



## Grupo de Estudo de Subestações e Equipamentos de Alta Tensão-GSE

### Experiência da Cemig na Utilização de Salas Elétricas para Subestações

**MAURISSONE FERREIRA GUIMARAES(1); PAULO ROBERTO F. C. COSTA(1); MARCONIS DOS SANTOS NOVAIS(1); EDUARDO NUNES E CARVALHO(1); LEONARDO RAMOS OLIVEIRA(1); SANDRO DE CASTRO ASSIS(1); WAGNER ANTONIO MOREIRA URSINE(1); LUIS CARLOS GOMES(2); Cemig D(1);CEMIG GT(2);**

#### RESUMO

Este trabalho apresenta a experiência da CEMIG na utilização de salas elétricas nos novos padrões de subestações em substituição às soluções baseadas em equipamentos convencionais isolados a ar e salas de controle em alvenaria. As salas elétricas são construídas e pré-comissionadas em fábrica e podem ser utilizadas como salas de controle, incluindo, no caso específico do sistema de distribuição, o conjunto de manobra de média tensão. As soluções foram desenvolvidas para atender às necessidades de expansão de forma aderente às regras de prudência de investimento. Os resultados positivos dos primeiros projetos subsidiaram a decisão de plena utilização do padrão.

#### PALAVRAS-CHAVE

Salas Elétricas, *Eletrocenter*, Subestações Compactas, Padronização, Soluções Integradas

#### 1.0 - INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novas soluções para subestações alinhadas ao atual ambiente regulatório e às necessidades de negócio é essencial para expansão sustentável do segmento de transmissão e distribuição de energia elétrica. De forma geral, existe um anseio da sociedade por modicidade tarifária, maior eficiência e qualidade e mais agilidade na prestação dos serviços, o que, internamente às empresas, gera uma grande pressão regulatória para redução de custos e de prazos de empreendimentos, como novas subestações ou obras de reforma de instalações existentes. Por outro lado, requisitos cada vez mais estritos de qualidade tendem a ser incorporados às instalações para aumentar os níveis de segurança e confiabilidade operacionais. Com a perspectiva de grandes investimentos no Sistema de Distribuição de Alta Tensão (SDAT) pela CEMIG, impôs-se a necessidade de redesenho de padrões de equipamentos e de instalações, haja visto que são esperados apenas ganhos marginais com implementação de simples melhorias de processos.

Dentro do contexto exposto, as equipes de engenharia da CEMIG vislucbraram a oportunidade de aplicação do conceito de salas elétricas como uma das peças-chave para construção de novas subestações compactas e mesmo para *retrofit* de subestações existentes. As salas elétricas, ou *eletrocenters*, viriam de linha de produção industrial pré-fabricadas e pré-comissionadas, sendo transportadas como peças inteiras ou subdividas até a subestação de aplicação. Esse conceito, que já era utilizado em outros setores como mineração, gás e petróleo (1), tem o grande mérito de evitar os custos e a logística da montagem convencional, intensiva em uso de mão-de-obra. No período de 2002 a 2010, o País viveu franca expansão econômica, com custos crescentes de mão-de-obra e outros custos adicionais, na contramão do que era esperado pelo órgão regulador. O padrão em subestação isolada a ar (AIS - *Air Insulated Substation*), então vigente, fora concebido para montagem por equipes altamente especializadas, e a escassez de quadros técnicos apropriados traduzia-se em altos custos,



baixa produtividade e retrabalho em campo. A construção de várias subestações no padrão AIS enfrentava sérios desafios de custos e complexidade logística, o que, na prática, inviabiliza seu uso na escala necessária.

De acordo com a concepção inicial, as salas elétricas foram aplicadas no padrão denominado “Subestação Híbrida Modular”, com arranjo compacto de manobra de alta tensão em SF<sub>6</sub> (GIS – *Gas Insulated Switchgear* ao tempo ou módulos híbridos), transformador convencional e conjunto de manobra de média tensão (MT) abrigado na sala elétrica. A Subestação Híbrida Modular é utilizada na configuração 138-13,8 kV, 138-23,3 kV ou 138-34,5 kV. Em relação ao padrão convencional, o conjunto ocupa uma área relativamente menor. Para esse padrão, a sala elétrica recebeu a denominação Módulo Integrado de Manobra e Controle de Média Tensão (MIMC-MT), o qual abriga o(s) conjunto(s) de manobra (com disjuntor em SF<sub>6</sub> ou a vácuo), o Sistema de Automação e Controle da Subestação (SAS), sistemas de serviços auxiliares e de telecomunicações.

No padrão de subestações para conexão de acessantes, geradores ou consumidores do SDAT, no qual não há transformação, as salas elétricas substituem as salas de controle em alvenaria tradicionais. Módulo Unitário de Controle e Proteção (MUCP) foi a denominação para a sala elétrica que tem o SAS como sistema principal. Aplicação no sistema da CEMIG GT tem essa mesma caracterização de salas para controle e automação.

A experiência da Cemig na implementação das primeiras salas elétricas perpassou todas as etapas de desenvolvimento, especificação, fornecimento e operação inicial de salas elétricas, demonstrando o potencial de ganhos na utilização dessa tecnologia no Sistema Elétrico.

## 2.0 - PADRÕES DE SUBESTAÇÕES DO CICLO DE INVESTIMENTO 2018-2022

As novas subestações da Cemig D no ciclo de investimento 2018-2022 são, em sua maioria, baseadas em padrões compactos, com intensa utilização de equipamentos de alta confiabilidade em SF<sub>6</sub>. Conforme o porte da subestação, as configurações padronizadas são as seguintes (2):

- a. SEs de grande porte: Subestação GIS abrigada em alvenaria (138-13,8 kV, 2 x 40 MVA);
- b. SEs de médio porte: Subestação Híbrida Modular, com salas elétricas tipo MIMC-MT, 138-13,8/23,3/34,5kV, 1 x 25 MVA e 2 x 25 MVA;
- c. SEs de pequeno porte: Subestação Compacta Integrada (SECI), 138-13,8/23,3 kV, 1 x 15 MVA e 138-34,5 kV 1 x 25 MVA; 34,5-13,8 kV 1 x 10 MVA;
- d. SEs de conexão a acessantes, preferencialmente com utilização de salas de controle tipo MUCP, com três ou quatro saídas de 138 kV.

Pela Cemig GT há previsão de instalação de salas de controle baseadas em salas elétricas. Há, também, previsões de utilização pela Cemig D de salas de controle do tipo MUCP para *retrofit* de subestações.

Os novos padrões da CEMIG seguem uma estratégia baseada em premissas de negócio, como se segue:

- a. Otimização de CAPEX inicial, com redução dos Custos Adicionais (CA) regulatórios.
- b. Melhoria da relação entre preço de serviços e enquadramento regulatório.
- c. Utilização de equipamentos de alta confiabilidade, com redução de OPEX futuro das novas instalações.
- d. Compactação das subestações com redução de custos com infraestrutura (cercas, muros, pátios etc).
- e. Redução dos prazos globais de implantação dos empreendimentos, com melhor performance econômica do empreendimento e impacto nos Juros sobre Obras em Andamento (JOA).
- f. Utilização de equipamento produzidos em fábrica, pré-testados e pré-comissionados.
- g. Eliminação de expansão futura das subestações.
- h. Aumento dos níveis de segurança operacional e de pessoal das instalações.
- i. Maior nível de automação via aplicação padronizada de protocolo IEC 61.850.
- j. Obtenção de benefícios com estratégia de implantação em escala.
- k. Redução do impacto ambiental das instalações.

A CEMIG tem experiência na utilização de subestações compactas em tecnologia GIS/SF<sub>6</sub> desde o início dos anos 70, com ganhos comprovados em termos de baixa manutenção e alta disponibilidade. Devido a restrições de espaço e de terreno em ambientes urbanos, soluções em GIS são mundialmente aplicadas nessas circunstâncias (3). A possibilidade de utilização de soluções compactas em SF<sub>6</sub> fora de espaços urbanos

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

altamente adensados é mais recente e apresenta-se como um trunfo à disposição de engenheiros de sistema elétrico de potência. O amadurecimento da indústria disponibiliza dispositivos de manobra de alta tensão híbridos e de média tensão compactos em SF<sub>6</sub> ou vácuo com custos competitivos em relação às tecnologias convencionais com isolamento a ar (AIS).

Equipamentos compactos GIS permitem desenhar arranjos de manobra simplificados, porém de alta confiabilidade. Além disso, a utilização de equipamentos compactos associados a soluções integradas em salas elétricas permitem que partes das subestações sejam montadas e pré-comissionadas numa linha fabril. A agregação de valor resultante leva a uma melhor performance regulatória na relação entre custos equipamentos e custos de serviços.

Na Figura 1 estão apresentados o diagrama unifilar básico e o arranjo e planta básica para a Subestação Híbrida Modular, com indicação da posição da sala elétrica e dos equipamentos nela abrigados. O arranjo de 138 kV utiliza barra simples manobrada por módulos híbridos ou módulos GIS ao tempo. O arranjo de MT (13,8 kV, 23kV ou 34,5kV) é constituído de uma barra simples com coluna de cubículos em SF<sub>6</sub> ou vácuo; para a versão com dois transformadores de 25MVA é utilizada a barra simples seccionada interligada via disjuntor. Todo o conjunto de manobra de MT fica abrigado na sala elétrica do tipo MIMC-MT.

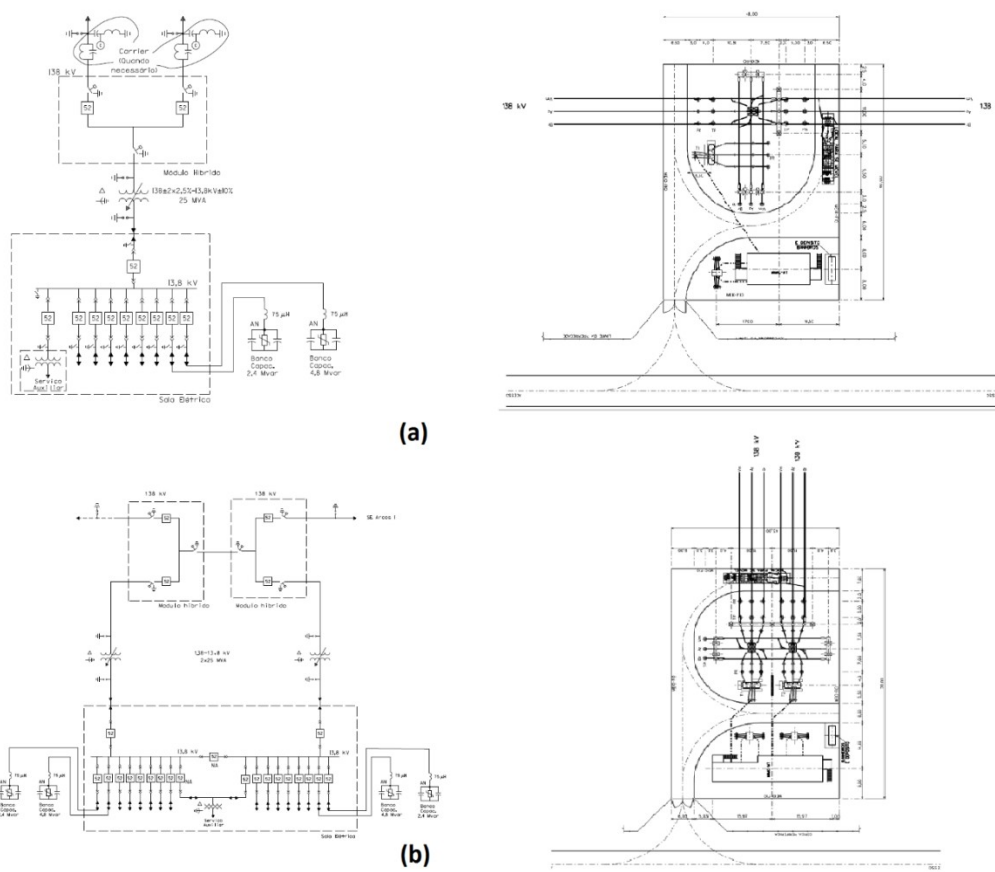


FIGURA 1 – Diagrama Unifilar Básico e Arranjo e Planta para Subestação Híbrida Modular com salas tipo MIMC-MT para (a) 1 x 25 MV e (b) 2 x 25 MVA (Fonte: CEMIG)

Pela premissa adotada no trabalho, os padrões de Subestação Híbrida Modular não são expansíveis, isto é, a subestação é construída na configuração definitiva. Essa decisão foi suportada pela análise de que os custos envolvidos nas expansões, em geral, não se enquadram na regra de prudência de investimento.

### 3.0 - SALAS ELÉTRICAS PARA SUBESTAÇÕES: ARQUITETURA E ESPECIFICAÇÕES

#### 3.1 Arquitetura Básica de Soluções Integradas Baseadas em Salas Elétricas

Salas elétricas, tal como especificadas pela CEMIG para utilização em subestações, compõem-se de conjunto abrigado de equipamentos, componentes eletromecânicos, ferragens e outras partes necessárias ao funcionamento operacional do conjunto. A arquitetura das salas elétricas pode variar conforme a aplicação desejada, mas, em geral, estão presentes os seguintes sistemas e componentes:

- a) invólucro metálico modular com respectivas estruturas de suporte e acesso;
- b) sistema de eletrodutos, eletrocalhas e canaletas;
- c) sistema de aterramento e SPDA;
- d) sistema de sinalização, iluminação, força, telefonia e rede corporativa;
- e) infraestrutura básica para sistema de telecomunicações;
- f) sistema de exaustão, ventilação e ar condicionado;
- g) sistema de detecção e combate a incêndio e proteção passiva contra incêndio;
- h) sistema de vigilância patrimonial;
- i) cubículos de média tensão com disjuntores (conjunto de manobra em invólucro metálico de MT);
- j) Sistema de Automação de Subestação (SAS);
- k) sistema de alimentação de energia (serviços auxiliares CC e CA), o qual inclui retificadores, banco de baterias, painéis de serviços auxiliares CA e CC, sistema de medição de consumo próprio etc.;
- l) transformador de serviço auxiliar;
- m) medição de consumo próprio.

Cada um dos sistemas listados acima possui, de forma geral, sua própria especificação e sua aplicação no ambiente de salas elétricas ocorre de forma bastante satisfatória. Por outro lado, a especificação do invólucro metálico e dos sistemas que dão suporte ao funcionamento do conjunto demandou uma grande atenção da equipe para desenvolvimentos e ajustes para que a solução final pudesse obter os resultados esperados. O projeto de salas elétricas para subestações da CEMIG considera funcionalidades próprias de uma aplicação de sistema elétrico, requisitos de segurança e práticas das equipes de manutenção.

Diferentemente do MIMC-MT, O MUCP não possui conjuntos de manobra, constituindo-se essencialmente de uma sala para SAS.

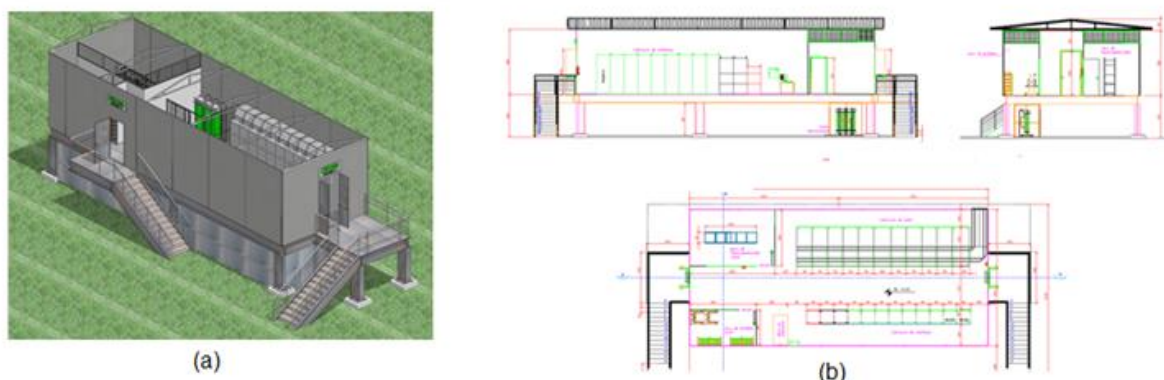


FIGURA 2 – a: concepção inicial do projeto do MIMC-MT; (b) detalhamento do projeto (Fonte: CEMIG)

A Figura 2 - (a) ilustra um dos resultados iniciais desse processo de desenvolvimento para salas elétricas do tipo MIMC-MT para uma SE de 138 kV de tensão primária e 25 MVA de capacidade transformação. É possível observar a estrutura elevada em pilaretes de forma a facilitar passagem de cabos de MT e detalhes internos de compartimentos (sala principal, sala de baterias e de telecomunicações). A Figura 2 - (b) apresenta maior detalhamento do projeto do MIMC-MT subdividido em dois módulos de transporte; o duto de arco elétrico, que é elemento chave para segurança operacional do MIMC-MT, fica posicionado sobre a coluna com cubículos de manobra de MT. A Figura 3 apresenta o MIMC-MT real.



FIGURA 3 – a: vista externa do MIMC – MT da SE Confinis; b: vista interna do MIMC-MT painéis do SAS à esquerda e conjunto de manobra à direita (Fonte: CEMIG)

### 3.2 Especificações Básicas de Salas Elétrica para Subestações

As salas elétricas para subestações são projetadas para vida útil de 30 anos, funcionando em regime 24x7; devem apresentar baixo nível de manutenção e alta segurança operacional. Para atingir esse nível de performance, vários itens de especificação devem ser observados, dentre outros (4, 5):

- a) compartimentos, portas de acessos e escadas;
- b) chaparia e metal-mecânica;
- c) distâncias de segurança;
- d) vedação e grau de proteção IP (55);
- e) sistema de ar condicionado e pressurização;
- f) sistema de detecção e combate a incêndio;
- g) equipamentos de segurança (extintores, sinalização, corrimão etc);
- h) duto de arco elétrico;
- i) iluminação;
- j) serviços auxiliares;
- k) bandejas, suportes e canaletas;
- l) rotas para cabos de MT, controle, cabos e cordões ópticos etc;
- m) interfaces com equipamentos de pátio.

Em complemento, uma série de parâmetros de projeto é fornecida, entre outros, destacando-se aqui:

- a) cargas de fundações (conforme projeto civil);
- b) limites de temperatura interna;
- c) taxa de renovação de ar;
- d) processos de pintura;
- e) transporte.

Sobre os sistemas de ar condicionado e de detecção e combate a incêndio cabem algumas explicações, como se segue.

A temperatura interna das salas elétricas (fixada na faixa de 20°C e 25°C) é um parâmetro de grande importância, pois afeta a integridade, vida útil e performance operacional dos equipamentos de proteção, controle e automação, como também, equipamentos de telecomunicações. O sistema de ar condicionado, que utiliza máquinas industriais tipo *self contained* ou *wall mounted* por insuflação direta, possui redundância (critério n+1) e funciona com ciclo de revezamento entre as máquinas principais e reserva.



10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

O sistema de detecção e combate a incêndio realiza a monitoração, a proteção, a detecção e o combate a incêndio por inundação total da sala por fluido gasoso. Para salas elétricas houve os primeiros fornecimentos baseados no agente limpo FK-5-1-12, segundo a norma NPFA -2001 (6). O fluido FK-5-1-12 (NOVEC 1230) age sobre o fogo e a chama por ação física de resfriamento. Este agente trabalha na faixa de concentração em volume em torno de 5% e não apresenta efeito biológico, além de não impactar os equipamentos elétricos e eletrônicos da sala. Este fator, que é uma grande vantagem em relação a sistemas convencionais em CO<sub>2</sub>, tem grande impacto sobre a segurança das equipes que trabalham nas salas elétricas da CEMIG, em particular nos MIMCs.

### 3.3 Processo de fabricação

Como soluções integradas, as salas elétricas devem ser produzidas prioritariamente em fábrica, com o conjunto todo previamente montado e testado. A flexibilidade e maior produtividade de processo fabril trazem uma série de benefícios em função de uma série de fatores, tais como:

- a) maior disponibilidade de mão-de-obra especializada e outros recursos como máquinas e ferramentas;
- b) fatores climáticos como chuva não impactam o andamento da montagem;
- c) montagem simultânea de várias salas;
- d) realização de testes operacionais e do Teste de Aceitação em Fábrica (TAF).

O paralelismo do processo de fabricação com obras de campo traz ganhos adicionais, permitindo redução do prazo global de construção da subestação. Deve-se fazer uma análise de *lead time* e riscos de atraso ao se considerar a condução de vários projetos em simultâneo.

### 3.4 Transporte e montagem em campo

Para garantir que não haja maiores dificuldades durante a etapa de movimentação, transporte, descarregamento e montagem final na subestação, requisitos de transportes e montagem integram a especificação do invólucro metálico e do empreendimento. As salas elétricas são divididas em módulos de transporte com largura e altura máximas, de forma a evitar batentes oficiais para o transporte rodoviário. Um estudo de rota prévio deve ser realizado para avaliar existência de obstáculos e rotas preferências de deslocamento. A Figura 4 ilustra o descarregamento de um MIMC-MT, que deve ser feito por guindaste.



FIGURA 4 – Descarregamento do módulo do MIMC-MT SE São Sebastião do Oeste (Fonte: CEMIG)

Na etapa seguinte, devem ser realizados o lançamento dos cabos de MT e a interligação dos cabos de controle e comunicação com equipamentos de pátio.

Outros fatores que merecem atenção são o nivelamento do MIMC-MT e a necessidade de supervisão do fabricante do equipamento. É possível a utilização de pilaretes em concreto, porém o padrão definido pela CEMIG utiliza pilaretes metálicos, os quais devem ser fornecidos para pré-montagem. As salas tipo MUCP já ficam posicionadas em bases de alvenaria ao nível do solo. A utilização dos pilaretes dispensa a construção de galeria para lançamento de cabos de MT, o que reduz o custo com obra civil.

### 3.5 TAF, TAC e comissionamento

A execução de testes operacionais dos vários sistemas listados no item 3.1 é realizada preliminarmente durante os testes de aceitação em fábrica (TAF). O Teste de Aceitação em Campo (TAC) e o comissionamento ficam bastante simplificados e são realizados em prazo significativamente menor do que as práticas adotadas em subestações convencionais.

## 4.0 - PROJETO PILOTO: GANHOS OBSERVADOS E OPORTUNIDADE DE MELHORIAS

### 4.1 Resultados alcançados

Os primeiros fornecimentos de salas elétricas para subestações da Cemig D incluem unidades de MIMC-MT para SE São Sebastião do Oeste e SE Confins e MUCP para obra de *retrofit* da SE Pampulha; para a Cemig GT houve fornecimento de salas com SAS para as SEs Barbacena 2, Ipatinga 1 e Neves 1. A Tabela 1 apresenta dados comparativos do padrão de Subestação Híbrida Modular baseado nos resultados obtidos nos projetos iniciais. A comparação é apresentada em relação às subestações convencionais de mesma potência de transformação.

Tabela 1 – Dados comparativos básicos dos padrões com salas elétricas

Padrão	Transformação (MVA)	Área de Instalação (m <sup>2</sup> )	Custo Aproximado (R\$ x 1.000)	Prazo de implantação (meses)	CA/Equip (%)
SE Convencional Tipo 1	1 x 25	10.000	13.900,00	24	43%
SE Convencional Tipo 2	2 x 25	15.000	18.000,00	27	29 %
SE Híbrida Modular Tipo 1	1 x 25	6.500	14.000,00	22	21%
SE Híbrida Modular Tipo 2	2 x 25	6.700	22.800,00	24	14%

NOTA: Ref.: Fev/2019. Dados obtidos em estudos de viabilidade técnica (7).

Embora os custos globais das subestações convencionais e de salas elétricas sejam próximos, há um ganho considerável quando se observa a relação de custo de equipamentos e custo de serviços. Parte significativa dos ganhos associados à melhoria ao percentual de Custos Adicionais (redução de 43 para 21%) deve-se à utilização de salas elétricas.

Há, também, um ganho apreciável nos prazos médios previstos para implantação dos empreendimentos, na ordem de 2 a 3 meses dependendo da configuração da subestação.

### 4.2 Melhorias

Os resultados alcançados as implementações foram positivos, possibilitando o planejamento da expansão com utilização mais intensiva dessa tecnologia, com incorporação de ajustes e correções naturais que se seguem à implementação de um novo conceito. Entre novas melhorias de especificação incluídas estão:

- reaproveitamento de água do sistema de ar condicionado e de água de chuva como medida de sustentabilidade ambiental;
- inclusão de selos de vedação na passagem de cabos de controle e de potência;
- simplificação do fechamento do porão de cabos;
- melhoria no sistema de serviços auxiliares;
- melhoria no projeto de controle de ar condicionado.

Para o ciclo 2018-2022, a Cemig D planeja implantar 23 subestações do tipo híbrida modular com utilização de MIMCs.

Entre oportunidade melhorias para o futuro pode ser citado a necessidade de uma normalização aplicável a salas elétricas para subestação e o desenvolvimento de fornecedores via processo de homologação. Melhoria no sistema de serviços auxiliares e a questão do vandalismo em subestações são temas que demandaram mais atenção em projetos futuros.

#### 5.0 - CONCLUSÃO

Este artigo apresentou a experiência inicial da CEMIG na implementação de salas elétricas para subestações. O desenvolvimento cobriu várias etapas como especificação, projeto, aquisição, testes, montagem final, comissionamento e operação inicial. O desenvolvimento foi motivado pela necessidade de adequação ao modelo regulatório (redução de CAPEX, OPEX e Custos Adicionais), maior segurança operacional e maior produtividade.

Os primeiros fornecimentos de salas elétricas incluem MIMCs e MUCPs para subestações da CEMIG D e salas de controle e automação para CEMIG GT. Os resultados alcançados nos projetos iniciais foram positivos com ganhos comprovados em prazos e na relação de custos adicionais das instalações. Alguns ajustes e correções, naturais em um processo de desenvolvimento contínuo, ocorreram após os primeiros fornecimentos. No ciclo 2018-2022 há previsão de fornecimento de 23 novos equipamentos do tipo MIMC e MUCP para a CEMIG D.

Entre as oportunidades de melhoria para futuro próximo estão a necessidade de uma normatização brasileira aplicável a salas elétricas para subestações, melhoria dos sistema de serviços auxiliares e desenvolvimento de mercado fornecedor via processo de homologação.

#### 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) M. A. Oliveira – Eletrocentros versus Salas Elétricas em Alvenaria – O Setor Elétrico, julho 2013.
- (2) CEMIG – ED-1.7 - Padrões de subestações da Cemig D.
- (3) S. Castro Assis, P. R. F. Carvalho Costa, E. Nunes Carvalho, A. M. Oliveira, E. M. Raposo, G. S. Aguilar, L. R. Oliveira – Novos Padrões de Subestações Compactas da Cemig D para Expansão do Sistema Elétrico no Estado de Minas Gerais. XXIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu – PR, 2015.
- (4) NFPA-2001, Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems.
- (5) CEMIG – Especificação Técnica 02.111-ED/AT-16 - Módulo Integrado de Manobra e Controle de Média Tensão (MIMC-MT)
- (6) CEMIG – Especificação Técnica 02.111-PA/EA-37 - Módulo Unitário de Controle e Proteção (MUCP)
- (7) CEMIG – Comparativo de Custos de Subestações de 1ª Etapa (Documento Cemig).

#### 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Maurisone Ferreira Guimarães.** Natural de Guanhães - MG, graduado em Engenharia Elétrica pela UFMG (2001). Mestre em Engenharia Elétrica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFMG (2003). Possui MBA em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas (2014). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência. Desde 2002, trabalha como engenheiro na CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A onde atua em atividades na área de engenharia, projetos, estudos técnicos e econômicos para linhas de transmissão e subestações de alta e extra-alta tensão. Desde 2009, tem-se dedicado a projetos de pesquisa, inovação e desenvolvimento de produtos tecnológicos voltados para o setor elétrico.





**Sandro de Castro Assis** possui graduação, mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela UFMG, Belo Horizonte, Brasil, em 2004, 2006 e 2017, respectivamente. Atualmente é engenheiro sênior de projetos de sistemas elétricos de linhas de transmissão e subestações da CEMIG Distribuição e professor do IEC PucMinas no curso de Transmissão e 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 e CE-B2 – Linhas de Transmissão do Cigré Brasil.



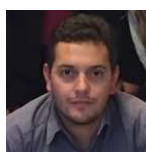
**Paulo Roberto F. C. Costa** nascido em Belo Horizonte, estado de Minas Gerais, Brasil, em 21 de dezembro de 1966. Curso de graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais Pós-graduação em Sistemas Elétricos de Potência pela Universidade Federal de Minas Gerias. Ocupa o cargo de Engenheiro Sênior da CEMIG 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.



**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 D. 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 e pós-graduação em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas, FGV (2012). Trabalha desde fevereiro de 2009 na CEMIG D, 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 (TurnKey/EPPG) para contratação de construção, ampliação e reforma de subestações compactas da CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A.



**Wagner Antônio Moreira Ursine**. Natural de Belo Horizonte/MG - Brasil, graduado em Engenharia Elétrica pela UFMG (2011) e Mestre em Engenharia Elétrica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFMG (2013). Desde 2013, trabalha como engenheiro na Cemig Distribuição S.A, onde atua em atividades relacionadas à coordenação técnica de empreendimentos, especificação, projeto e aplicação de equipamentos e materiais, editais de licitação, geração distribuída e análise de viabilidade técnica e econômica para linhas de distribuição e subestações. Link CV Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7182777261032225>.

**Marconis dos Santos Novais**. Nascido em Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil, em 16 de fev. de 1967. Curso de graduação em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica - MG e MBA em Gestão Empresarial na FGV – Belo Horizonte. Atualmente, ocupa o cargo de Engenheiro Sênior da Gerência de Engenharia, Automação e Sistemas de Distribuição da Cemig D. Empregado desta companhia desde 1985, esteve envolvido com as atividades de projeto de redes de distribuição urbana e rural, na elaboração de normas nacionais e especificação de equipamentos para subestações de Distribuição e Transmissão e na coordenação de empreendimentos integrados de subestações e linhas de distribuição e transmissão. Atualmente, trabalha na concepção e desenvolvimento de soluções para subestações de distribuição