



# Prevenção, Detecção e Combate a Incêndios: Experiência da CEMIG em Subestações de Distribuição

**Tema:** Subestações de Distribuição

**Autores:** Maurissone F. Guimarães (mauris@cemig.com.br) - CEMIG D

**Co-Autores:** Marisa Lages Murta (mlmurta@cemig.com.br) - CEMIG D; Vinícius Amorim Botelho (vinicius.botelho@cemig.com.br) - CEMIG D

**Empresa:** CEMIG Distribuição S.A

---

## Resumo

Um incêndio em uma subestação de energia é um evento impactante na operação de uma parte da infraestrutura crítica da sociedade, impondo perdas financeiras, materiais e mesmo vidas humanas, trazendo consequências imprevisíveis. Como medida de controle e mitigação de riscos, o investimento em sistemas de prevenção, detecção e combate a incêndios em subestações é uma ação efetiva na proteção desses ativos do sistema elétrico. Este artigo descreve os itens mais relevantes das avaliações e estudos realizados e das implementações com vistas à melhoria dos Sistemas de Proteção e Combate a Incêndios (SPCIs) de subestações de distribuição de alta tensão e a experiência da CEMIG na implementação desses sistemas em instalações até 138 kV. Preliminarmente, são apresentados breve histórico das ocorrências recentes, aspectos básicos de combate a incêndio, bem como características dos sistemas legados na CEMIG; na sequência, são abordados aspectos práticos nas especificações, boas práticas e implementações de SPCIs de subestações, sem a mínima pretensão de esgotar tema de natureza tão complexa, como é a ciência do fogo e a diversidade de sistemas para sua eliminação e prevenção.

## 1. Introdução

Subestações (SEs) de alta tensão são parte de infraestrutura crítica da sociedade, devendo operar de forma confiável e em regime contínuo ao longo de sua vida útil prevista (em torno de três décadas). Por reunir uma diversidade de componentes elétricos, onde os elementos isolantes presentes em uma subestação são, em geral, material combustível (óleo, papel e polímeros de forma geral), um incêndio nesse ambiente pode, rapidamente, assumir grandes proporções.

SEs de grandes centros urbanos utilizam, normalmente, equipamentos de AT com isolamento a gás (SEs tipo GIS – *Gas Insulated Switchgear*), além de conjuntos de manobra de média tensão com disjuntor em cubículo tipo *metalclad*. Essas subestações são, em geral, abrigadas e utilizam extensões consideráveis de cabos isolados de baixa, média e alta tensão, os quais são fabricados em material polimérico de natureza combustível (XLPE, EPR, PVC, etc.). Um volume grande de cabos acaba se concentrando em porções destinados primordialmente à distribuição e acomodação dos vários circuitos de média tensão. Adicionalmente, transformadores de potência de alta tensão abrigados demandam especial atenção, por empregarem expressivo volume de óleo isolante. Bancos de capacitores também são equipamentos suscetíveis

a explosões e incêndios. Para exemplificar, a *Figura 1* mostra um esquemático de uma SE GIS e vista da SE BH-Serrano da CEMIG D, SE abrigada com barramento abrigado em GIS (SF6).

Subestações de grandes centros urbanos exigem esquemas especiais de proteção, com sistemas fixos e automáticos de combate a incêndio e redes de detecção de fogo e fumaça, além de alarmes e sinalizações. Um incêndio pode se estabelecer e propagar rapidamente, se não houver as medidas preventivas e resposta adequadas.

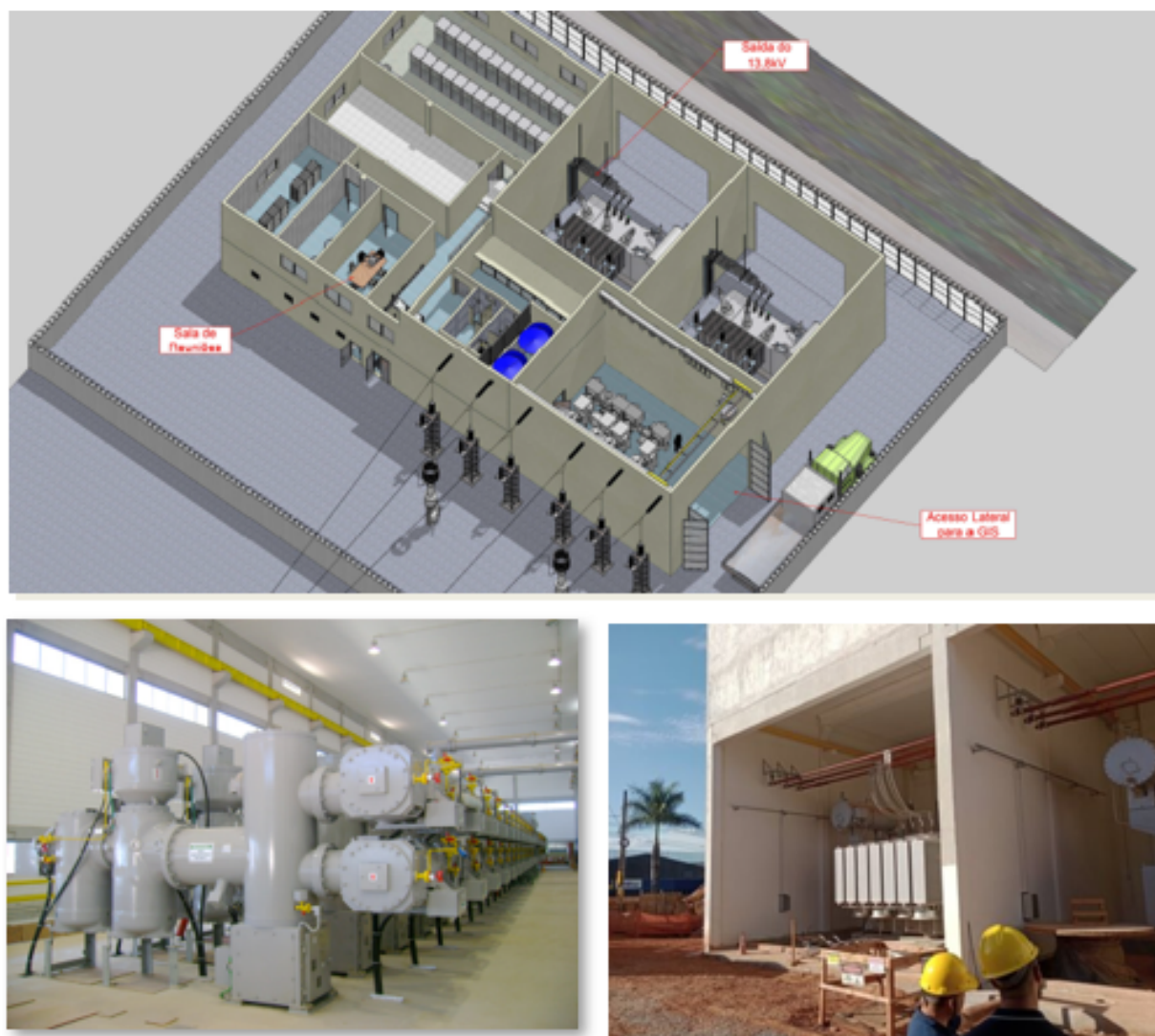


Figura 1 – SE BH-SERRANO: desenho conceitual, sala GIS e baias dos transformadores de potência  
(Fonte: CEMIG, 2023)

De forma geral, a proteção contra incêndios envolve diferentes esquemas de atuação, incluindo monitoramento, detecção, combate, esquemas de segurança e proteção com barreiras físicas. Os requisitos mínimos para o Projeto de Prevenção e Combate a Incêndio e Pânico (PPCIP) de uma SE estão cobertos por normas nacionais e internacionais. Uma série de publicações e normas aborda exclusivamente os tópicos específicos de PPCIP e SPCI em subestações, considerando a diversidade de situações encontradas e medidas de resposta ao risco (NR 23; NBR 13231; NBR 17240; CIGRE, 2018).

Além disso, a manutenção regular dos componentes e subsistemas do Sistema de Proteção e Combate a Incêndio (SPCI) é crucial para assegurar que todos os equipamentos funcionem corretamente em caso de emergência. A avaliação e aprovação pelo Corpo de Bombeiros garantem que o projeto esteja em conformidade com os requisitos de segurança.

SPCIs não estão restritos a subestações de grandes centros urbanos. No caso da CEMIG, em pequenos e médios centros urbanos, têm-se utilizado preferencialmente os padrões de Subestação Modular Híbrida e Subestação Compacta Integrada (SECIs). Essas instalações também empregam equipamentos de manobra compactos e cabos isolados em MT abrigados em salas elétricas. Nesses casos, o SPCI está entre os serviços essenciais que dão suporte ao funcionamento confiável da estação (GUIMARÃES & COSTA & NOVAIS & CARVALHO & OLIVEIRA & ASSIS & URSINE & GOMES, 2023).

A partir de um incêndio ocorrido na SE BH-Sion, uma série de medidas foi implementada para melhoria nos sistemas de prevenção, detecção e combate a incêndios em subestações da CEMIG D (CEMIG-ED/ES-8001, 2023; CEMIG-ED/ES-RT-120, 2023).

As alterações de melhoria propostas estão detalhadas no texto.

## **2. Desenvolvimento**

### **2.1. HISTÓRICO RECENTE DE INCÊNDIOS EM SUBESTAÇÕES DA CEMIG DISTRIBUIÇÃO**

#### **SE BH-SION**

Como exemplo real do impacto de incêndio em subestações, em 2022 houve um evento de grandes proporções na SE BH-Sion, que atende parte do centro urbano da região metropolitana de Belo Horizonte–MG. Essa subestação foi construída na década de 70 e passou por um *retrofit* entre os anos de 2012 e 2015.- Possui configuração de barramentos isolados a ar, tipo barra principal e transferência, quatro transformadores de 25 MVA 138-13,8 kV, sem abrigo. Após a reforma, foram utilizados conjuntos de manobra em cubículo abrigado para o arranjo de média tensão. No novo edifício, ficavam os sistemas de proteção, controle, automação, telecomunicações e serviço auxiliar. Havia sistema de detecção, mas essa SE não contava com sistema fixo e automático de combate a incêndio.

O incêndio iniciou-se no porão de cabos de média tensão e propagou-se rapidamente para outros locais. Houve perda total do edifício de controle, conjuntos de manobra de média tensão, painéis de proteção e controle, equipamentos de telecomunicações, cabeamento de controle e cabos isolados de MT no porão, local de origem do incêndio. A Figura 2 e a Figura 3 mostram as condições de alguns equipamentos e do porão de cabos, após o incêndio.



Figura 2 – Painéis de controle da SE BH-Sion após incêndio (Fonte: CEMIG, 2022)



Figura 3 – Condição do porão de cabos da SE BH-Sion após incêndio (Fonte: CEMIG, 2022)

Cerca de 64.470 clientes foram diretamente impactados. Medidas operativas reestabeleceram rapidamente o atendimento aos clientes, mas as perdas materiais foram definitivas. Felizmente, não houve perda de vidas humanas.

Investigações realizadas posteriormente indicaram que vários elementos contribuíram para a grande proporção do incêndio. Uma falha de isolamento de um cabo de MT por ausência de aterramento da blindagem foi o gatilho inicial.

## SE Formiga 2

A SE Formiga 2 foi construída no padrão de Subestação Modular Híbrida, com dois transformadores de 25 MVA, 138 – 13,8 kV e um Módulo Integrado de Manobra e Controle (MIMC-MT ou MIMC) com conjuntos de manobra. O MIMC-MT conta com SPCI baseado em inundação total com o agente FK-5-1-12.

Em março de 2024, houve desarme de um alimentador e indicação de atuação do SPCI do MIMC. Após inspeção da equipe de campo, foi identificada que a causa do desarme decorreu de um defeito na terminação (terminal desconectável) no cubículo. Nessa ocorrência, houve atuação devida do SPCI com eliminação do princípio de incêndio no cubículo. Não houve propagação de incêndio para os demais equipamentos no ambiente do MIMC, e a subestação foi religada após isolamento do cubículo danificado no incêndio (Figura 4).

Com base na avaliação da equipe de Engenharia, o SPCI foi decisivo para a rápida retomada da operação da subestação em ambas as ocorrências.



## 2.2. ELEMENTOS BÁSICOS SOBRE INCÊNDIOS E SPCI

Essa seção visa nivelar aspectos básicos para melhor compreensão dos sistemas de prevenção e combate a incêndios.

Em um incêndio, a energia química acumulada nos materiais é liberada de forma descontrolada e o incêndio persistirá até que pelo menos um desses elementos seja removido. A Figura 5 ilustra o tetraedro de fogo com os quatro elementos para ocorrência de um incêndio: calor, combustível, agente oxidante (oxigênio) e reação química em cadeia.

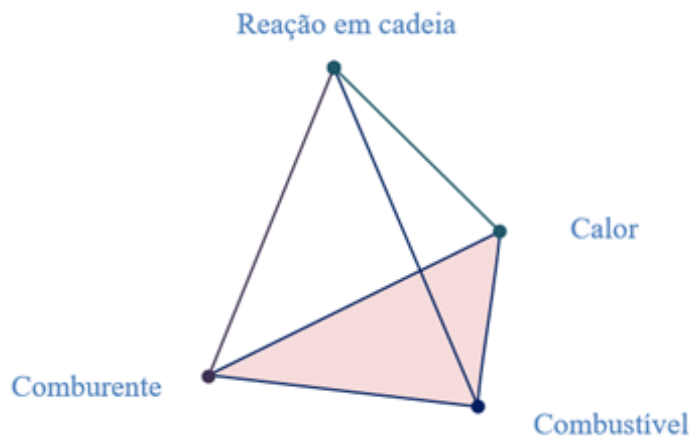


Figura 5 – Tetraedro do fogo: triângulo do fogo e reação em cadeia

Comumente, os incêndios são classificados segundo o tipo de material combustível:

- Classe A – combustíveis sólidos como papel, madeira e tecido;
- Classe B – líquidos inflamáveis como álcool, querosene, combustíveis e óleo mineral;
- Classe C – equipamentos elétricos como transformadores, banco de capacitores e cabeamento, em geral;
- Classe D – metais pirofóricos como, por exemplo, magnésio, selênio, antimônio, lítio, potássio, alumínio, zinco, titânio, urânio e zircônio;
- Classe K – óleo e gordura vegetal.

Com base nessa descrição, incêndios em transformadores podem ser classificados como classe B, por ser basicamente um tanque com óleo, e classe C por ser um equipamento elétrico. Um transformador isolado com óleo abrigado necessita de solução fixa e automática para combate a incêndio.

SPCIs são sistemas que, além da detecção de fogo e fumaça, também possuem meios de extinção do fogo usando um agente extintor apropriado. Em geral, SPCIs para subestações são especificados para incêndios de classe A, B e C. No caso de incêndios em bancos de baterias e sistemas de armazenamento de energia tipo BESS (*Battery Energy Storage System*) baseados em íons de lítio, são necessárias soluções e esquemas especiais para incêndios de classe D. Além disso, é crucial implementar medidas para prevenir o fenômeno de fuga térmica (*thermal runaway*), que pode levar a incêndios ou explosões.

As técnicas de prevenção e combate a incêndio podem atuar em um ou mais vértices desse tetraedro, com ações preventivas, de mitigação e de combate. Como ações de natureza preventiva, pode-se citar:

- redução do volume de material combustível;
- seleção dos materiais utilizados;

- compartimentação dos ambientes e utilização de barreiras físicas;
- monitoramento para detecção precoce;
- controle de ventilação;
- outras ações complementares.

Pela óptica da eliminação e minimização de danos para uma condição já estabelecida, devem ser adotadas ações para detecção e combate, seja por inundação total ou combate localizado (redução do calor no ambiente, supressão de oxigênio), etc.

Em sistemas de inundação total, ocorre a descarga de agente de combate no interior de um ambiente fechado ou, na prática, com poucas aberturas. Essa descarga é dimensionada para distribuir o agente do combate no local de maneira uniforme, expressa em porcentagem do volume total. A lista de agentes por inundação total é bastante ampla. A Agência de Proteção do Meio Ambiente dos Estados Unidos (EPA, 2025) apresenta uma lista com mais de 50 tipos de agentes de combate a incêndio por inundação total, incluindo sistemas baseados em CO, e agentes limpos.

O CO<sub>2</sub>, juntamente com os gases *Halon*, foram utilizados por décadas em proteção no combate a incêndio. O *Halon* é um hidrocarboneto halogenado, banido desde a assinatura do Protocolo de Montreal em 1987 devido ao impacto ambiental como causador de depleção da camada de ozônio. A produção e o consumo de Halon foram eliminados em etapas, com a proibição total em muitos países ocorrendo em 2010. O CO<sub>2</sub> continua sendo utilizado com agente de combate a incêndio até a atualidade.

O combate localizado, por extintor ou sistemas automáticos, é uma forma alternativa ou complementar para debelar incêndios.

### 2.3. SISTEMAS LEGADOS DE COMBATE A INCÊNDIOS EM SUBESTAÇÕES TIPO GIS

Tradicionalmente, a implementação de SPCI com utilização de sistemas fixos e automáticos ficou restrita a subestações urbanas do tipo GIS. O agente empregado é o CO<sub>2</sub>, no método de inundação total de baía ou compartimento do transformador de potência. Tradicionalmente, a CEMIG utiliza sistema baseado em CO<sub>2</sub>, nas SEs tipo GIS. Subestações convencionais com isolamento a ar da CEMIG são providas somente com detecção, sendo o combate manual com extintores para incêndios de classe ABC.

O CO<sub>2</sub> é utilizado como supressor de oxigênio (processo conhecido como *inertização*), sendo letal na concentração necessária nas aplicações de combate a incêndio, na faixa de 34% e 50% em volume. Nos sistemas da CEMIG são empregadas duas baterias de descarga do agente de extinção. Medidas e sistemas de segurança devem ser implantados em ambientes protegidos por essa agente, como controle de acessos, bloqueios, sistemas de retardo e sinalização. A norma NFPA 12 (NFPA 12, 2018) não recomenda a utilização de CO<sub>2</sub> em espaços ocupáveis, a menos que não haja uma alternativa tecnicamente viável do ponto de vista da segurança. A literatura registra considerável número de ocorrências com perda de vidas humanas por asfixia por CO<sub>2</sub>, (WICKHAM, 2003).

Sistemas baseados em CO<sub>2</sub>, geralmente têm custos elevados de manutenção periódica. Isso se deve principalmente ao grande número de cilindros necessários para armazenar o CO<sub>2</sub>, além da necessidade de verificações, testes e manutenção regulares dos componentes desses sistemas.

### 2.4. EXPERIÊNCIA DA CEMIG COM AGENTES LIMPOS E AEROSSÓIS

#### AGENTES LIMPOS

Os agentes limpos são utilizados em salas elétricas do tipo MIMC-MT nas subestações híbridas e MUCP (Módulo Unitário de Controle e Proteção) de aplicação geral como salas de controle. O cilindro do agente

extintor fica posicionado na parte externa da sala, em um compartimento lateral, abaixo da sala elétrica ou sob a plataforma da escada, como pode ser visto na figura (Figura 6).

Agentes limpos recebem essa denominação devido à sua capacidade de não degradar a natureza e não afetar a camada de ozônio. Quando utilizados na concentração de extinção, permitem a respiração humana. Os agentes extintores de incêndio cobertos pela NFPA 2001 (NFPA-2001, 2018) devem ser eletricamente inertes, isto é, não condutivos.

Um fator positivo dos agentes limpos é a ausência de resíduos que podem danificar permanentemente equipamentos sensíveis, como componentes dos Sistemas de Automação de Subestações (SAS), conjuntos de manobra, telecomunicações e outros sistemas não afetados diretamente por um foco de incêndio. O agente limpo contribui para a rápida retomada da operação em caso de incêndio parcial das instalações com danos localizados, como no caso mencionado da SE Formiga 2.



Figura 6 – Sala Elétrica tipo MIMC-MT à esquerda e cilindro FK-5-1-12 do SPCI à direita (Fonte: CEMIG)  
Segundo a NFPA 2001 (NFPA-2001, 2018), são considerados agentes limpos a seguir:

- HFC-227ea (FM-200®, *DuPont Chemical*);
- HFC-227 (*DuPont Chemical*);
- FE-25 (*DuPont Chemical*);
- FK-5-1-12 (NOVEC® 1230, 3M).

Dos agentes listados acima, a CEMIG utiliza, preferencialmente, o gás FK-5-1-12. Atualmente, há outros fornecedores além do fabricante 3M, o qual decidiu pela descontinuidade da proteção do NOVEC 1230. HFC-227, FM-200 e FE-25 são versões comerciais do composto químico heptafluorpropano, um gás inodoro e incolor. O FK-5-1-12 é uma cetona fluorada, um fluido sintético não inflamável de curta duração na atmosfera, coberto pelas normas NFPA 2001 e ISO 14.520 (NFPA-2001, 2018; ISO, 2016). O fluido FK-5-1-12 atua na eliminação do calor do ambiente para extinguir os focos de incêndio. O FM-200 e outros heptafluorpropanos atuam da mesma forma, porém exigem maiores concentrações para eliminar o incêndio. O SPCI deve ser projetado conforme cada agente especificado.

Quando o sistema de disparo atua durante um incidente (manual ou automaticamente), a válvula do cilindro é aberta e o gás é liberado, o qual segue em tubulações para ser descarregado pelos difusores na área protegida. A rede de dutos para um SPCI de um MIMC está ilustrada na Figura 7. A concentração de projeto deve ser mantida por um determinado tempo (tempo de retenção). O protegido deve ser estanque o

suficiente, sem vazamentos ou vazamentos mínimos. Conforme a norma NFPA 2001 (NFPA-2001, 2018), é exigido que pelo menos 85% da concentração mínima de projeto do agente limpo seja mantida por um período mínimo de 10 minutos.

Em sistemas de combate localizados, o agente extintor é lançado diretamente sobre o material em chamas. Os sistemas de inundação total e combate localizado podem ser projetados para atuarem de forma complementar.

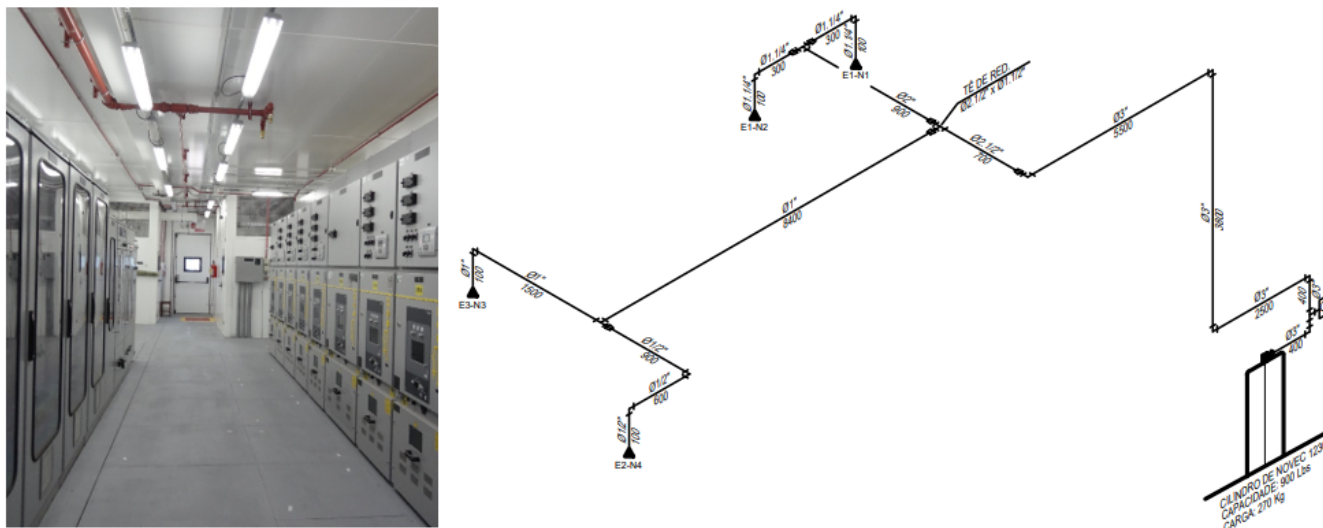


Figura 7 – Rede de distribuição e difusores em um SPCI de uma sala elétrica tipo MIMC-MT (Fonte: CEMIG) Um aspecto importante para a eficiência do SPCI por inundação total é a estanqueidade do ambiente. É necessário um projeto adequado, com previsão de barreiras, selos e esquemas de vedação, intertravamento do SPCI e sistemas de *dampers*, ventilação e climatização. Deve ser previsto teste de estanqueidade do ambiente e maneiras de compensar a perda do agente de extinção.

Para não haver impacto em ambientes ocupáveis, a concentração de projeto dos agentes de combate deve estar abaixo dos níveis de toxicidade, expressos em termos dos índices NOAEL (*Nível de Efeito Adverso Não Observado*) e LOAEL (*Nível de Efeito Adverso Mais Baixo Observado*):

- NOAEL: o nível mais alto de concentração de agente de extinção em que não se observam efeitos toxicológicos ou fisiológicos adversos ao ser humano.
- LOAEL: o nível mais baixo de concentração de agente extintor onde se observam efeitos toxicológicos e fisiológicos adversos ao ser humano.

Os dados de NOAEL e LOAEL para os agentes de extinção FK-5-1-12 e HFC-227ea podem ser encontrados nas fichas técnicas desses produtos (3M, 2017; DUPONT, 2009).

Para o FK-5-1-12, o NOAEL é de 10% em termos de concentração volumétrica, e o LOAEL também é de 10%. Isso significa que não são observados efeitos adversos em concentrações até 10%, mas efeitos em humanos começam a ser observados a partir dessa concentração. Para o HFC-227ea, o NOAEL é de 9% e o LOAEL é de 10.5%. Portanto, a concentração de projeto de 6% a 9% está dentro dos limites seguros para ambos os agentes.

Por medida de precaução, não é recomendado que pessoas fiquem expostas ao agente por um período superior a 10 minutos. A margem de segurança, simples ou relativa, é determinada em função da concentração necessária para eliminação do incêndio em relação aos níveis de toxicidade. O FK-5-1-12 possui maior margem de segurança entre agentes de supressão de incêndios.

O agente utilizado, a concentração, o tempo de retenção e o número de baterias são parâmetros especificados para aplicação em subestações.

Atualmente, a CEMIG D possui 21 subestações do tipo modular híbrida, com perspectiva de 35 novas SEs no padrão modular híbrida, ao final do ciclo de investimento 2023/2027. Todas essas SEs contam com SPCI baseado em agentes limpos.

### **AGENTES AEROSSÓIS**

A NFPA 2010 (NFPA 2010, 2010) define aerossol condensado como um meio extintor constituído por partículas sólidas finamente divididas e matéria gasosa, gerado por um processo de combustão de um composto sólido formador de aerossóis. Aerossóis condensados são definidos por NFPA 2010 como partículas de menos de 10 micrômetros de diâmetro.

O aerossol propaga-se e distribui-se homogeneamente no ambiente a ser protegido e, ao contrário de agentes gasosos, o efeito de inundação total é conseguido sem aumento de pressão na área/volume protegido. A extinção do incêndio ocorre pela interrupção das reações químicas em cadeia na chama e não por consumo de oxigênio e/ou arrefecimento. As partículas sólidas de carbonato de potássio ( $K_2CO_3$ ) permanecem suspensas no recinto protegido durante pelo menos 30 minutos (tempo de retenção), impedindo a re-ignição do incêndio. Não há supressão do oxigênio do ambiente. Por reação química, o aerossol atua como agente extintor, suprimindo incêndios das classes A, B e C, com base na densidade necessária. O agente também tem sido utilizado na proteção de ambientes com baterias de íons de lítio.

A CEMIG D implantou uma unidade BESS com proteção baseada no agente aerossol de sais de potássio no Projeto P&D 727 – “Sistemas de Armazenamento de Energia”. Ainda são necessários estudos e aprimoramentos técnicos para combate eficiente de incêndio em sistemas tipo *BESS*, considerando a crescente tendência de utilização desses sistemas em subestações.

Embora os custos de implantação de SPCIs baseados em agentes limpos sejam maiores em relação a sistemas convencionais, e isso se deve ao preço dos agentes limpos e à tecnologia envolvida. No entanto, os custos de manutenção desses sistemas geralmente são menores. Isso ocorre porque os agentes limpos requerem menos cilindros, menos espaço e têm intervalos de manutenção mais longos, resultando em menos verificações e manutenções ao longo do tempo.

### **2.5. MELHORIAS ADOTADAS NOS SPCIs E MEDIDAS COMPLEMENTARES DE PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIOS**

As melhorias adotadas nos SPCIs nasceram da necessidade de melhor resposta aos riscos de incêndios. As implementações que deram resultado positivo em SPCI de salas elétricas e outras consideradas pertinentes foram adaptadas para o ambiente das SEs tipo GIS. Resumidamente, foram incluídas as seguintes modificações:

- adoção de agentes limpos para combate a incêndio nas baias dos transformadores de potência e bancos de capacitores;
- eliminação do CO, nos SPCIs das novas instalações;
- combate a incêndio no porão de cabos com sistema baseado em aerossol;
- utilização sistemática de barreiras contra incêndio, pintura ablativa e *dampers* corta-fogo;
- detecção cruzada de fogo e fumaça, inclusive no porão de cabos;
- detecção por aspiração;
- sensoriamento preditivo com sistema de detecção óptica distribuída (DTS);
- detectores lineares térmicos;
- compartimentação de ambientes e maior segregação de circuitos;
- intertravamentos automáticos entre sistema de ventilação, climatização e a central de detecção do SPCI;

- Na aplicação em SPCI de SEs tipo GIS, o sistema de combate e supressão a incêndios na baía de transformador de potência e banco de capacitores deve ser do tipo inundação total com o agente tipo FK-5-1-12. No sistema projetado pela CEMIG, deve ser prevista uma segunda bateria de disparo para manter a concentração de trabalho pelo tempo de retenção mínimo de 30 minutos. Com essa mudança, houve eliminação do CO, nos SPCIs das novas instalações da CEMIG.

[illegible]



Figura 9 – Selo de vedação de cabos tipo MCT d na SE BH-São Marcos (Fonte: CEMIG)

A rede de detectores de fumaça e fogo deve ser em laço cruzado para evitar falsos alarmes, cobrindo, inclusive, o porão de cabos das SEs tipo GIS.

A adoção de sistemas de detecção mais avançados e preditivos, como DTS (*Distributed Temperature Sensing*) e detecção por aspiração, permitem cobrir largas distâncias e diferentes ambientes, com possibilidade de múltiplos zoneamentos. Sistemas DTS são eficazes na detecção precoce de variações de temperatura que podem indicar um incêndio iminente. Esse sistema está especificado para aplicação nas próximas subestações urbanas GIS. Sistemas de detecção por aspiração são altamente sensíveis e podem detectar partículas de fumaça em estágios muito iniciais de combustão. Eles funcionam aspirando continuamente amostras de ar do ambiente e analisando-as em busca de sinais de fumaça. Atualmente, a CEMIG possui duas SEs com detecção por aspiração VESDA em SEs GIS.

É necessário intertravamento entre central de alarme e detecção de incêndio e os sistemas de controle/acionamento de ventilação forçada, *dampers* e ar-condicionado. O SPCI deve possuir sistemas de sinalização e alarme (sonoro e visual) para facilitar a evacuação do local em caso de sinistros.

Para subestações que utilizem salas elétricas como MIMC-MT e MUCP, pode-se citar a inclusão de detectores lineares térmicos e maior proteção com combate localizado nas canaletas de cabo. A detecção cruzada já é empregada nos SPCIS das salas elétricas. O mesmo padrão de proteção foi especificado para a SECIs com salas elétricas.

Para cabos de controle e de potência, optou-se pela adoção de tecnologia de cabos não halogenados (*low smoke*), com baixa emissão de fumaça e gases tóxicos (SEs tipo GIS, SECI e SEs Híbridas Modulares), incluindo cabos de potência e de controle. Os cabos de MT livres de halogêneos (SHF1 -*Sheath Halogen-Free 1*) com baixa emissão de fumaça são aplicados em porão de cabos, dutos e galerias no ambiente de subestações, até a primeira estrutura de transição para rede de MT ou caixas de transição. Essa ação foi implementada nas novas SEs após ocorrência na SE BH-Sion.

Além das características dos cabos de controle e potência, é preciso considerar a configuração e o ambiente da instalação. Os sistemas de proteção passiva contra incêndios devem ser avaliados em conjunto. Soluções como tintura intumescente, barreiras longitudinais e radiais e envelopamento podem ser consideradas. Complementarmente, os cabos devem estar posicionados de maneira uniforme e ordenada, evitando cruzamentos e superposições, minimizando os riscos de incêndios.

### 3. Conclusão

A CEMIG tem trabalhado na busca de soluções para melhorar as especificações de SPCI e características de materiais e equipamentos para reduzir riscos relacionados a incêndios. Essas ações são essenciais para o trabalho das equipes de manutenção, com impacto em fatores de segurança e mesmo indicadores de qualidade, ao limitar danos potenciais e propiciar rápida retomada da operação.

Como medida de controle e mitigação de riscos, o investimento em sistemas de prevenção, detecção e combate a incêndios em instalações elétricas é uma ação efetiva na proteção de ativos do sistema elétrico. Este trabalho apresentou as características de SPCIs adotados pela CEMIG nos sistemas legados, particularmente nas SEs tipo GIS, SPCIs aplicados em salas elétricas baseadas em agentes limpos, bem como as características dos sistemas em novas subestações da empresa. Foram apresentadas as principais características do sistema com vistas à aplicação esperada dos SPCIs.

Como destaque em melhorias propostas, pode ser citada a eliminação do CO, nas novas instalações tipo GIS, que contarão com agentes limpos no SPCI de baias de transformadores e capacitores, além de combate a incêndio no porão de cabos com agente aerossol.

As seguintes ações complementares de melhorias na prevenção de incêndios foram incorporadas nas especificações:

- detecção cruzada de fogo e fumaça;
- utilização sistemática de barreiras contra incêndio, com selos, pintura ablativa;
- sensoriamento preditivo com sistema de detecção óptica distribuída (DTS) e sensoriamento por aspiração;
- detectores lineares térmicos;
- maior compartimentação de ambientes com utilização de selos, *dampers* e portas corta-fogo;
- intertravamentos automáticos para controle de ventilação em caso de ocorrência de incêndios;
- melhor segregação de circuitos;
- melhoria na sinalização e alarme; e
- adoção de cabos de potência e controle não halogenados.

Ainda são necessários estudos e aprimoramentos técnicos para combate de incêndios de forma eficiente em sistemas de armazenamento de energia por baterias (BESS), especialmente considerando a crescente tendência de utilização desses sistemas em subestações.

Por fim, com as melhorias propostas nos SPCIs das novas subestações de alta tensão, a CEMIG espera avançar para o estado da arte em combate a incêndios, aumentando a segurança e resiliência nos sistemas de alta tensão da distribuição.

### 4. Referências bibliográficas

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Norma Regulamentadora (NR 23) – Proteção contra incêndios, setembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13231 – Proteção contra incêndio em subestações elétricas, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 17240 – Sistemas de detecção e alarme de incêndio – Projeto, instalação, comissionamento e manutenção de sistemas de detecção e alarme de incêndio – Requisitos, Out. 2010.

CIGRE. WG B1, Fire issues for insulated cables installed in air. Março de 2018.

M. F. GUIMARÃES, P. R. F. C. COSTA, M. S. NOVAIS, E. N. CARVALHO, L. R. OLIVEIRA, S. C. ASSIS, W. A. URSINE, L. C GOMES - Experiência da CEMIG com salas elétricas para Subestações. XXVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Belo Horizonte – MG, 2019.

CEMIG D. Relatório Técnico 02.111-ED/ES-8001, Ações de Resposta ao Incêndio na SE BH SION. Mar/2023.

CEMIG D. Relatório Técnico 02.111-ED/ES-RT-120, Melhorias no Sistema de Proteção e Combate a Incêndio em Subestações da CEMIG DISTRIBUIÇÃO. Dez/2023.

WICKHAM, Robert, 8 August 2003, Review of the Use of Carbon Dioxide Total Flooding Fire Extinguishing Systems, Table 4, p 11. Peer Reviewed.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – US EPA, Substitutes in Total Flooding Agents. Disponível em: <https://www.epa.gov/snap/substitutes-total-flooding-agents>. Acesso em Jan. 2025.

NFPA 12 Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems, 2018.

NFPA-2001, Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems, 2018.

ISO 14520-1, Gaseous fire-extinguishing systems – Physical properties and system design – Part 1: General requirement, 2016.

3M, Novec 1230 Fire Protection Fluid – Protect What Matters. Brochure, 2017

DuPont, FM-200™, Fire Extinguishing Agent – Technical Information, 2009.

NFPA 2010 is the standard for Fixed Aerosol Fire-Extinguishing Systems.