



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

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

GRUPO –VIII

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO-GSE

**ASPECTOS LEGAIS, AMBIENTAIS E TÉCNICOS PARA IMPLANTAÇÃO DE SUBESTAÇÕES URBANAS
SUBTERRÂNEAS – CASO EXEMPLO DE SUBESTAÇÃO 138/13,8KV PARA A REGIÃO CENTRAL DE
BELO HORIZONTE**

**Paulo Roberto Freitas C. Costa(*)
CEMIG Distribuição S.A.**

**Carolina Rodrigues Lemos Lameiras
CEMIG Transmissão S.A.**

**Shigeru Miyazawa
Japan Consulting Institute -JCI**

**Seiichiro Hamada
Japan Consulting Institute - JCI**

RESUMO

Este artigo apresenta o trabalho, realizado entre CEMIG e o Instituto de Consultoria do Japão (JCI), de estudo e avaliação dos aspectos legais, ambientais e técnicos que condicionam e definem a implantação de uma subestação urbana subterrânea, apresentando um caso exemplo para uma subestação de 138/13,8KV com potência final instalada de 200 MVA a ser implantada na região central de Belo Horizonte.

O caso exemplo é uma proposta, compreendendo também o estudo de viabilidade para escolha do local de instalação da subestação, o desenvolvimento e definição do layout dos diversos equipamentos e sistemas, possibilidades de compartilhamento com outros empreendimentos / atividades, considerações de projeto e construção e interferências com a infra-estrutura existente.

PALAVRAS-CHAVE

Subestação subterrânea, Compartilhamento, Compactação, Meio ambiente.

1.0 - INTRODUÇÃO

A região metropolitana de Belo Horizonte é atendida por um anel de subestações nas tensões de 138 a 500KV. O crescimento da carga da região central da cidade vem indicando a necessidade de implantação de uma nova subestação. Porém, as restrições de espaço físico, o alto custo dos terrenos urbanos, os requisitos ambientais e os aspectos legais do uso das diversas áreas são variáveis de extrema relevância para a definição da solução de engenharia, podendo inclusive inviabilizar as tradicionalmente adotadas. A implantação de uma solução subterrânea, utilizando instalações compactas é uma alternativa para esse tipo de empreendimento, apesar do seu custo elevado.

2.0 - ESCOLHA DA ÁREA

O centro de carga a ser atendido foi referência para o início dos trabalhos de localização da subestação. A Figura 1 apresenta a região central de Belo Horizonte, com cinco alternativas levantadas, onde foram avaliados os seguintes aspectos:

- Disponibilidade de espaço físico;
- Impacto da instalação no entorno;
- Acesso viário para a equipe de transporte pesado;
- Direito da propriedade;

- Tipo de zoneamento definido pela legislação municipal;
- Infra-estrutura existente no subsolo;
- Possibilidade de compartilhamento entre subestação e instalação comercial ou de serviços.

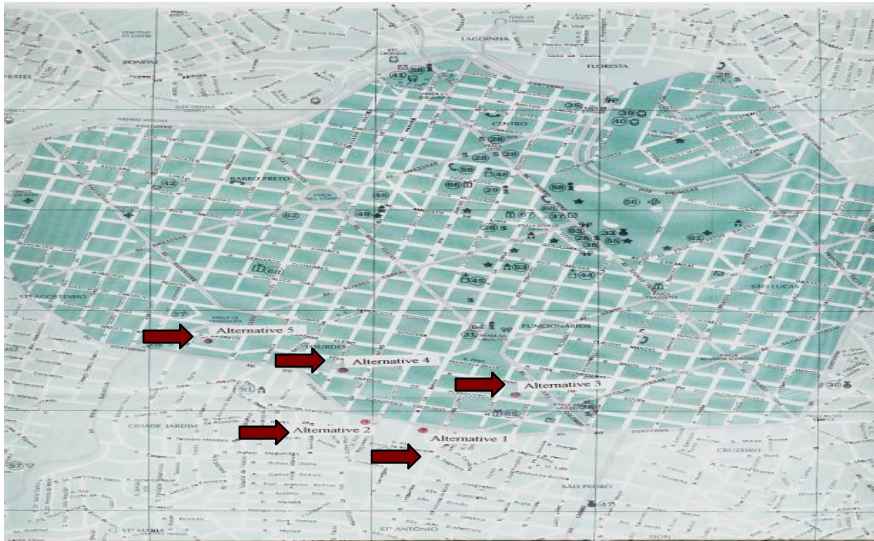


FIGURA 1 – Região Central de Belo Horizonte – Alternativas de Áreas

A Tabela 1 apresenta a caracterização das cinco alternativas quanto à área, tipo de solo e forma de ocupação (1). As alternativas 4 e 5, com as maiores áreas, podem ser usadas para outros fins em benefício de toda a população. As alternativas 1 e 2, comparativamente à alternativa 3, tem um custo final maior de implantação do empreendimento (3), pois, suas áreas de ocupação são maiores (o custo do metro quadrado para as cinco alternativas é o mesmo, já que todas se encontram na mesma região) e necessitam de desocupação.

TABELA 1 – Caracterização das Cinco Alternativas

ALTERNATIVA	ÁREA M2	TIPO DE SOLO	FORMA DE OCUPAÇÃO
1	1800	Alteração de rocha – granito/gnaiss	Oficina mecânica e residência
2	900	Alteração de rocha – granito/gnaiss	Residência
3	700	Solo de deposição, rocha alterada a grande profundidade	Estacionamento
4	3000	Alteração de rocha	Pátio de lazer de escola estadual
5	3000	Camada média de solo de deposição, possível NA, rocha alterada na média profundidade	Sem uso

As Figuras 2 e 3 apresentam a alternativa 3, escolhida como a área para o desenvolvimento dos estudos, usada como estacionamento privado para automóveis leves numa região empresarial de comércio ativo, favorecendo a implantação de um empreendimento compartilhado entre subestação subterrânea e edifício comercial.



FIGURA 2 – Vista da Alternativa 3 (estacionamento)



FIGURA 3 – Vista Interna do Estacionamento

3.0 - PROPOSTA DE ARRANJO

3.1 Diagrama Elétrico

Definido um diagrama elétrico básico de acordo com a filosofia aplicada às subestações da CEMIG implantadas em grandes centros. Prevista a utilização de 4 transformadores de 50 MVA operando, sem restrição de atendimento, mesmo quando da perda de um dos transformadores. A proposta é de concepção modular, de maneira que obras de expansão sejam facilmente exequíveis na medida do crescimento da carga.

Três Linhas de Transmissão subterrâneas de 138KV funcionando em um esquema radial alternativo, possibilitam o atendimento da SE por quaisquer das SE's de extra alta tensão da região metropolitana. Para atender esse requisito de operação, o arranjo de barramento em 138kV foi definido como o do tipo barra simples, com disjuntor sem "by pass", para cada saída de linha. Para os transformadores foram consideradas seções com disjuntores.

Em função dos valores de curto circuito, será difícil a operação em paralelo de todos os transformadores, sendo necessário um arranjo de barramentos de 13,8kV que permita um eficiente esquema de transferência de carga para o caso de perda de qualquer dos transformadores. A Figura 4 apresenta o diagrama elétrico proposto.

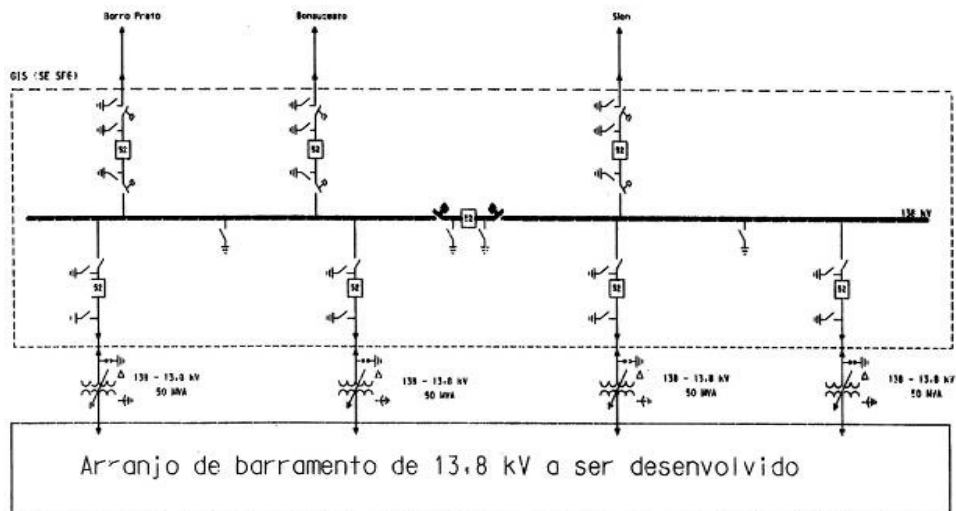


FIGURA 4 – Diagrama Elétrico Básico

3.2 Principais Equipamentos

A área escolhida para implantação da subestação subterrânea possui metragem reduzida justificando a utilização de soluções compactas para os diversos equipamentos principais.

3.3 Arranjo de manobra de 138KV

Utilizada a solução modular com seções encapsuladas com isolamento a gás SF6, por ser a mais recomendada para a proposta em estudo.

3.3.1 Arranjo de manobra de 13,8KV

Utilização de cubículos de manobra com isolamento a SF6 garantindo maior compactação e alta confiabilidade operativa, compreendendo:

- 32 cubículos com disjuntores para as seções de rede de distribuição;
- 1 cubículo para alimentação do transformador de serviços auxiliares;
- 6 cubículos para alimentação dos arranjos de compensação de reativo, utilizando capacitores.

3.3.2 Transformador de Potência

Quanto ao tipo de isolante, apesar das soluções aplicadas em subestações subterrâneas indicarem o uso de SF6 gás / PFC que garantem extrema compactação, foi definido o uso de equipamento com isolamento a óleo devido à sua potência nominal (50 MVA) e tensões de transformação. Esse nível de potência também justifica a utilização de um sistema de refrigeração a ar forçado em detrimento da solução de água forçada. Com isso, verifica-se uma redução considerável de custo na aquisição e instalação dos transformadores de potência.

3.4 Sistemas e Acessórios

As definições dos sistemas de proteção, controle, supervisão, medição, aterramento, serviços auxiliares, segurança interna, cabos e acessórios (4) tiveram como base as especificações da CEMIG, normas nacionais e internacionais e experiências com as instalações subterrâneas existentes (2), onde é importante observar:

- O uso integral dos sistemas digitais;
- A utilização da estrutura civil no estudo e definição do sistema de aterramento;
- O alto nível de eficiência do sistema de impermeabilização aplicado na solução;
- A alta eficiência do sistema de segurança.

3.5 Lay-out

Foi desenvolvido um layout compartimentado ocupando quatro pavimentos no subsolo.

No pavimento térreo (nivelado com a via de circulação externa), Figura 5, estão um estacionamento para veículos leves, um hall de entrada e um poço de manutenção para entrada e saída dos diversos equipamentos. Os pontos de abertura do poço estão presentes em todos os pavimentos do subsolo, sendo utilizado um sistema de içamento portátil, para a entrada e saída de equipamentos pesados, tais como, transformadores, GIS, cubículos, etc.

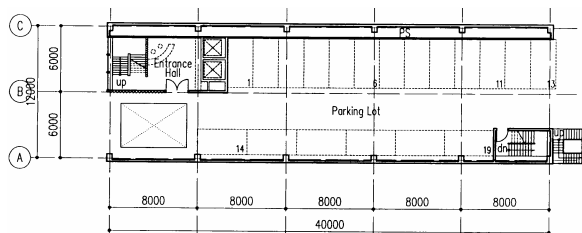


FIGURA 5 – Pavimento Térreo

No primeiro subsolo, apresentado na figura 6, estão a maioria dos sistemas, principalmente aqueles onde é constante a presença das equipes de manutenção e operação. Essa solução garante a segurança no caso do rápido abandono da subestação, pois, o ambiente externo encontrasse no andar acima. Os seguintes sistemas estão definidos:

- Sala de comando e relés;
- Sala do sistema de exaustão;
- Duto de circulação de ar (existente em todos os pavimentos do subsolo, ligando-os ao meio externo);
- Banheiro;
- Sala do transformador de serviços de auxiliares 13,8KV;
- Sala dos sistemas de serviços auxiliares de corrente contínua e alternada;
- Sala dos sistemas de telecomunicações;
- Sala de baterias;
- Dois conjuntos de escadas (existentes em todos os pavimentos do subsolo);

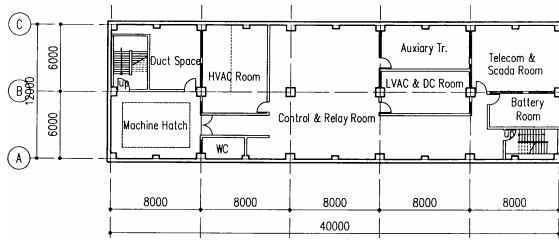


FIGURA 6 – Primeiro Subsolo

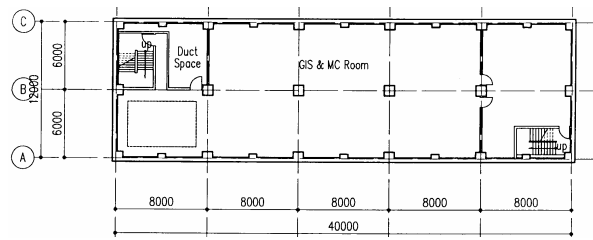


FIGURA 7 – Segundo Subsolo

No segundo subsolo, conforme Figura 7, estão a blindada de SF6 do arranjo de manobra de 138KV, os cubículos do arranjo de 13,8KV e a sala do arranjo de compensação de reativo de 13,8KV.

O terceiro subsolo, apresentado na Figura 8, é a galeria de cabos para interligação dos diversos equipamentos, saídas dos alimentadores de 13,8KV e chegada das linhas de transmissão subterrâneas de 138KV.

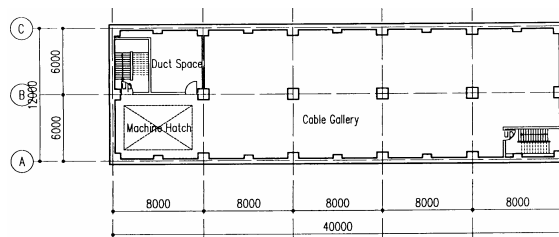


FIGURA 8 – Terceiro Subsolo

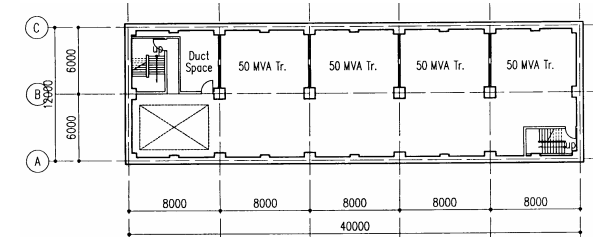


FIGURA 9 – Quarto Subsolo

O quarto subsolo, figura 9, está dimensionado para a instalação dos transformadores, separados por paredes corta fogo. Os transformadores foram locados no último pavimento, visando à economia da estrutura civil que é de elevado custo nesse tipo de empreendimento. Abaixo dos transformadores estão as caixas de contenção de óleo com capacidade de coletar 100% do óleo de uma unidade acrescido do volume de água do sistema de proteção e combate a incêndio dos transformadores. O esgotamento dessas caixas é feito através de sistema exclusivo de bombeamento.

A localização da área, em região empresarial, permitiu um estudo de compartilhamento entre subestação subterrânea e um edifício de escritórios, propiciando a melhor interação com o meio ambiente.

A Figura 10 apresenta o corte da proposta de compartilhamento para um edifício de escritórios com três pavimentos cujo andar tipo é mostrado na Figura 11.

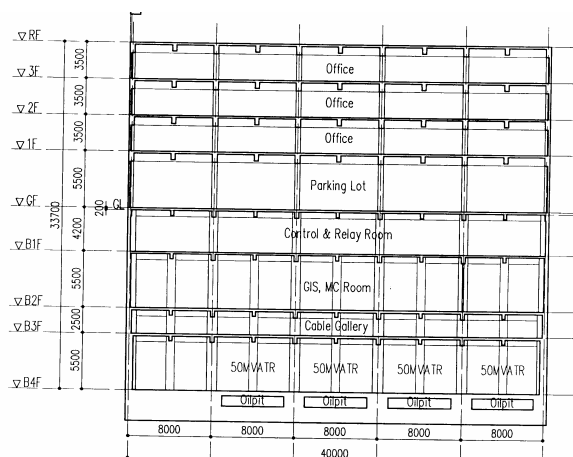


FIGURA 10 – Corte da Solução Compartilhada

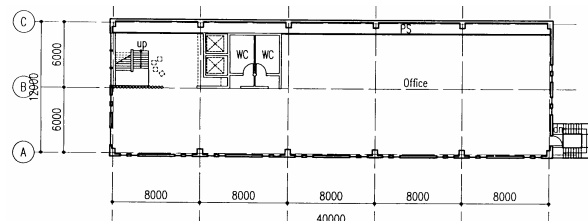


FIGURA 11 – Pavimento Tipo de Escritório

4.0 - ASPECTOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

A solução subterrânea para a construção de subestações é, de todas as alternativas existentes, a que mais requer o domínio da engenharia civil. Os estudos de viabilidade são enormemente influenciados pelas soluções civis aplicáveis para cada terreno escolhido.

A área escolhida está em região densamente povoada e adjacente a outras construções, sendo necessário o emprego de técnicas sofisticadas de escavação e escoramento buscando a segurança de execução e dos imóveis circunvizinhos [4]. As escavações, junto aos terrenos adjacentes, já edificadas, determinam a utilização de soluções do tipo cortinas de estacas, cortinas de tubulões, cortinas atirantadas ou paredes diafragma.

A presença de lençol freático exige a utilização de sistemas de rebaixamento durante a execução das escavações e concretagem do subsolo. O empuxo provocado pela presença da água pode ser usado aliviando o carregamento da construção sobre o terreno, desde que se tomem extremos cuidados com a impermeabilização e que se providencie a permissão de movimentação elástica da estrutura. Caso contrário, o rebaixamento deve ser previsto como parte integrante e permanente do sistema, adotando-se processos eficientes e seguros de bombeamento das águas subterrâneas para fora do terreno envolvido e a perfeita estanqueidade da estrutura.

Na fase de execução do projeto, todos os cuidados com interferências devem ser tomados. Redes de água, esgoto, telecomunicações, gás, energia elétrica e galeria de drenagem pluvial (existentes na área escolhida) devem ser rigorosamente mapeadas e estudadas. Dessa forma, desvios ou proteções poderão ser adotados antes ou durante a execução da obra, juntamente com as empresas e órgãos responsáveis, de modo a evitar quaisquer interrupções no fornecimento ou atendimento à população, interrupções na obra, ou ainda, transtornos de trânsito ou outro inconveniente.

5.0 - CONSIDERAÇÕES AMBIENTAIS

A proposta de implantação de uma subestação subterrânea em centro urbanos tem como grande objetivo a redução do impacto ambiental. A solução deve interagir harmoniosamente com o entorno, abrangendo aspectos de extrema importância:

5.1 Prevenção Contra Incêndio

Como existe a possibilidade de incêndio, a estrutura civil é a prova de fogo, cada sala tem seu sistema de combate de incêndio, existem sensores de fumaça que sinalizam as ocorrências, possibilitando ao sistema de controle atuar no fechamento e interrupção dos sistemas de ventilação dos equipamentos e dutos de circulação de ar.

5.2 Segurança Interna

A instalação tem um procedimento padrão de rotinas de manutenção, mapeamento e prevenção de riscos e brigada de emergência.

O sistema de supervisão e alarme remoto, associado a sensores e chaves de segurança em todas as portas impede o acesso de pessoas não autorizadas.

Além do sistema de ventilação, todo o subsolo é dotado de sensores de detecção de deficiência de oxigênio em função da presença de equipamentos com gás isolante SF6.

5.3 Ruído

Não é necessário que os transformadores tenham um projeto de redução do nível de ruído, dada a sua potência, tamanho e posição no arranjo. Os dutos de circulação de ar possuem sistemas de aletas que visam manter o nível de emissão de ruído para o ambiente externo dentro do limite exigido pela legislação municipal (5).

5.4 Relação Subestação X População

A solução proposta considera a não interferência da subestação com o edifício comercial construído, ou seja, não existe interação entre trabalhadores do edifício e o pessoal de operação e manutenção da subestação. Porém, o trabalho de conscientização da comunidade, quanto à existência e segurança da instalação, é fundamental para a aceitação e aprovação do empreendimento.

5.5 Aspectos Legais

Na avaliação dos aspectos legais do uso do subsolo, os estudos dos diversos sistemas de infra-estrutura urbana (água, energia, telefonia, gás, etc) e consultas aos órgãos municipais indicam as dificuldades de se trabalhar uma solução de subestação subterrânea, onde é difícil mapear os sistemas existentes no subsolo e é normal a legislação municipal sobre o assunto não contemplar esse tipo de situação (5), como também, não há um posicionamento claro com relação as propostas de compartilhamento da subestação com outros empreendimentos. Logo, é necessária uma ampla discussão com os órgãos municipais competentes, visando avaliar e definir critérios para implantação desse tipo de empreendimento.

6.0 - CONCLUSÃO

Atualmente, a implantação de instalações de energia elétrica em centros urbanos está fortemente associada ao atendimento das exigências ambientais e principalmente à conscientização da população quanto aos seus direitos e desejos de uma melhor qualidade de vida na vizinhança dos seus lares, áreas de lazer e locais de trabalho. A proposta de uma subestação subterrânea visa atender as necessidades da população e do centro de carga a ser atendido, com baixo impacto ambiental e alta segurança operacional, apesar do seu alto custo de implantação.

O compartilhamento entre subestação subterrânea e edifício comercial permite o melhor uso da área escolhida e uma maior interação com o ambiente, além da possibilidade de parceria entre empresas do setor de energia elétrica e construção civil na comercialização de áreas de escritório e na execução da infra-estrutura da subestação.

A inexperiência brasileira no uso das soluções aplicando subestações subterrâneas exige uma discussão ampla sobre o uso e ocupação do solo para esse tipo de proposta. Essa será a tendência quando do maior crescimento dos centros urbanos onde, no futuro, as instalações periféricas não terão capacidade de atendimento com confiabilidade e qualidade exigidas.

A decisão de se trabalhar uma proposta de implantação de uma subestação subterrânea na região central de Belo Horizonte também é estratégica, permitindo a atualização de conceitos e acompanhamento das tecnologias aplicadas na concepção de subestações compactas.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ARAÚJO, A. N. A., CAMPOS, M. M., COSTA, P. R. F. C., GONÇALVES, O. S., LAMEIRAS, C. R. L., PUNTEL, L. S., SANTIAGO, A. O. B. "*Estudo de Viabilidade para Implantação de uma Subestação Abrigada Subterrânea – Informações Básicas Preliminares*", CEMIG-MG, Brasil.
- (2) HAMADA, S., MIYAZAWA, S., GUIOTOKO, E. M., COSTA, P. R. F. C., LAMEIRAS, C. R. L. "*Basic Information of Technology Transfer Lectures for Feasibility Study of an Underground Application to Lourdes Substation in Belo Horizonte*", convênio CEMIG-MG / Japan Consulting institute, Brasil.
- (3) HAMADA, S., MIYAZAWA, S., GUIOTOKO, E. M., COSTA, P. R. F. C., LAMEIRAS, C. R. L. "*Feasibility Study Report on Lourdes Underground Substation Construction Project in Belo Horizonte – The Federative Republic of Brazil*", convênio CEMIG-MG / Japan Consulting institute, Brasil.
- (4) HAMADA, S., MIYAZAWA, S., COSTA, P. R. F. C., LAMEIRAS, C. R. L. "*Draft of ITB Documents for Lourdes Underground Substation Construction Project at Belo Horizonte in Federative Republic of Brazil*", convênio CEMIG-MG / Japan Consulting institute, Brasil.
- (5) Prefeitura de Belo Horizonte, "*Legislação Urbanística do Município de Belo Horizonte (Plano Diretor, Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo Urbano)*", Agosto 1996.