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

CARLA DAMASCENO PEIXOTO	FERNANDO MARTINS FERREIRA
Light Serviços de Eletricidade S/A	**Light Serviços de Eletricidade S/A**
carladam@light.com.br	fernando.martins@light.com.br

José Benedito Costa Araújo	WOONG JIN LEE
Light Serviços de Eletricidade S/A	**Prysmian Energia Cabos e Sistemas do Brasil SA**
benedito.araujo@light.com.br	woong.lee@prysmiangroup.com

LINHAS MISTAS DE ALTA TENSÃO - VIABILIZAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS EM ÁREAS URBANAS EXPERIÊNCIA LIGHT

Palavras-chave

aterramento
linha de transmissão subterrânea
transição aérea-subterrânea

Resumo

Este trabalho relata os aspectos técnicos, operacionais, econômicos e impactos ambientais na implantação de linhas de transmissão aéreas conectadas às linhas subterrâneas no sistema de transmissão 138KV da Light. São apresentados os tipos de transições aéreo-subterrâneas principais instalados em nosso sistema, os diagramas e os equipamentos principais empregados nestas transições. Descrevem-se ainda as dificuldades e as soluções implementadas em áreas urbanas de comunidades carentes viabilizando os programas de aceleração do crescimento (PAC) do Governo Federal e contribuindo para o desenvolvimento da região.

1. Introdução

INTRODUÇÃO

Torna-se cada vez mais difícil o emprego das linhas de transmissão aéreas em áreas urbanas, principalmente na cidade do Rio de Janeiro. Na impossibilidade de instalação de linhas aéreas quer seja pela imposição dos órgãos públicos ou por questões de impacto ambiental, a Light vem adotando soluções mistas de modo que o impacto econômico do empreendimento não o inviabilize. Hoje a relação de custo com o emprego de linhas subterrâneas gira em torno de 5 a 10 vezes o de linhas aéreas, sendo que se comparado o custo de linhas aéreas em áreas urbanas esta relação pode ser inferior a 5 vezes.

A seguir ressaltam-se as considerações relevantes de projeto, proteção e operação para os casos principais do enterramento de linhas aéreas no trecho final da chegada à subestação ou em trecho intermediário. Nesses casos indicam-se os equipamentos principais instalados em cada uma das alternativas.

2. Desenvolvimento

1. **ENTERRAMENTO NO TRECHO FINAL DA LINHA DE TRANSMISSÃO RADIAL NOVA ATÉ A CHEGADA NA SUBESTAÇÃO**

1.1 Transição de Linhas Aéreas em Subterrâneas em Poste

Neste caso o linha aérea é interrompida antes da chegada à subestação e a transição aérea - subterrânea se dá diretamente em poste, com o emprego apenas de equipamento de proteção pararaios 138KV, um em cada fase.

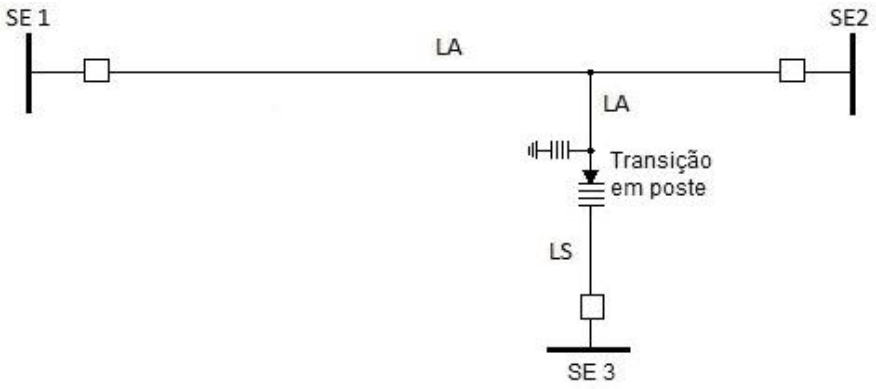

Figura 1 – Diagrama unifilar de transição em poste

Como este caso ocorre geralmente em áreas urbanas nobres, o projeto da linha subterrânea leva em consideração os valores a serem atingidos pelo campo magnético, norteando as profundidades da instalação dos cabos subterrâneos de alta tensão, seu tipo de aterramento das blindagens metálicas e sua disposição. Além disso, especial atenção se dá a obra civil utilizando-se metodologias construtivas que permitam reduzir o transtorno a população local dando agilidade à construção. O esquema de proteção dessa linha radial de 138KV segue o padrão das demais linhas aéreas de 138KV incluindo a filosofia de religamento, o qual é permitido.

A solução Light que se destaca é a alimentação da nova subestação Recreio, localizada em área urbana nobre

da cidade do Rio de Janeiro, com o emprego de linha aérea urbana compacta beirando o Canal do Cortado e subterrânea na chegada desta subestação.

- Características principais:

Tensão de Operação: 138 kV

Nº de circuitos: 02

Capacidade de Transmissão: 120 MVA

Cabos Condutores: XLPE - 500 mm2 (Al/Fios Cu com capa de Al laminada)

Extensão do trecho Aéreo: 4000 m

Extensão do trecho Subterrâneo: 525 m

Equipamentos de Proteção Instalados na estrutura de transição: pára raios

- Poste de transição:

Escolhida a alternativa de projeto do poste em concreto, por questões de menor prazo em seu fornecimento, e com perfil que causasse menor impacto visual.

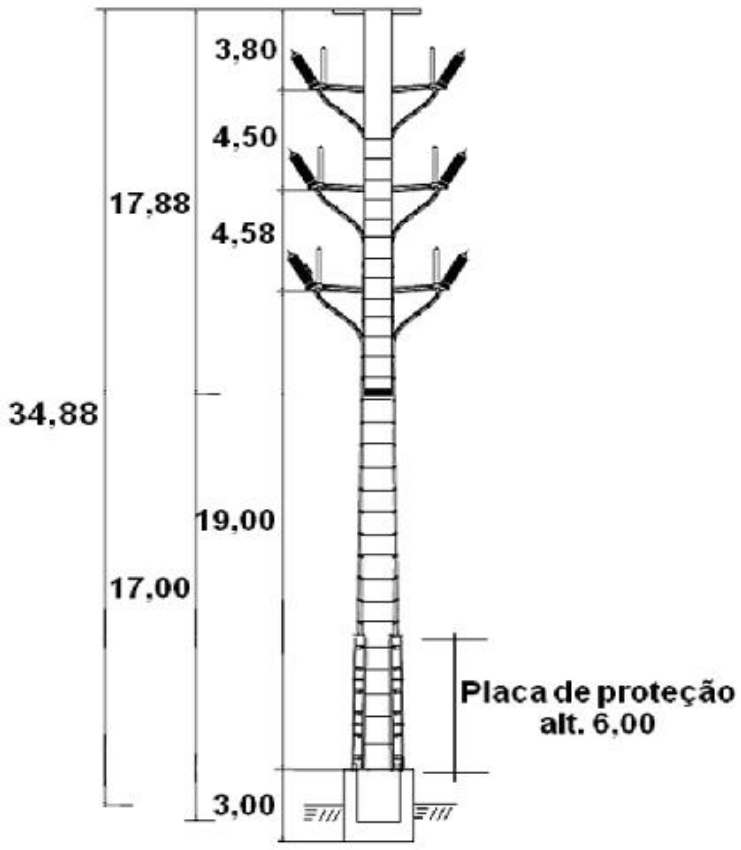

Figura 2 – Poste de transição em concreto diâmetro circular, dimensões em metros.

- Construção civil e montagem eletromecânica do trecho subterrâneo:

Para redução dos transtornos causados a comunidade e dar maior segurança a instalação, foram empregados banco de dutos envelopados em concreto usando-se o método convencional de escavação. Já no trecho localizado em faixa de servidão constituída em propriedade de terceiros a solução da passagem subterrânea dos dutos foi feita através de perfuração horizontal direcionada, sem escavação de vala a céu aberto - método não destrutivo.

A formação dos dutos na disposição 3V X 3H, levou em consideração a redução da largura da vala e o espaço físico limitado para a instalação junto ao canteiro central, de modo a distanciar o banco de dutos da calçada de pedestres e reduzir a intensidade do campo magnético neste ponto. Os cabos subterrâneos foram dispostos em formação plana vertical e instalados nos dutos externos do banco, vide a figura 2.1. O aterramento das blindagens metálicas dos cabos foi realizado em ambas as extremidades dos circuitos. Este tipo de aterramento gera corrente induzida na blindagem, cuja intensidade aumenta com o aumento do espaçamento entre as fases do cabo. Esta corrente circula pela blindagem metálica do cabo em sentido oposto ao sentido da corrente do condutor, reduzindo assim o campo magnético resultante gerado pelas linhas subterrâneas.

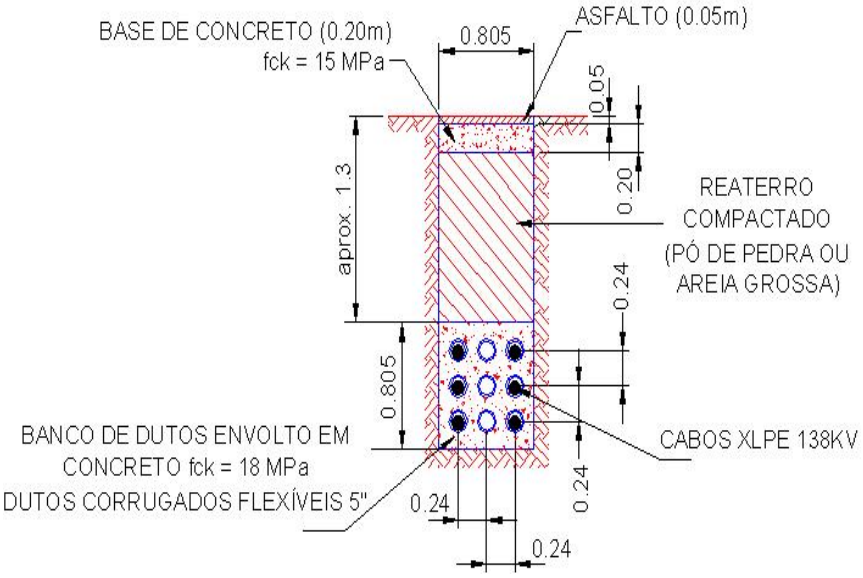

Figura 3.1 – Banco de dutos executado pelo método convencional

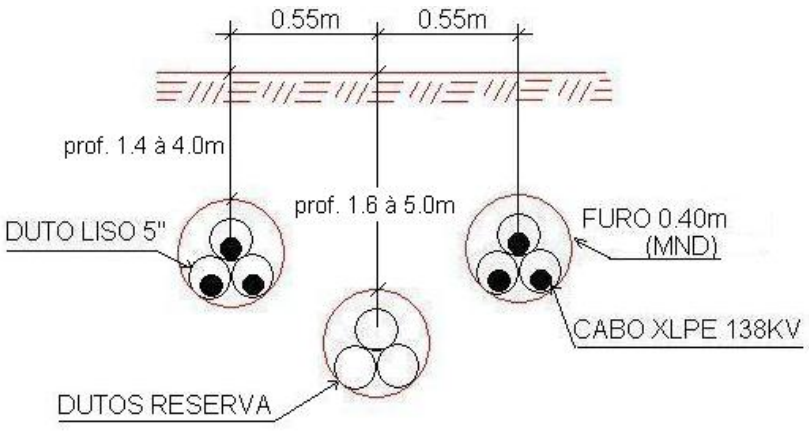

Figura 3.2 – Banco de dutos executado pelo método não destrutivo

- Proteção e operação:

A proteção segue o padrão das demais linhas aéreas de 138KV com esquema redundante com proteção principal de distância com suporte de teleproteção por onda portadora e proteção alternada de distância. Nesse caso particular, como os ramais aéreos derivam-se de linhas que são alimentadas pela subestação Jacarepaguá de propriedade de Furnas, não haverá religamento automático habilitado e sim até dois religamentos manuais, mas, se alimentada por subestação da própria Light haveria 1 (um) religamento automático habilitado.

Figura 4 – Vista geral do poste de transição dos ramais 138KV Recreio

2.2 Transição de Linhas Aéreas em Subterrâneas em Subestação de Transição

Neste caso a transição ocorre em subestação com chave seccionadora, para raios, filtro de onda para bloqueio do sinal de onda portadora e proteção para detecção de curtos-circuitos passantes (transformadores de corrente e relés de sobrecorrente), incluindo equipamento de comunicação para levar a informação de

operação destes relés para o Centro de Operação da Transmissão.

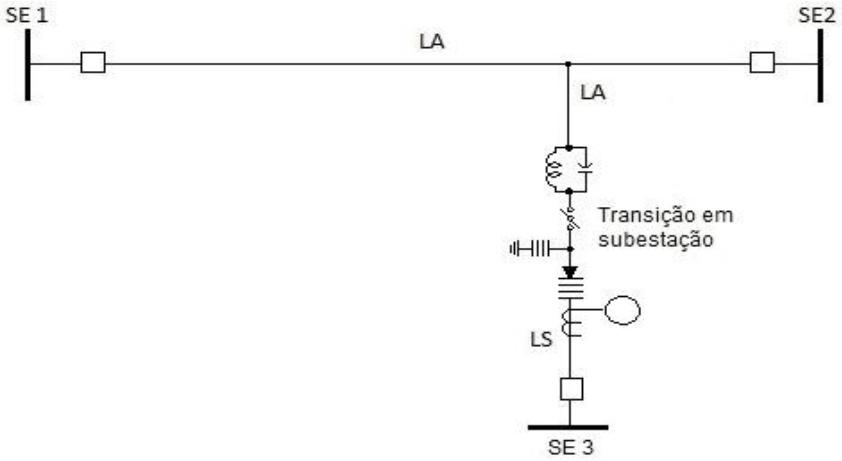

Figura 5 – Diagrama unifilar de transição em subestação

A proteção também segue o padrão das demais linhas de 138KV com esquema redundante com proteção principal de distância com suporte de teleproteção por onda portadora e proteção alternada de distância. Já a detecção de eventual falha no trecho subterrâneo é identificada pela operação do relé de sobrecorrente instalado nessa subestação de transição. A informação de operação desse relé pode ser levada ao Centro de Operação da Transmissão por meio de comunicação direta através de remota/GPRS instalada na transição, ou pela comunicação com a subestação de distribuição através de cabo e interfaces ópticos.

Como exemplo na Light, cita-se a instalação do 2º circuito de transmissão subterrânea entre a subestação de transição Carandá e a subestação distribuidora Piedade, cuja obra encontra-se em andamento.

- Características principais:

Tensão de Operação: 138 kV

Nº de circuitos: 01

Capacidade de Transmissão: 120 MVA

Cabos Condutores: XLPE - 500 mm2 (Cu/Fios Cu com capa de Al laminada)

Extensão do trecho Aéreo: 1700m

Extensão do trecho Subterrâneo: 2400 m

Equipamentos de Proteção Instalados na estrutura de transição: pára-raios, relés de sobrecorrente

- Construção civil e montagem eletromecânica do trecho subterrâneo:

O projeto do circuito subterrâneo leva em consideração as mesmas premissas descritas no subitem 2.1.

- Proteção e operação:

A proteção do trecho aéreo segue o padrão das demais linhas aéreas de 138KV, incluindo a filosofia do religamento, e a detecção de falha no trecho subterrâneo será identificada pela operação do relé de sobrecorrente a ser instalado na subestação de transição Carandá. A informação de operação desse relé de sobrecorrente será transmitida ao Centro de Operação da Transmissão através da comunicação com a

subestação de distribuição Piedade, empregando-se cabo e interface ópticos.

1. **ENTERRAMENTO DE TRECHO INTERMEDIÁRIO EM LINHA AÉREA EXISTENTE**

Neste caso a linha aérea é enterrada em parte de sua rota e a transição aérea - subterrânea pode ser em poste ou em subestação de transição.

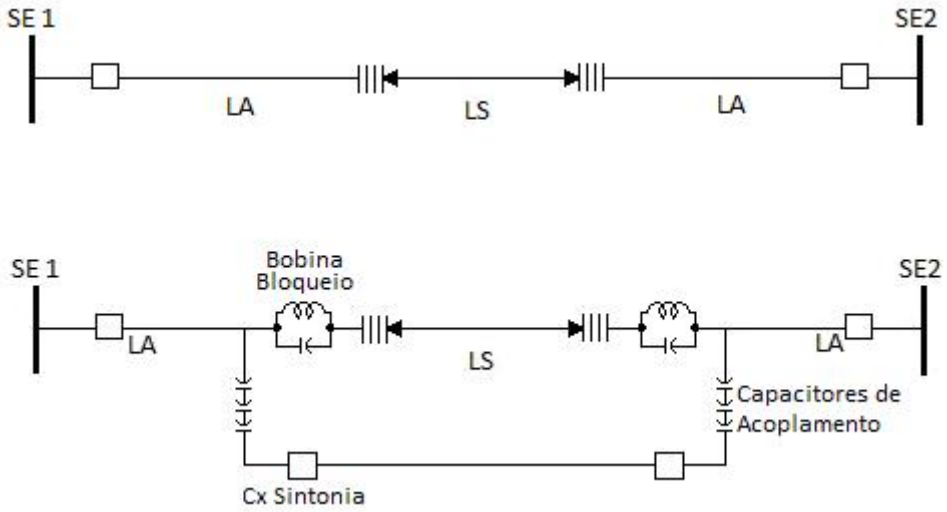

Figura 6 – Diagramas unifilares da transição com teleproteção empregando ou não o sistema Carrier

O projeto da linha subterrânea leva em consideração os valores a serem atingidos pelo campo magnético, norteando as profundidades da instalação dos cabos subterrâneos de alta tensão, seu tipo de aterramento das blindagens e sua disposição. Também se tem como meta a minimização dos transtornos durante a execução da obra civil. O esquema de proteção permanecerá o da linha aérea na qual o trecho subterrâneo foi inserido, inclusive sua filosofia de religamento permitido.

Na Light ressalta-se o projeto do PAC do Alemão, resultante da necessidade de estimular ações sociais integradas com o Governo do Estado do RJ e sua Secretaria de Obras Públicas, dentro do programa de aceleração do crescimento (PAC), para viabilizar a obra de construção de parte da rota do teleférico entre as duas estações no Complexo do Morro do Alemão. Constituiu-se na conversão de parte de quatro linhas de transmissão 138KV Triagem / São José circuitos 1 e 2 e Triagem / Cascadura circuitos 30 e 73 de aéreas para subterrâneas.

Em virtude da topografia desfavorável o projeto básico conduziu a torres muito altas o que poderia acarretar questões sérias de segurança no caso de manutenção ou rompimento do condutor. Nesse caso optou-se por linhas subterrâneas na travessia com a rota do teleférico.

- Características principais:

Tensão de Operação: 138 kV

Nº de circuitos: 04

Capacidade de Transmissão: 270MVA

Cabos Condutores: XLPE - 1200 mm2 (Cu / Fios Cu com capa de Al laminada)

Extensão do trecho Subterrâneo: 90 metros

Extensão do trecho Aéreo: 2x10.000 m e 2x12.000 m

Equipamentos de Proteção Instalados na estrutura de transição: pararaios, bobina de bloqueio e caixa de sintonia

- Construção civil e montagem eletromecânica:

Face às dificuldades de acesso ao local da transição, no alto do morro, os projetos civil e eletromecânico foram totalmente adaptados de modo a contornar esse problema.

A alternativa selecionada abrangeu o emprego de uma única subestação com as transições do tipo convencional, uma vez que só torres ou postes de transição aumentariam a vulnerabilidade das instalações, além da necessidade do uso de by-pass passivo para manter a continuidade do sinal da teleproteção Carrier em duas das linhas aéreas de transmissão.

O “by-pass” passivo deve ser instalado, pois, o descasamento de impedância entre os cabos de energia aéreos e subterrâneos gera atenuações provocadas pela potência do sinal refletido e pela perda na transferência de potência, comprometendo o funcionamento da teleproteção.

Selecionadas a implantação de torres tipo fim de linha visando permitir ao seccionamento das linhas e o arranjo nas transições.

O dimensionamento dos cabos de alta tensão foram otimizados através do emprego do sistema de aterramento tipo “singlepoint bonding” - aterramento da blindagem metálica em apenas uma das extremidades, vide a figura 7. A capacidade das linhas compreende 270MVA em regime normal e 324 em regime de emergência cada uma.

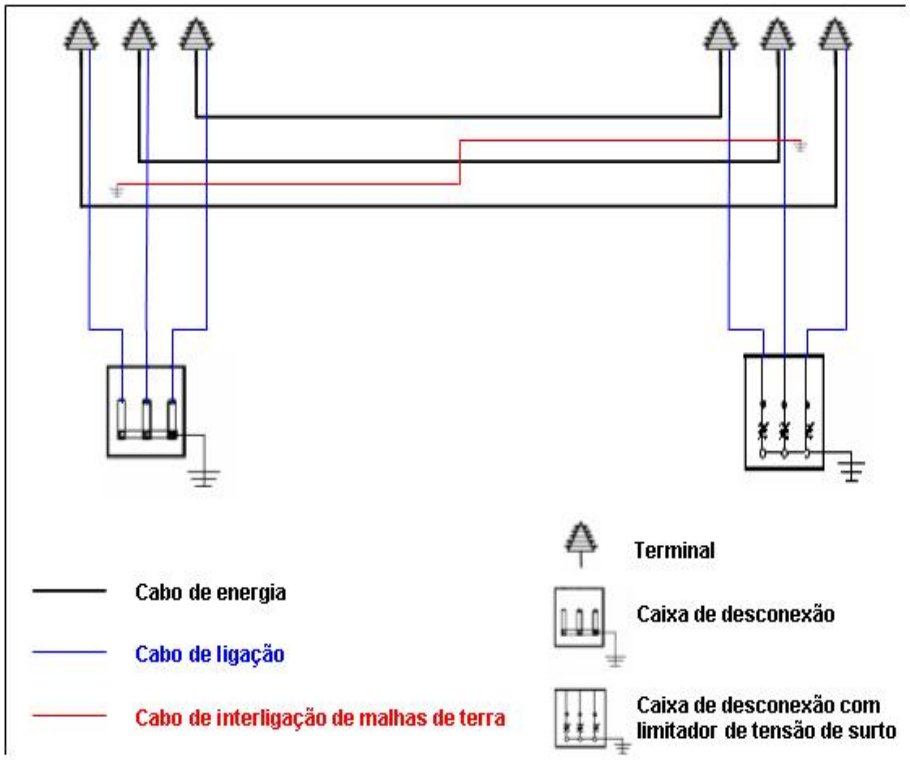

Figura 7 – Esquema do sistema de aterramento tipo single-point bonding

Um dos aspectos importantes para o sistema de cabos isolados de alta tensão é o conhecimento das características do solo natural, principalmente a sua resistividade térmica, que influi diretamente na capacidade de condução de corrente do cabo. Por esse motivo, foi necessária a troca de solo em volta de cada banco de dutos envelopados em concreto, pois o solo natural tinha aparência de “lixão” indicando, portanto, alta resistividade térmica – vide a figura 8.

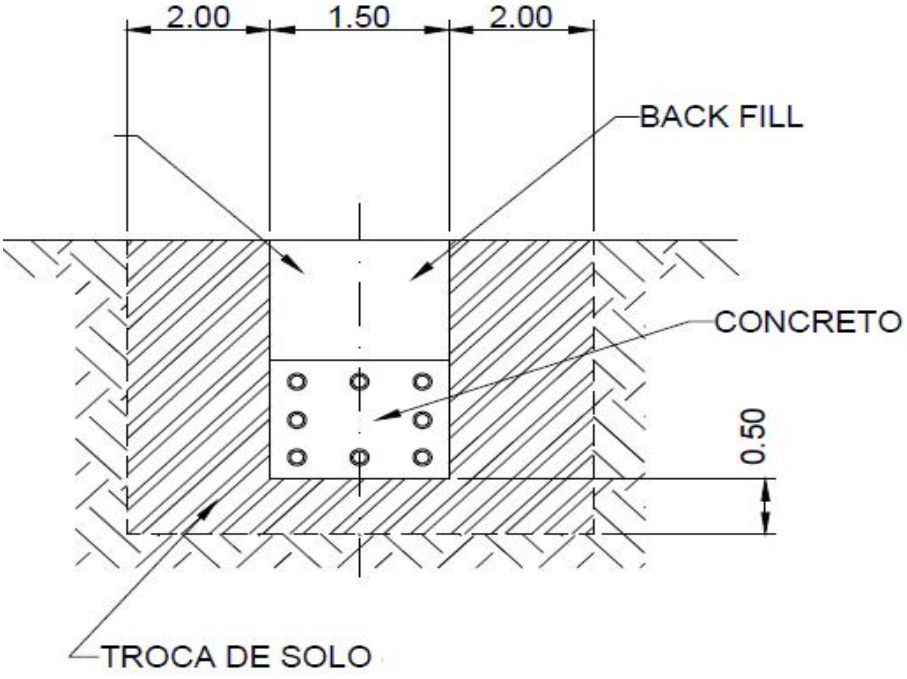

Figura 8 – Corte do banco de dutos com indicação da troca de solo

Já que o transporte das bobinas de cabo ficaria inviabilizado se realizado através de carretas, devido à reduzida altura da fiação ao longo do trajeto, cada lance de cabo foi enrolado em bobinas menores instaladas em reboque adaptado para tracionamento com trator.

Outra inovação foi a utilização do trecho entre as torres 36 e 39 dos cabos condutores da linha aérea para viabilização do teste em corrente alternada para aceitação final da instalação das linhas subterrâneas - já que a carreta utilizada para realização do ensaio não conseguiria chegar ao local da obra. Estudou-se a suportabilidade da linha aérea e de seus isoladores de modo a verificar se o conjunto agüentaria a tensão de ensaio - 132KV AC fase-terra durante 1 hora. Como resultados do estudo adicionaram-se mais dois isoladores nas cadeias de suspensão existentes e executadas limpezas e verificações das conexões no trecho aéreo envolvido. Após a realização dos testes removeram-se os isoladores adicionais, retornando a condição original das linhas aéreas.

- Proteção e operação:

A proteção segue o padrão das demais linhas aéreas de 138KV com esquema redundante com proteção principal de distância com suporte de teleproteção por onda portadora e proteção alternada de distância. Para as linhas aéreas que tem interligação com a subestação São Jose de Furnas não haverá religamento automático habilitado e sim dois religamento manuais, já as que interligam as subestações da Light Triagem e Cascadura possuem 1 (um) religamento automático habilitado. A teleproteção foi mantida pelo by-pass passivo (filtro de onda, capacitor de acoplamento e caixa de sintonia) em ambas as extremidades onde se tem a transição aérea/subterrâneo interligadas com cabo coaxial.

Figura 9 – Vista geral do poste de transição dos ramais 138KV

Figura 10 – Vista do teleférico sobre a faixa enterrada das linhas aéreas

3. Conclusões

A retomada do crescimento no Rio de Janeiro e conseqüente aumento na demanda de energia aliados a viabilização de empreendimentos na cidade, com vistas à realização da Copa do Mundo de Futebol em 2014 e dos Jogos Olímpicos em 2016, impulsionam ações de atendimento às necessidades empregando soluções técnicas e economicamente viáveis. Assim, na impossibilidade de implantação da linha aérea na rota integral do circuito, o enterramento de parte de sua rota viabiliza os investimentos a um custo otimizado, contribuindo para o desenvolvimento e melhorias da cidade.

O impacto ambiental dessas linhas é bastante reduzido, tanto no que diz respeito ao visual quanto aos riscos potenciais da exposição a campos eletromagnéticos (CEM) que permanecem bem abaixo ao nível de exposição tanto do público quanto de trabalhadores,permitido pelo Comissão Internacional de Proteção contra as Radiações Não-Ionizantes (ICNIRP).

4. Referências bibliográficas

- CIGRE Technical Brochure 250 : General Guidelines for the Integration of a new Underground cable System in the Network -Working Group B1-19 -August 2004;

- CIGRE GT B1-05 - Acoplamento de Linhas de transmissão aéreas e subterraneas -Recomendações Técnicas para as Concessionárias Brasileiras;

- XIV ERIAC – Ramal de transição aéreo x subterrâneo alimentação da subestação Recreio em 138KV.