidade Eletrotécnica, pela Escola Politécnica da USP, turma de 1966. Fez curso de Especialização em distribuição de Energia Elétrica pela Escola de Engenharia Mackenzie. Foi coordenador do Comitê de Estudo B1, do Cigre, por 6 anos. Foi membro do Study Committee B1- 25 para elaboração da brochura "Advanced Design of Metal Laminated Covering". Foi Gerente de Projetos de Alta Tensão da Prysmian Energia e Sistemas do Brasil S.A. até 2007 e, a partir de 2008, passou a ser responsável técnico pela AJOL Engenharia e Assessoria Ltda.

Woong Jin Lee nasceu em Seul, Coréia do Sul, em 14/05/1972. É formado em engenharia elétrica (mod. eletrotécnica) pela Escola de Engenharia Mauá, em dezembro de 1.993. Concluiu pós-graduação (MBA) em Administração de Projetos e Conhecimento, Tecnologia e Inovação (CTI) pela Fundação Instituto de Administração em 2002 e 2003 respectivamente. Atualmente é gerente de projetos e sistemas de alta tensão da Prysmian Energia Cabos e Sistema do Brasil SA, onde atua na área de engenharia desde 1.997.

Paulo Roberto Vilela Pinto, ex-engenheiro da CEB Distribuição e consultor em Engenharia.

Nascido em Itanhandu-MG, em 20/10/1955, é formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá - Unifei, em julho de 1985. Conta com especialização em Matemática Superior (CEUB-1986), Gestão Empresarial (UnB-1993) e Cenários Energéticos (USP/EFEI/Unicamp-2002), foi professor de matemática e física nos cursos pré-vestibulares Anglo-Latino, Objetivo e Super Curso das cidades de Itajubá e Pouso Alegre, MG e de matemática financeira nos cursos de Administração, Economia e Turismo da UPIS, em Brasília, DF. Foi Coordenador Geral do XVI Sendi – Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, em 2004, em Brasília, membro das Comissões Técnicas do X CBE, IV CBPE e do XVII Sendi. É responsável pela edição de diversos livros de resgate histórico e criador do portal "A Mão e a Luz", de resgate da memória da distribuição da energia elétrica no Brasil.

Paulo Angelo Maia do Vale nasceu em Teresina, Piauí, em 25/01/1959. É formado em engenharia elétrica (mod. eletrotécnica) pela Universidade de Brasília, em 1.982. Concluiu Mestrado em Engenharia Elétrica, Sistemas de Potência, pela Universidade de Brasília, em 1987. Atualmente é Superintendente de Manutenção do Sistema da CEB Distribuição, empresa onde atua desde 1984.