



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

FI/GSE/14
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – VIII

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

NOVOS PADRÕES DE SUBESTAÇÕES COMPACTAS DA CEMIG D PARA EXPANSÃO DO SISTEMA ELÉTRICO NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Sandro de Castro Assis(*)
CEMIG DISTRIBUIÇÃO

Paulo Roberto Freitas Carvalho Costa
CEMIG DISTRIBUIÇÃO

Eduardo Nunes e Carvalho
CEMIG DISTRIBUIÇÃO

Alécio de Melo Oliveira
CEMIG DISTRIBUIÇÃO

Eduardo Miguel Raposo
CEMIG DISTRIBUIÇÃO

Gildecio Souza de Aguiar
CEMIG DISTRIBUIÇÃO

Leonardo Ramos Oliveira
CEMIG DISTRIBUIÇÃO

RESUMO

A aplicação de subestações compactas isoladas a gás SF6 é uma proposta viável no cenário regulatório atual. Neste artigo são apresentados os novos padrões de subestações compactas isoladas a gás SF6 da CEMIG DISTRIBUIÇÃO em substituição às soluções convencionais isoladas a ar, bem como um breve histórico da experiência obtida pela CEMIG na implantação de subestações compactas nos últimos 45 anos. Estes padrões buscam atender as regras regulatórias, com alta confiabilidade operacional, redução no prazo de implantação, nos custos adicionais e aumento da vida útil, utilizando a estratégia de implantação de várias subestações no mesmo padrão.

PALAVRAS-CHAVE

Subestações Compactas, Área urbana, Padronização, Diagramas Unifilares Básicos, Arranjos de Subestações

1.0 - INTRODUÇÃO

O objetivo das concessionárias distribuidoras e transmissoras de energia elétrica é de atender seus clientes com qualidade adequada, maximizando a eficiência na transmissão, reduzindo as perdas técnicas de forma a se obter um retorno sobre os ativos disponíveis para prestação do serviço público sob sua responsabilidade. Na busca de se obter um aumento da qualidade do fornecimento de energia o sistema elétrico vem obtendo uma transformação estrutural, mudando de uma característica de atendimento de cargas radiais para anéis que reforçam todo o sistema propiciando flexibilidade operativa para alimentação das cargas.

A expansão do sistema deve ainda respeitar as regras regulatórias, se caracterizando como um investimento prudente com baixo risco de glosa. Desta forma na expansão do sistema elétrico, devem ser observados critérios i)técnicos; ii)ambientais; iii)econômicos e iv)regulatórios.

Ao longo dos anos a CEMIG DISTRIBUIÇÃO enfrentou estas dificuldades e buscou aprender com elas, em especial na implantação de subestações em áreas urbanas. A crescente valorização imobiliária ocasionou em elevação do custo de aquisição de terrenos para construção de subestações, passando a ter peso significativo na decisão de qual solução aplicar nas novas implantações dos empreendimentos de alta tensão nas diversas áreas metropolitanas do estado de Minas Gerais.

A utilização de alternativas de compactação baseadas na adoção de equipamentos com tecnologia em gás SF6 em alternativa a subestações isoladas a ar (AIS – *air insulation substation*) torna-se vantajosa em diversos aspectos, principalmente em função da reduzida área para implantação. Outros fatores importantes são o reduzido tempo de indisponibilidade e a baixa demanda de manutenção. Neste artigo é apresentado um breve histórico da experiência

(*) Avenida Barbacena, n° 1200 – 8º Andar - Ala B2 – CEP 30.190-131 Belo Horizonte, MG – Brasil
Tel: (+55 31) 3506-2967 – Fax: (+55 31) 3506-2948 – Email: sandro.assis@cemig.com.br

da CEMIG DISTRIBUIÇÃO na implantação de subestações compactas isoladas a gás SF6 nos últimos 45 anos na região metropolitana de Belo Horizonte e de três projetos de novas subestações de 145 kV, com potências de 240 MVA, 120 MVA e 80 MVA, que se encontram em construção. O trabalho aborda ainda a estratégia de implantação de subestações em áreas urbanas e rurais de Minas Gerais, considerando o plano de expansão CEMIG DISTRIBUIÇÃO do sistema elétrico em andamento, em especial através de subestações isoladas a gás SF6, a adoção de equipamentos híbridos de manobra e a substituição da casa de controle tradicional por Módulos Integrados de Manobra e Controle (salas elétricas) de média tensão construídos e testados em fábrica, contendo desde equipamentos de manobra de média tensão até sistemas de supervisão, controle e proteção, monitoramento e telecomunicações.

É apresentada e discutida a padronização desenvolvida, buscando a simplificação de arranjos, com aumento da confiabilidade e qualidade de atendimento, através de soluções no conceito *plug-and-play* e áreas de implantação extremamente reduzidas para dois transformadores de 40 MVA de potência cada.

2.0 - SUBESTAÇÕES COMPACTAS URBANAS NA CEMIG DISTRIBUIÇÃO

A experiência da CEMIG DISTRIBUIÇÃO com subestações compactas urbanas começou há 45 anos. Neste item é apresentado o histórico das primeiras SEs compactas instaladas no sistema da CEMIG DISTRIBUIÇÃO, características dos empreendimentos em andamento. No item 3.0 é apresentada a definição de padrão para as novas instalações.

2.1 Subestações Isoladas a Gás SF6 Implantadas

A primeira subestação compacta da CEMIG DISTRIBUIÇÃO é denominada SE BH Centro 1, foi inaugurada em 1971 e encontra-se em operação. Esta SE está situada no centro de Belo Horizonte, MG. Ela foi seguida pela SE BH Barro Preto e BH São Marcos, inauguradas respectivamente em 1985 e 2001. Estas três subestações são isoladas a gás SF6 e possui a média tensão em cubículos isolados a ar. Todas elas ainda encontram-se em operação. A Tabela 1 apresenta uma síntese das características destas SEs.

Tabela 1 – Características das subestações GIS em operação na CEMIG DISTRIBUIÇÃO

	SE BH Centro 1	SE BH Barro Preto	SE BH São Marcos
Ano de inauguração	1971	1985	2001
Potência instalada	150 MVA	75MVA	50 MVA (futuro de 100MVA)
Número de transformadores de potência	6 x 25 MVA	3 x 25 MVA	2 x 25 MVA (4 x 25MVA)
Número de linhas de 138 kV	3	2 (3ª em construção)	2 (futuro com 4)

A SE BH Centro 1 será desativada assim que a SE BH Centro 2, atualmente em construção, entre em operação. No caso da SE BH Barro Preto, hoje encontra-se em andamento a ampliação da GIS com a instalação de um novo "bay" de 138kV a ser interligado à subestação BH Centro 2.

Na Figura 1 vemos o local escolhido para implantação da SE BH São Marcos, enquanto que na Figura 2 temos uma vista da SE construída. Conforme pode ser observado, o local possuía área restrita, de acesso limitado e densamente povoado.



Figura 1 – Vistas do local de instalação da SE BH São Marcos



Figura 2 – Vistas do local de instalação da SE BH São Marcos

É constatado que estas SEs apresentam reduzidos custos operacionais e de manutenção, e possuem alta confiabilidade, tanto na tecnologia isolada a gás SF6 quanto nos cubículos de MT.

2.2 Subestações Isoladas a Gás SF6 em Implantação

Atualmente a CEMIG DISTRIBUIÇÃO está implantando três novas subestações isoladas a gás SF6 na região metropolitana de Belo Horizonte. As características destes projetos estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características das GIS em implantação na CEMIG DISTRIBUIÇÃO

	SE BH Centro 2	SE BH Calafate	SE Nova Lima 7
Previsão de inauguração	2015	2015	2016
Potência instalada (etapa final)	240 MVA	120 MVA	80 MVA
Número de transformadores de potência (etapa final)	4 x 60 MVA	3 x 40MVA	2 x 40MVA
Número de linhas de 138 kV (etapa final)	3	4	2
Area disponível para construção	1200m ²	2700m ²	1710m ²

A SE BH Centro 2 irá substituir a SE BH Centro 1. Os principais desafios para a implantação desta SE eram as chegadas e saídas das linhas e redes de distribuição concentradas em um único logradouro em frente à subestação, ocasionando grande dificuldade na logística de execução da obra. Também os impactos ambientais, tanto para a execução da obra, como para garantir a operação da subestação, foram desafios avaliados no projeto para garantir níveis de ruídos audíveis e de campos eletromagnéticos nos limites estabelecidos pela legislação. Aspectos de segurança também foram considerados e estão sendo implantados.

Na Figura 3 é possível observar a SE BH Centro 1 o local onde a SE BH Centro 2 está sendo construída. Na Figura 4 temos uma foto do lote de implantação antes do início das obras.



Figura 3 – Vista da SE BH Centro 1 e local de construção da BH Centro 2



Figura 4 – Lote de construção da SE BH Centro 2

A subestação BH Calafate possui arranjo de manobra 138 kV do tipo isolado a gás SF6 (GIS) em barra simples, com duas seções de barra interligadas por disjuntor, com quatro módulos de entrada de linha com disjuntores e três módulos de conexão de unidades de transformação com disjuntores.

A subestação BH Centro 2 possui arranjo de manobra 138 kV do tipo isolado a gás SF6 (GIS) em barra simples, com três seções de barra interligadas por dois disjuntores, com quatro módulos de entrada de linha com disjuntores e quatro módulos de conexão de unidades de transformação com disjuntores.

2.3 Subestações Abrigadas Isoladas a Ar

Para atender o crescimento do vetor norte de Belo Horizonte e o centro administrativo do estado de Minas Gerais, foi implantado em 2009 a SE BH Serra Verde. Esta SE é abrigada e possui a média tensão em cubículos isolados a ar, porém, diferentemente das demais subestações abrigadas, foi construída com equipamentos de alta tensão convencionais.

3.0 - NOVOS PADRÕES DE SUBESTAÇÕES DA CEMIG DISTRIBUIÇÃO

A experiência adquirida ao longo dos anos, o modelo regulatório e a expansão do sistema elétrico da CEMIG DISTRIBUIÇÃO motivaram o estudo de propostas e a definição de novos padrões de subestações compactas para serem instaladas em áreas urbanas ou rurais do estado de Minas Gerais.

No desenvolvimento destes padrões foram estabelecidas as seguintes premissas:

- Aplicação de padrões de forma coordenada para a obtenção do melhor resultado empresarial, com redução simultânea de CAPEX de Investimento e OPEX de Operação e Manutenção;
- Obtenção de ganhos via estratégia de contratação, definindo regras contratuais alinhadas aos requisitos regulatórios;
- Subestações compactas, mais simples e confiáveis, com equipamentos de alta tecnologia que podem ser pré-comissionados em fábrica e instalados em áreas otimizadas, no conceito *plug-and-play* e alto nível de padronização;
- Redução do custo/quantidade de serviços (CA) e prazos para construção das subestações;
- Eliminação de ampliações / adequações com os novos padrões;
- Utilização de equipamentos pré-comissionados em fábrica.

As soluções obtidas são:

- Subestações compactas com isolamento a gás SF6 – GIS
- Subestações com módulos de manobra híbridos compactos
- Substituição da casa de controle tradicional por Módulo Integrado de Manobra e Controle de Média Tensão (MIMC-MT)

Quando estas soluções são comparadas com subestações convencionais com isolamento a ar são esperados os resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparações entre as soluções compactas GIS e híbridas. Resultados esperados em relação a subestações convencionais isoladas a ar.

Ganhos	COMPACTA GIS	MODULAR HIBRIDA
CAPEX	Similar	Redução (30%)
OPEX	Redução (90%)	Redução (80%)
Serviços de execução (CA)	Redução (60%)	Redução (65%)
Taxa de Falha	Muito Baixa	Baixa
Área para implantação	Redução (70%)	Redução (50%)
Prazo de Execução	Redução (20%)	Redução (25%)
Confiabilidade	Muito Alta	Alta

3.1 Subestações Compactas com Isolamento a Gás SF6 – GIS

As subestações compactas a gás SF6, possuem as seguintes definições para aplicação:

- Atendimento a cargas de grandes centros urbanos do estado.
- Configuração 138-13,8kV – com 2 transformadores de 40MVA
- Isolamento com tecnologia a gás SF6 na alta tensão
- Alimentação por linhas de distribuição aéreas ou subterrâneas
- Cubículos de média tensão isolados a gás SF6 ou a ar
- Saída de alimentadores em redes subterrâneas
- Construção edificada

Na Figura 5 é apresentado o diagrama elétrico padrão da subestação compacta a gás SF6.

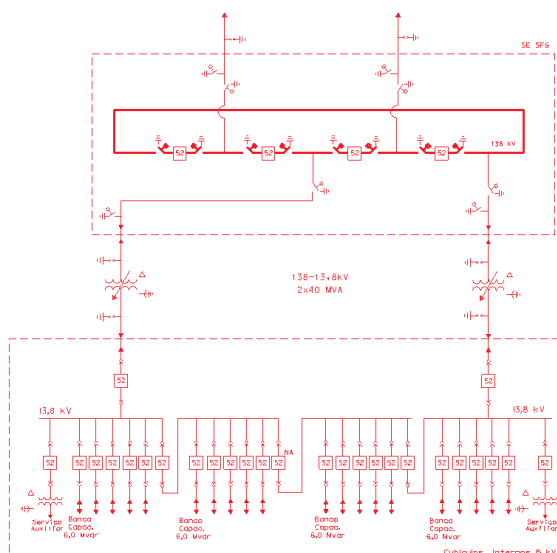


Figura 5 – Diagrama unifilar básico de subestação isolada a gás SF6.

A Figura 6 apresenta a proposta de arranjo de subestação compacta GIS.

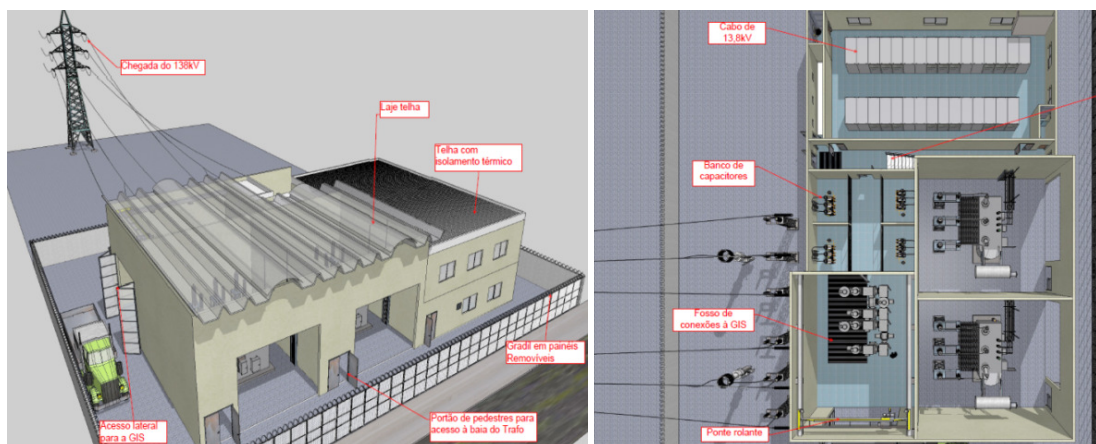


Figura 6 – Proposta de arranjo padrão da subestação isolada a gás SF6.

3.2 Subestações com Módulos de Manobra Híbridos Compactos

As subestações com módulos de manobra híbridos possuem as seguintes definições para aplicação:

- Atendimento a cargas de cidades de pequeno e médio porte do estado
- 138-13,8kV – com 1 ou 2 transformadores de 25MVA
- Módulo de Manobra Híbrido Compacto (MMHC) com Isolamento a gás SF₆
- Saída de alimentadores em redes subterrâneas
- Módulo Integrado de Manobra e Controle de Média Tensão (MIMC-MT) - sala elétrica de média tensão

Na Figura 7 são apresentados os diagramas elétricos padrões das subestações compactas híbridas e respectivas propostas de arranjos.

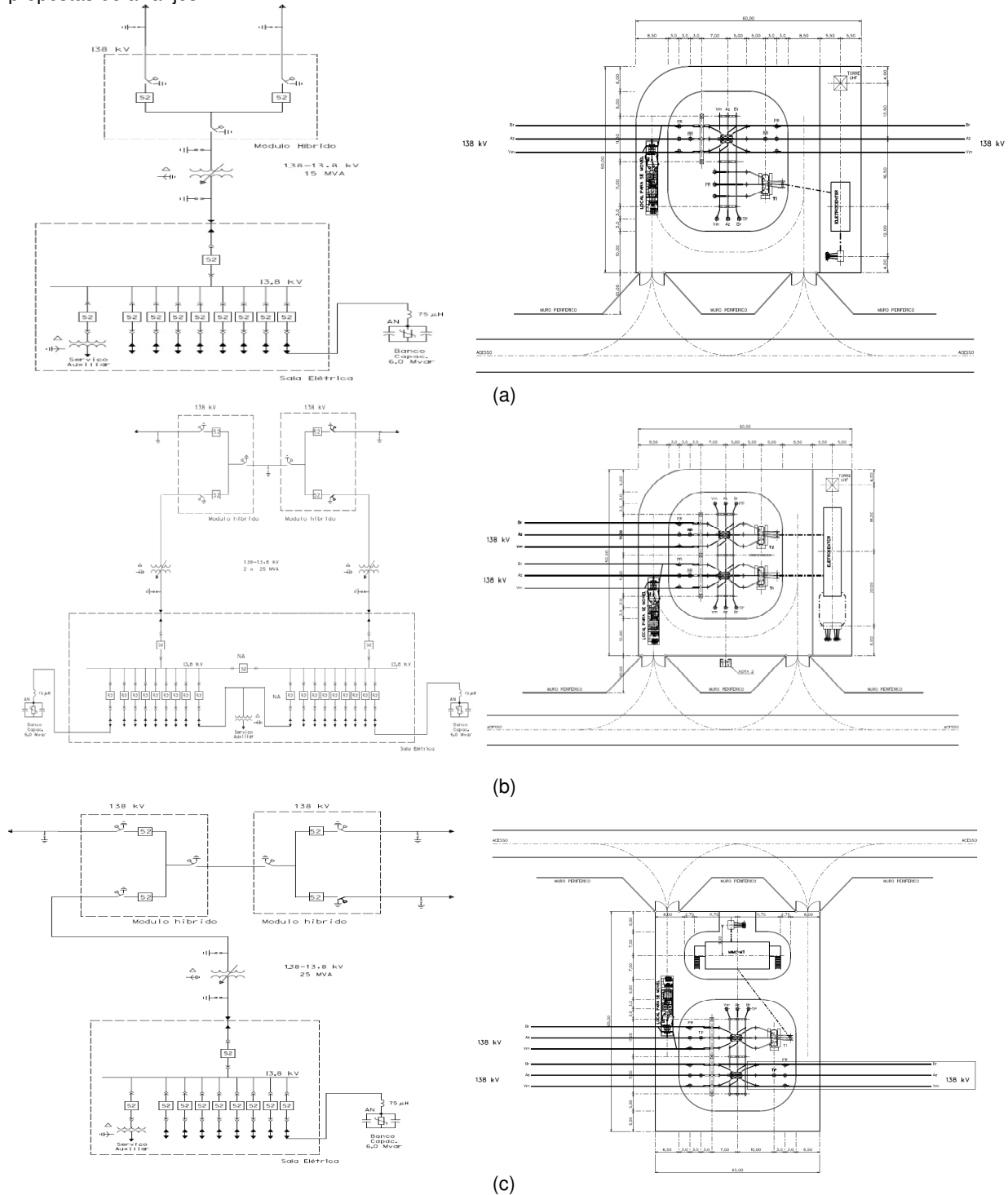


Figura 7 – Diagramas unifilar básico de subestações compactas híbridas e propostas de arranjos.
(a) 1 trafo com 2 LDs (b) 2 trafos com 2 LDs e (c) 1 trafo com 3 LDs

O MIMC-MT é um conjunto abrigado de equipamentos, materiais elétricos, eletromecânicos, ferragens, partes e peças necessárias ao perfeito funcionamento do conjunto, podendo ser composta por um ou mais módulos de forma a possibilitar o transporte em qualquer uma de suas modalidades (rodoviário, ferroviários, marítimo, etc) desde a fábrica até o local de aplicação. O fornecimento dos equipamentos, componentes e acessórios é completo, contendo tudo o que for necessário ao perfeito funcionamento do MIMC-MT, com fabricação, montagem completa em fábrica, pintura, ensaios, comissionamento dos equipamentos, obtenção da documentação para permitir transporte e entrega no local indicado pela CEMIG DISTRIBUIÇÃO. Na Figura 8 é apresentado uma vista do MIMC-MT para o arranjo com 1 trafo de 25 MVA.

O MIMC-MT deve possuir os componentes principais listados a seguir:

- Cubículos de média tensão com disjuntores;
- Sistema de Supervisão e Controle e Proteção – SSCP;
- Sistema de serviços auxiliares CC e CA (inclui, entre outros, retificadores, banco de baterias, transformador de serviço auxiliar, cabos de potência, etc);
- Sistema de telecomunicações;
- Sistema de medição de energia de alimentadores;
- Sistema de medição de energia de vãos de linha;
- Medição de consumo próprio;
- Invólucro(s) metálico(s) do(s) módulo(s) com respectivas estruturas de suporte e acesso;
- Sistema de eletrodutos e canaletas;
- Sistema de aterramento;
- Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas - SPDA;
- Sistema de sinalização, iluminação, força, telefonia e rede corporativa;
- Sistema de ar condicionado;
- Sistema de detecção e combate a incêndio

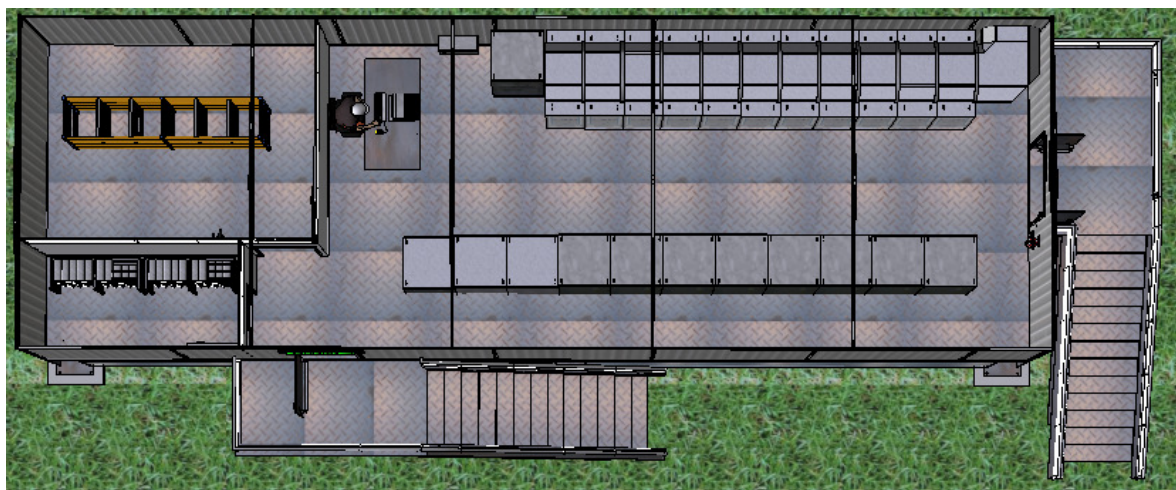


Figura 8 – MIMC-MT - Protótipo CEMIG DISTRIBUIÇÃO – 1 trafo – Dimensões aproximadas: 5 m x 15,5 m (Cubículos SF6)

4.0 - CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado o histórico de implantações de subestações compactas pela CEMIG DISTRIBUIÇÃO nos últimos 45 anos. Também foram abordados os motivadores, premissas, diagramas elétricos e propostas de arranjos dos novos padrões de subestações compactas a serem aplicadas em áreas urbanas e rurais no estado de Minas Gerais.

Os novos padrões de subestações da CEMIG DISTRIBUIÇÃO busca obter soluções de expansão de acordo com as regras regulatórias, com alta confiabilidade operacional, tendo como meta redução no prazo de implantação, de custos de mão de obra em projeto, gerenciamento, montagem e fiscalização (custos adicionais) e aumento da vida útil, utilizando a estratégia de implantação de várias subestações no mesmo padrão.

A aplicação de padrões de forma coordenada para a obtenção do melhor resultado empresarial, com redução simultânea de CAPEX de Investimento e OPEX de Operação e Manutenção, objetivando ganhos desde sua implantação, através da estratégia de contratação e regras alinhadas aos requisitos regulatórios, propiciando ganhos de escala.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AP 23/2014 – Base de Remuneração Regulatória - Banco de preço referenciais
- (2) 02.111-TD/AT-8005 - Novos Padrões de Subestações - SE Compacta GIS–138-13,8 kV e 138-23 KV - SE Modular Híbrida – 138-13,8 KV (Documento CEMIG DISTRIBUIÇÃO)
- (3) ED-1.7 - Padrões de subestações da Cemig D (Documento CEMIG DISTRIBUIÇÃO)
- (4) Oliveira, A. M., Costa, P.R.F.C., Padronização de Subestações da Cemig Distribuição – SNPTEE - 2011
- (5) CIGRE 381 - GIS STATE OF THE ART - 2008
- (6) IEEE Std C37.122 - Guide for Gas-Insulated Substations
- (7) FUECHSLE. D., PAUL, W. - Hybrid Solutions an Attractive Option for Modernisation And Retrofit of AIS Substations - 2008
- (8) OLIVEIRA, M. A., Eletrocentros Versus Salas Elétricas em Alvenaria, O Setor Elétrico, julho 2013

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Sandro de Castro Assis. Possui graduação em Engenharia Elétrica (2004) e mestrado em Engenharia Elétrica (2006) pela Universidade Federal de Minas Gerais (2006). Atualmente é doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFMG (PPGEE/UFMG) e engenheiro sênior de projetos de sistemas elétricos de linhas de transmissão e subestações da CEMIG Distribuição. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Transmissão de Energia Elétrica, Estudos Elétricos em SEP, inclusive em área industrial. É membro dos comitês de estudo CE-C4 - Desempenho de Sistemas Elétricos, CE-B3 – Subestações, CE-B2 – Linhas de Transmissão do Cigré Brasil.



Paulo Roberto F. C. Costa nascido em Belo Horizonte, estado de Minas Gerais, Brasil, em 21 de dezembro de 1966. Curso de graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais Pós-graduação em Sistemas Elétricos de Potência pela Universidade Federal de Minas Gerias. Ocupa o cargo de Engenheiro Sênior da CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A., Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, desde 1991, com experiência em Estudos elétricos e projetos de Linhas de transmissão e Subestações de Distribuição e Transmissão, especializado em estudos de concepção de subestações compactas.



Alécio de Melo Oliveira nasceu em Belo Horizonte, Brasil, em 13 de Dezembro de 1966. Graduiu-se em Engenharia Elétrica na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, onde cursou o Mestrado em Engenharia Elétrica, tendo concluído o mesmo no ano de 2000. Ingressou na Companhia Energética de Minas Gerais - Cemig em 1986, na área de informática. Trabalhou no planejamento de distribuição (alta tensão), entre 1992 e 2007 e desde então trabalha na área responsável pelo desenvolvimento e padronização de novas tecnologias e metodologias de trabalho para a Cemig Distribuição.

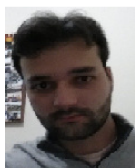


Eduardo Miguel Raposo nascido em Dolores do Indaiá, estado de Minas Gerais, Brasil em 08 de maio de 1963. Curso de graduação em Engenharia Mecânica, MBA em Gestão de Negócios pela UFMG e IBMEC, Pós-graduação em Sistemas Elétricos e Eletrônicos Industriais pelo CEFET-MG. Com experiência na manutenção de Usinas, Subestações e Linhas de Transmissão e Distribuição, ocupa o cargo de Gerente da CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A. desde 1998, nas áreas de Gestão da Operação e Manutenção da Malha de Distribuição Norte e de Expansão de Linhas e Subestações da CEMIG Distribuição.



Eduardo Nunes e Carvalho nascido em Pitangui, estado de Minas Gerais, Brasil, em 06 de agosto de 1962. Curso de graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

Atualmente ocupa o cargo de Engenheiro Sênior e coordena o agrupamento de equipamentos e materiais de linhas e subestações da CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A., Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Empregado desta concessionária de energia desde 1991, estando envolvido com as atividades de elaboração de especificação para compra, aprovação de documentação técnica e aplicação de equipamentos de Subestações de Distribuição e Transmissão.



Leonardo Ramos Oliveira nascido em Araxá, Minas Gerais, Brasil, em 10 de maio de 1987. Possui graduação em Engenharia Elétrica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG (2010), em Belo Horizonte. Atualmente está concluindo o curso de Pós-graduação em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas, FGV. Trabalha desde fevereiro de 2009 na CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A., contratado através de empresas terceirizadas, passou pelas áreas de Equipamentos de Subestações e Gestão e Contratação de Projetos de Subestações e, atualmente, trabalha no setor de Viabilidade de Projetos de Subestações e Linhas de Distribuição. Trabalhou na elaboração de editais de licitação (Turn Key/EPPG) para contratação de construção, ampliação e reforma de subestações compactas da CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A., região metropolitana de Belo Horizonte.



Gildeci Souza de Aguiar nascido em Belo Horizonte, estado de Minas Gerais, Brasil, em 21 de junho de 1975. Curso de graduação em Engenharia de Produção Civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET), Pós-graduação em Gestão de Negócios Imobiliários e da Construção Civil pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

Ocupa o cargo de Engenheiro de Projetos e Obras Cíveis da CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A., Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, desde 2009, com experiência em Estudos e Projetos Cíveis de Subestações de Distribuição e Transmissão.