

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ESPECIALIZAÇÃO EM SEGURANÇA DO TRABALHO**

NATANEA APARECIDA ALVES

**ESTUDO DE CASO REFERENTE A EXIGÊNCIA DO CORPO DE
BOMBEIROS PARA O USO DE SISTEMA DE HIDRANTE SOB COMANDO
EM UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

NATANEA APARECIDA ALVES

**ESTUDO DE CASO REFERENTE A EXIGÊNCIA DO CORPO DE
BOMBEIROS PARA O USO DE SISTEMA DE HIDRANTE SOB COMANDO
EM UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista de Segurança do Trabalho, Departamento Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR.

Orientador: Prof. MSc. Carlos Augusto Sperandio

**CURITIBA
2017**

NATANEA APARECIDA ALVES

**ESTUDO DE CASO REFERENTE A EXIGÊNCIA DO CORPO DE
BOMBEIROS PARA O USO DE SISTEMA DE HIDRANTE SOB
COMANDO EM UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Orientadora:

Profª. M.Sc. Carlos Augusto Sperandio
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Banca:

Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. Dr. Adalberto Matoski
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. M.Eng. Massayuki Mário Hara
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Curitiba
2017

“O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

A meus pais, Pedro e Terezinha
por serem os melhores pais do mundo.
Sem vocês, nada disso seria possível.
Eu amo muito vocês!

AGRADECIMENTOS

Eu só tenho motivos para agradecer!

Agradeço imensamente a meus pais, que fazem o possível e o impossível pra me ver feliz. Obrigada pela compreensão, pela paciência, pelo amor, e por todos os valores que me ensinaram. E acima de tudo, obrigada pelos sacrifícios que vocês fizeram para que eu pudesse ser quem eu sou hoje! Eu amo vocês!

Obrigada meus irmãos, Pedro Henrique, Michele e Naeane pela compreensão, pela paciência, pelo amor, e pela certeza de que nunca estarei sozinha!

É tão grande meu agradecimento aos meus melhores e maiores presentes, meus sobrinhos! Pedro Luis, Pedro Lucca e Pietra, obrigada por me proporcionarem tantos risos e terem me presenteado com imensa felicidade apenas por existirem!

Ao meu amor Eric, obrigada pela paciência, incentivo, pela força e principalmente pelo carinho. Que falta você me faz!

Ao professor Sperandio, meu orientador. Obrigada pelas contribuições dadas a este trabalho.

Quero agradecer também aos meus amigos, companheiros e integrantes do grupo PPP. Obrigada pela amizade, momentos de risadas, diversão e estudos compartilhados.

RESUMO

ALVES, Natanea Ap^a. **Estudo de caso referente a exigência do Corpo de Bombeiros para o uso de Sistema de Hidrante sob comando em uma Subestação Elétrica.** 2017. 62 f. Monografia de Especialização – Especialização em Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Este trabalho retrata a oportunidade de um Estudo de Caso em uma Subestação Abrigada, com o objetivo de fornecer energia elétrica para o Parque Olímpico, para os Jogos Olímpicos de 2016. Por exigência do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro houve a necessidade da instalação de um Sistema de Hidrantes sob comando para Proteção e Combate a Incêndio. Serão descritos as características do empreendimento, as exigências do Corpo de Bombeiros, e o resultado final do sistema de hidrantes sob comando implementado na subestação. Será ainda, realizado uma comparação dos sistemas de proteção contra incêndio específicos para subestações, entre, as recomendações da Eletrobrás Gridis 14, ABNT NBR 13231 e as exigências do Corpo de Bombeiros, afim de comprovar que todos os sistemas de proteção necessários foram executados. Dessa forma, sugere-se outros tipos de Sistema de Proteção Contra Incêndio complementares, em função de comprovações técnicas e trabalhos já realizados, com objetivo de preservar a continuidade dos equipamentos e evitar a exposição do operador da mangueira de incêndio a corrente elétrica acidental.

Palavras-chave: Exigência. Corpo de Bombeiros. Subestação Elétrica. Recomendações. Proteção Contra Incêndio. Sistema de Hidrante sob comando.

ABSTRACT

ALVES, Natanea Ap^a. **Case study regarding the requirement of the Fire Department for the use of Hydrant System under command in an Electrical Substation.** 2017. 62 f. Monografia de Especialização – Especialização em Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

This work presents the opportunity of a Case Study in a Sheltered Substation, with the objective of supplying electricity to the Olympic Park for the 2016 Olympic Games. As a requirement of the Rio de Janeiro State Fire Department, there was a need The installation of a Hydrant System under the command of Protection and Fire Fighting. The characteristics of the development, the requirements of the Fire Department, and the final result of the hydrant system under command implemented in the substation will be described. A comparison of the specific fire protection systems for substations will also be made between the recommendations of Eletrobrás Gridis 14, ABNT NBR 13231 and the requirements of the Fire Department, in order to prove that all necessary protection systems have been carried out. In this way, other types of complementary Fire Protection System will be suggested, based on technical evidence and work already done, in order to preserve the continuity of the equipment and avoid exposure of the fire hose operator to accidental electric current.

Keywords: Requirement. Fire Department. Electrical substation. Recommendations. Protection against fire. Hydrant system under command.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Barramento Rígido.	17
FIGURA 2	– Barramento Flexível.	17
FIGURA 3	– Transformador.	18
FIGURA 4	– Disjuntor.	19
FIGURA 5	– Chave Seccionadora.	20
FIGURA 6	– Para-Raios.	21
FIGURA 7	– Relé.	22
FIGURA 8	– Transformador de Corrente.	23
FIGURA 9	– Transformador de Potencial.	24
FIGURA 10	– Banco de Capacitor.	25
FIGURA 11	– Reator.	26
FIGURA 12	– Perspectiva Geral da Subestação Olímpica 138/13,8kV.	42
FIGURA 13	– GIS (Gas Insulated Substation).	43
FIGURA 14	– Subdivisão dos Espaços da Subestação Olímpica 138/13,8kV.	43
FIGURA 15	– Corte dos Pavimentos da SE Olímpica 138/13,8kV.	44
FIGURA 16	– Corte dos Pavimentos GIS.	44
FIGURA 17	– Transformadores de Potência 138/13,8kV.	45
FIGURA 18	– Detalhes do Sistema de Gás Inerte no Transformador de Potência. ..	46
FIGURA 19	– Sistema de Gás Inerte no Transformador de Potência.	47
FIGURA 20	– Sistema de Hidrantes - Sala dos Porões.	50
FIGURA 21	– Sistema de Hidrantes - Primeiro Pavimento.	51
FIGURA 22	– Sistema de Hidrantes.	51
FIGURA 23	– Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA).	52
FIGURA 24	– Comparação entre as exigências e recomendações.	54
FIGURA 25	– Sistema fixo de gás Inergen na sala do transformador.	56
FIGURA 26	– Cilindros do Sistema fixo de gás Inergen.	56
FIGURA 27	– Sistema fixo automático de água nebulizada para transformador.	57

LISTA SIGLAS

SEP	Sistema Elétrico de Potência
SE	Subestação
GIS	Gás Insulated Substation
CBMERJ	Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
SPCI	Sistema de Proteção Contra Incêndio
COSCIP	Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico
CMI	Casa de Máquina de Incêndio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo Geral	12
1.1.2 Objetivos Específicos	12
1.2 JUSTIFICATIVA	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 SUBESTAÇÕES DE ENERGIA	14
2.1.1 Classificação das Subestações	14
2.1.1.1 Classificação da SE quanto à sua função no SEP	14
2.1.1.2 Classificação da SE quanto à sua posição no SEP	15
2.1.1.3 Classificação da SE quanto à sua tensão de operação	15
2.1.1.4 Classificação da SE quanto ao tipo instalação	15
2.1.1.5 Classificação da SE pelo tipo construtivo dos equipamentos	16
2.2 EQUIPAMENTOS DAS SUBESTAÇÕES	16
2.2.1 Equipamentos de transporte de energia	16
2.2.1.1 Barramentos	16
2.2.1.2 Transformadores	18
2.2.2 Equipamentos de proteção e manobra	18
2.2.2.1 Disjuntores	19
2.2.2.2 Chaves	20
2.2.2.3 Para-Raios	20
2.2.2.4 Relés	21
2.2.3 Equipamentos de medição	22
2.2.3.1 Transformadores de Corrente	22
2.2.3.2 Transformadores de Potencial	23
2.2.4 Equipamentos de compensação	24
2.2.4.1 Banco de Capacitor	24
2.2.4.2 Reatores	26
2.2.4.3 Compensadores	26
2.2.4.4 Equipamentos de Supervisão e Controle	27
2.3 PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO EM SUBESTAÇÕES	28
2.3.1 Riscos de Incêndio	28
2.3.1.1 Óleo Mineral	28
2.3.1.2 Líquidos e gases inflamáveis e combustíveis	29
2.3.1.3 Riscos de Exposição ao fogo	30
2.3.1.4 Riscos em subestação interna	30
2.3.1.5 Perdas de ativos críticos	30
2.3.1.6 Manutenção e Construção	31
2.4 NORMAS APLICADAS	31
2.4.1 Eletrobrás - Série GRIDIS 14	31
2.4.1.1 Proteção Contra Incêndio das Edificações	32
2.4.1.2 Proteção Contra Incêndio de Equipamentos e Instalações de Pátio	32
2.4.1.3 Proteção Contra Incêndio Complementar	33
2.4.2 ABNT NBR 13231:2014	34

2.4.2.1	Requisitos de proteção contra incêndio para edificações	34
2.4.2.2	Requisitos de proteção contra incêndio para equipamentos e instalações de pá- tio	36
2.5	EQUIPAMENTOS E SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO	38
2.5.1	Sistema de Extintores de Incêndio	38
2.5.2	Sistemas Fixos de Proteção Contra Incêndio	39
3	METODOLOGIA	42
3.1	DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO	42
3.2	EXIGÊNCIAS DO CORPO DE BOMBEIROS	47
3.3	SISTEMA CONTRA INCÊNDIO IMPLEMENTADO	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1	RECOMENDAÇÕES DA ELETROBRÁS GRIDIS 14 E ABNT NBR 13.231	53
4.1.1	Sistema fixo automático de gás	55
4.1.2	Sistema fixo automático por água nebulizada	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das cidades tem evidenciado uma dependência cada vez maior em relação às disponibilidades de energia elétrica, sendo sua utilização indispensável nos processos de produção, comunicação e em todas as atividades cotidianas. Isso vem exigindo um crescimento contínuo dos serviços de energia elétrica, bem como um progresso constante nos padrões de qualidade e continuidade da energia fornecida (CORSEN, 1979).

Verifica-se assim, a importância de uma melhor utilização dos recursos disponíveis, de modo a otimizar os investimentos financeiros e a constante busca pelo aumento da eficiência. Para atender o crescimento natural da sociedade é indispensável que as técnicas de uso dessa energia caminhem proporcionalmente, através de melhorias das condições de atendimento ao consumidor (MUZY, 2012).

Com o aumento da demanda de energia elétrica criam-se as necessidades de crescimento e melhorias dos Sistemas Elétricos de Potência (SEP), criados para transportar eletricidade para as populações, por meio de sistemas elétricos, compostos de quatro etapas: geração, transmissão, distribuição e consumo (BARROS, 2010). As SEs são responsáveis pela distribuição da energia elétrica, devido a essas razões, torna-se então fundamental a utilização de um sistema confiável de operação.

Segundo Barros (2010), deve ser levada em consideração a previsão de aumento progressivo da demanda de energia para o planejamento e implantação de uma subestação, que atenda uma determinada localidade, região ou indústria. Tal planejamento proporciona a definição das características básicas dos equipamentos e arranjo da subestação.

No que diz respeito a subestações quanto ao tipo de instalação, em relação ao meio ambiente, temos a subestação convencional e a compacta, que possuem características distintas (custos, impactos ambientais, etc.).

As subestações convencionais são instaladas a céu aberto, ocupam grande espaço físico e tradicionalmente têm sido as mais utilizadas por diversas razões (domínio da tecnologia, padronização, facilidade de fornecimento de equipamentos, custo de implantação favorável) (MEIRELES, 2010).

Entretanto com o passar dos anos, em decorrência do crescimento urbano, a grande necessidade de manutenção dos equipamentos devido ao esgotamento da vida útil, a diminuição da confiabilidade do funcionamento, originou a necessidade de criar subestações menores e mais compactas.

As concessionárias de energia elétrica que atendem as demandas elevadas, em áreas densamente povoadas, vêm encontrando cada vez mais dificuldades na obtenção de terrenos adequados para a implantação de suas subestações convencionais, devido às dificuldades de aquisição de grandes áreas, custo elevado do metro quadrado do terreno, nível de ruído, impacto ambiental e etc. (JACOBSEN et al., 2001).

Ainda segundo Jacobsen et al. (2001), neste contexto de dificuldades, dependendo da sua localização na área urbana, surge como alternativa as subestações convencionais, a construção das subestações abrigadas, em função de menores áreas requeridas, minimização do impacto ambiental e das vantagens proporcionadas pelo menor custo de manutenção e maior confiabilidade. As subestações abrigadas são aquelas no qual os

equipamentos são instalados ao abrigo do tempo, podendo este abrigo ser uma edificação.

Considerando as vantagens da construção de uma subestação abrigada em uma edificação, encontra-se a necessidade da realização de um Sistema de Combate e Proteção Contra Incêndio com objetivo de proteger as instalações elétricas e assegurar a continuidade operacional do sistema. As diretrizes de prevenção e proteção contra incêndio podem ser avaliadas levando em consideração aspectos específicos dos requisitos de projeto, arranjo físico, localização e modo de operação da subestação, em função da análise de risco de incêndio e da importância da subestação no sistema de energia (ABNT, NBR 13.231, 2014).

Este trabalho retrata a oportunidade de um Estudo de Caso, referente a uma Subestação Abrigada construída na Barra da Tijuca - Rio de Janeiro, com objetivo de fornecer energia elétrica para o Parque Olímpico, para os Jogos Olímpicos de 2016. Por exigência do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro houve a necessidade da instalação de um Sistema de Hidrantes sob comando para Proteção e Combate a Incêndio, o que de fato, torna-se extremamente perigoso, devido ao comprometimento dos equipamentos em contato com a água, e principalmente a exposição do operador da mangueira de incêndio à corrente elétrica acidental.

O interesse desta questão constituiu a principal motivação para elaboração deste trabalho. Portanto, foram recomendados outros tipos de Sistema de Proteção Contra Incêndio complementares, em função de comprovações técnicas e trabalhos já realizados, no qual não houve necessidade de utilizar sistema de hidrantes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

A proposta deste trabalho foi descrever um caso real da exigência do Corpo de Bombeiros para a instalação de um Sistema de Hidrantes sob comando para Proteção e Combate a Incêndio em uma subestação elétrica abrigada e sugerir a partir de recomendações de normas específicas, outros tipos de Sistemas de Proteção Contra Incêndio complementares, conforme objetivos específicos.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram:

- Indicar as Exigências do Corpo de Bombeiros;
- Demonstrar o Sistema Contra Incêndio instalado;
- Mencionar as Recomendações da Eletrobrás GRIDIS 14 e ABNT NBR 13231 em forma de comparativo com as exigências do Corpo de Bombeiros;
- Recomendar outros tipos de Sistemas de Proteção Contra Incêndio;

1.2 JUSTIFICATIVA

O uso da água como agente extintor de fogo é largamente utilizado em incêndios de Classe A, que consistem em materiais sólidos combustíveis que queimam em profundidade e extensão, além de deixar resíduos. Os materiais combustíveis que se enquadram nesta classe são: papel, tecido, algodão, madeira entre outros similares, dentre os quais absolutamente não se encontram em subestações elétricas.

Para materiais que causam incêndios de Classe C, e nesta sim estão enquadrados os equipamentos elétricos energizados, quadros de proteção e controle, transformadores, computadores e qualquer que seja o material de uso em aplicações de energia elétrica, os extintores de pó químico seco a base de bicarbonato de sódio, potássio (BC), fosfato monoamônico (ABC) ou o extintor de CO₂ são os mais adequados para combater o pertinente tipo de incêndio.

Em função da carga de incêndio e riscos envolvidos em uma subestação elétrica, devem ser considerados os critérios mínimos exigidos pelas normas de Proteção e Combate a Incêndio, podendo até, caso necessário a complementação da proteção.

Como proteção complementar, podem ser utilizados os sistemas de Água Nebulizada, Sistema de Drenagem e Agitação de Óleo com Nitrogênio, Sistema de Gás Carbônico - CO₂, Sistema de Halon e Sistema de Hidrantes.

O Sistema de Hidrante não é recomendado à instalação para proteção da casa de controle, devido à baixa carga de incêndio, e pelos danos materiais que a água, especialmente sob pressão pode causar aos painéis e equipamentos com circuitos eletrônicos (relés) existentes no local. A proteção contra incêndio de uma subestação tem por objetivo proteger as instalações e assegurar a continuidade operacional da instalação após o incidente, o que de fato, em se utilizar água, a continuidade operacional fica prejudicada.

Por medida de segurança, ressalta-se ainda que a área da subestação é considerada como de elevado risco elétrico e, notadamente torna a instalação de sistemas de hidrante sob comando totalmente incompatível e extremamente perigosa, devido a exposição do operador da mangueira de incêndio à corrente elétrica acidental, podendo até causar a morte.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SUBESTAÇÕES DE ENERGIA

Uma subestação (SE) pode ser definida como um conjunto de dispositivos e equipamentos, interligados entre si, que fazem parte de um sistema elétrico de potência, que tem o objetivo de transformar, distribuir e ainda direcionar blocos de energia dentro de tensões, potências e parâmetros definidos, assim como garantir a proteção do sistema elétrico (ABNT NBR 14.039, 2003), ou seja, consiste em um número de circuitos conectados a um barramento comum de forma a possibilitar o desempenho das funções de transformação de tensão, manobra e proteção do sistema de energia elétrica.

No Sistema Elétrico de Potência (SEP), a subestação tem como função principal a instalação de equipamentos de transformação de níveis de tensão, manobra e de proteção. Os equipamentos de proteção proporciona a conexão de circuitos com níveis de tensão diferenciados, os equipamentos de manobra são responsáveis pela distribuição do fluxo de potência através dos diversos circuitos conectados à subestação e os equipamentos de proteção têm a função de garantir a segurança das pessoas e equipamentos (ELETROBRÁS 82, 1982).

Durante o percurso de transmissão de energia elétrica entre a geração e o consumo, a eletricidade passa por inúmeras subestações, onde os transformadores aumentam ou diminuem sua tensão, com o objetivo de reduzir a perda excessiva de energia ao longo do caminho e a distribuição de energia, respectivamente (MUZY, 2012).

2.1.1 Classificação das Subestações

As subestações podem ser classificadas em relação a sua função, posição no sistema elétrico de potência, tensão de operação, tipo de instalação e aspectos construtivos dos equipamentos, como segue:

2.1.1.1 Classificação da SE quanto à sua função no SEP

Segundo Mello (2012), as subestações podem acumular mais de uma das funções relacionadas abaixo:

- SE Transformadora: é aquela que converte tensão para um nível diferente, maior ou menor, podendo ser SE Transformadora Elevadora, cuja função é elevar a tensão, e SE Transformadora Abaixadora têm a função de diminuir o nível da tensão;
- SE Seccionadora, de Manobra ou Chaveamento: é aquela que interliga circuitos sob o mesmo nível de tensão, possibilitando a multiplicação e seccionamento de circuitos, permitindo sua energização em trechos menores e conexão e desconexão de partes do sistema elétrico para manutenções, garantindo a segurança do sistema;

2.1.1.2 Classificação da SE quanto à sua posição no SEP

A classificação segundo a posição da subestação no sistema elétrico de potência segundo (MEIRELES, 2010), podem ser:

- Transmissão: subestação que utiliza grandes transformadores para elevar a tensão do gerador até tensões extremamente altas, para transmissão de longa distância através das linhas de transmissão, ou seja, destinada ao transporte de energia com tensão igual ou superior de 230kV;
- Distribuição de Alta Tensão: subestações ligadas às linhas de distribuição de alta tensão que são destinadas ao transporte da energia elétrica para as subestações de distribuição, bem como, ao atendimento aos grandes consumidores, com tensão se operação entre 69kV e 230kV;
- Distribuição de Média Tensão e de Baixa Tensão: subestação que recebe energia das linhas de distribuição e a transferem, com abaixamento de tensão, para as redes de distribuição que, por sua vez, alimentam os consumidores com tensões abaixo de 69kV.

2.1.1.3 Classificação da SE quanto à sua tensão de operação

As subestações podem ser classificadas quanto ao nível de tensão conforme abaixo (MEIRELES, 2010):

- Baixa Tensão: tensão menor ou igual a 1000V;
- Média Tensão: tensão entre 1000V e 35kV;
- Alta Tensão: tensão entre 35kV e 230kV;
- Extra Alta Tensão: tensão entre 230kV e 800kV;
- Ultra-Alta Tensão: tensão acima de 800kV.

2.1.1.4 Classificação da SE quanto ao tipo instalação

As condições climáticas e os possíveis perigos de poluição do ar devem ser considerados a fim de que seus equipamentos sejam preparados pra tais condições. Neste sentido, segundo Mello (2012), as subestações são classificadas como:

- SE Externa ou Ao Tempo: é aquela na qual os equipamentos são instalados ao tempo, expostos às condições desfavoráveis de temperatura, chuva, poluição, vento, etc., como consequência, o desgaste dos materiais, a redução da eficácia do isolamento e o aumento das manutenções;
- SE Interna ou Abrigada: é aquela em que os equipamentos são instalados ao abrigo do tempo, podendo tal abrigo consistir de uma edificação ou de uma câmara subterrânea.

2.1.1.5 Classificação da SE pelo tipo construtivo dos equipamentos

Segundo Eletrobrás 82 (1982), as subestações podem ser classificadas pelo tipo construtivo dos equipamentos, conforme abaixo:

- Convencional: composta por equipamentos independentes que são interconectados na instalação, tendo o ar como meio isolante;
- Compacta: composta por equipamentos isolados a ar que foram compactados, com redução de distância entre eles;
- Cubículo Metálico: composta por equipamentos e suas ligações montados em fábrica, produzindo um único conjunto abrigado;
- Blindada: composta por barramentos e componentes principais cobertos por um invólucro, exigindo um isolamento diferente do convencional (ar);
- Híbrida: composta por partes distintas, caracterizadas por diferentes tipos construtivos de equipamentos.

2.2 EQUIPAMENTOS DAS SUBESTAÇÕES

Os principais equipamentos de uma subestação podem ser agrupados segundo a função que representam no sistema elétrico: transporte, proteção e manobra, medição, compensação de reativos e supervisão e controle.

2.2.1 Equipamentos de transporte de energia

Os equipamentos de uma subestação que se destinam ao transporte da energia são: barramentos e transformadores.

2.2.1.1 Barramentos

O barramento é um componente importante da subestação, pois é responsável por fazer a interligação dos circuitos que entram na subestação, assim como os equipamentos pertencentes a este circuito (SILVA, 2010).

Os barramentos realizam conexões entre os diversos circuitos, podendo ser rígidos (tubos de alumínio) ou flexíveis (cabos de alumínio), conforme a necessidade da subestação. Os condutores rígidos do barramento, Figura 1, possuem como vantagem simplicidade, fácil visualização das configurações de operação, facilidade no acesso para o transformador, entre outras.

Os condutores flexíveis por sua vez, Figura 2, apresentam como vantagem o uso dos mesmos materiais empregados em linhas aéreas e o uso de condutores múltiplos com diâmetro apropriado para reduzir o efeito corona nas extremidades nas subestações (SILVA, 2010).



Figura 1 – Barramento Rígido.

Fonte: [Grantel](#) (2015).



Figura 2 – Barramento Flexível.

Fonte: [Grantel](#) (2015).

2.2.1.2 Transformadores

O transformador Figura 3, é utilizado para elevar a tensão quando da geração para transmissão, baixar a tensão quando da transmissão para a distribuição e mudança de fase (subestação defasadora) (MEIRELES, 2010).

Segundo [Gonçalves](#) (2012), podem ser classificados de diversas maneiras, como: monofásicos (utilizam um núcleo magnético para cada fase do sistema), trifásicos (utilizam somente um núcleo magnético para o acoplamento das três fases), convencional (os enrolamentos primário e secundário são formados por duas bobinas diferentes) e auto-transformadores (os enrolamentos primário e secundário possuem uma única bobina que os compõe).



Figura 3 – Transformador.

Fonte: Grantel (2015).

2.2.2 Equipamentos de proteção e manobra

Os equipamentos de proteção e manobra destinados a minimizar os efeitos produzidos por correntes de faltas causadas por curto-circuito ou sobrecarga, são: disjuntores, relés, chaves seccionadoras, religadores e para-raios.

2.2.2.1 Disjuntores

Os disjuntores Figura 4, podem ser considerados os principais equipamentos de proteção de uma subestação, sendo capazes de trabalhar como dispositivos de manobra, abrindo ou fechando circuitos que estejam operando em condições normais, ou podem ser destinados a interromper circuitos que apresentam condições anormais (MEIRELES, 2010).



Figura 4 – Disjuntor.
Fonte: Grantel (2015).

Seu principal papel no sistema é realizar a interrupção de correntes de falta o mais rápido possível, evitando o máximo de danos causados aos equipamentos por correntes de curto circuito (GONÇALVES, 2012).

2.2.2.2 Chaves

Segundo Gonçalves (2012), as chaves Figura 5, são utilizadas para o seccionamento de circuitos por necessidade operativa, ou isolar componentes, visando à realização de manutenção dos mesmos. Devem ser operadas quando estão desenergizadas evitando que ocorram danos à chave.

As chaves podem ser classificadas de acordo com sua função dentro da subestação, podendo ser: chaves seccionadoras (utilizadas para contornar ou isolar equipamentos da subestação ou manobras para transferência entre barramentos), e chaves de terra (utilizadas para aterrar os equipamentos do sistema que estão em manutenção, linhas de transmissão, barramentos ou bancos de capacitores em derivação).



Figura 5 – Chave Seccionadora.

Fonte: Grantel (2015).

2.2.2.3 Para-Raios

São dispositivos destinados a limitar sobretensões de faltas proveniente do sistema elétrico de potência, ou devido às descargas atmosféricas, com o objetivo de impedir danos aos equipamentos da instalação e segurança das pessoas (MEIRELES, 2010). Os pára-raios Figura 6, são equipamentos muito importantes para o sistema, ajudando a aumentar a sua confiabilidade, economia e continuidade de operação.



Figura 6 – Para-Raios.

Fonte: Grantel (2015).

2.2.2.4 Relés

Os relés Figura 7, tem por finalidade proteger o sistema contra faltas, permitindo através de atuação sobre os disjuntores o isolamento dos trechos de localização das faltas, ou seja, atuam comandando os disjuntores quando da sensibilização por grandezas (frequências, tensões e correntes) de valores superiores ou inferiores causando sobrecargas, falhas transitórias ou permanentes (MELLO, 2012).



Figura 7 – Relé.

Fonte: Grantel (2015).

2.2.3 Equipamentos de medição

Segundo a norma ABNT NBR 6546:1991, os equipamentos de medição como transformadores de potencial e transformadores de corrente destinados a reproduzir em seu circuito secundário, em uma proporção definida e conhecida, uma tensão ou corrente do circuito primário com a relação de fase preservada (GONÇALVES, 2012).

2.2.3.1 Transformadores de Corrente

Os transformadores de corrente possuem a função de suprir de corrente os medidores e os equipamentos de medição e proteção, com valores proporcionais aos dos circuitos de potência, respeitando seus limites de isolamento (MUZY, 2012), ou seja, possui

um enrolamento primário que é ligado em série com o circuito de maior tensão, enquanto o secundário supre os medidores e relés com quantidades de corrente proporcionais ao circuito primário, Figura 8.



Figura 8 – Transformador de Corrente.

Fonte: Grantel (2015).

2.2.3.2 Transformadores de Potencial

Os transformadores de potencial, Figura 9, têm a função de possibilitar a medição de tensão em sistemas de tensão acima de 600V, ou seja, tem a finalidade de isolar o circuito de menor tensão (secundário) do circuito de maior tensão (primário) e reproduzir com fidelidade dos efeitos observados em regime permanente e em regime transitório (MUZY, 2012).



Figura 9 – Transformador de Potencial.

Fonte: Grantel (2015).

2.2.4 Equipamentos de compensação

A compensação reativa traz vários benefícios para os sistemas elétricos dentre os quais destacam-se: maior e melhor aproveitamento do sistema existente, equilíbrio no balanço geração/consumo de potência reativa, fatores de potência ajustados e perfil de tensão adequado (CHAVES, 2007). Dentre os equipamentos utilizados para compensação de reativos em subestações, destacam-se:

2.2.4.1 Banco de Capacitor

A instalação dos bancos de capacitores, Figura 10, tem por objetivo elevar o fator de potência do sistema com intuito de redução do carregamento nos transformadores

das subestações e nos alimentadores, redução das perdas, melhoria na estabilidade do sistema e aumento do nível de tensão da rede (FRAGOAS, 2008).

Segundo Santos e Monte (2009), os bancos de capacitores ligados em derivação são utilizados para compensar as perdas do sistema e garantir níveis seguros de tensão em condições de carregamento elevado. A desvantagem da sua utilização é que a geração de reativos é proporcional ao quadrado da tensão, logo, em uma queda de tensão no sistema, o capacitor em derivação fornecerá uma quantidade menor de reativos exatamente no momento em que o sistema mais necessitará dos mesmos.

Os capacitores em série são utilizados para compensar a reatância indutiva das linhas de transmissão. A energia reativa indutiva da linha é reduzida (compensada) pela energia reativa capacitiva dos capacitores em série. Isso contribui para o aumento do limite de transmissão de potência através da redução das perdas reativas das linhas, além de proporcionar melhoria na estabilidade da tensão (SANTOS; MONTE, 2009).



Figura 10 – Banco de Capacitor.

Fonte: Grantel (2015).

2.2.4.2 Reatores

Em sistemas de potência, os reatores são empregados para controlar as tensões de barramentos em regime permanente e para a redução das sobretensões, além dos surtos de manobra, que são mudanças bruscas no regime energético. Tais equipamentos, Figura 11, são usados também na compensação de reativos ou redução de corrente de curto-circuito (JESUS, 2005). É comum a inserção de reatores nos períodos em que o sistema opera com baixo carregamento, onde as tensões tendem a se elevar, para evitar que ultrapassem os limites aceitáveis dos equipamentos do SEP. Segundo Santos e Monte (2009), os reatores são usados para compensar o efeito da capacitância das linhas de transmissão, evitando sobretensões no final das mesmas, além de limitar a elevação de tensão na abertura de um circuito.



Figura 11 – Reator.

Fonte: Grantel (2015).

2.2.4.3 Compensadores

Segundo Alves (2008), a função do compensador estático, é regular a tensão do barramento, pela compensação de energia reativa e amortecer oscilações dinâmicas de tensão que possam aparecer durante perturbações no sistema, podendo ser operados de forma automática e manual. A potência reativa capacitava de um compensador estático é

gerada a partir de filtros harmônicos, que evitam que as correntes de harmônicos geradas pelos tiristores se propaguem pelo sistema.

A importância de um compensador síncrono é em relação a sua versatilidade, onde automaticamente responde as variações de tensão do sistema, tanto fornecendo como absorvendo reativos e podem ser instalados em subestações mais próximas aos centros consumidores (ALVES, 2008).

2.2.4.4 Equipamentos de Supervisão e Controle

Os equipamentos de Supervisão e Controle de uma subestação, são destinados a coletar informações e transmitir dados do sistema elétrico para os centros de operação. Ao conjunto dos equipamentos (hardware e software) que realizam as funções de supervisão e controle é atribuída a designação de SCADA (Supervisory, Control and Data Acquisition), onde possui funções como: monitoração, comando remoto, alarme, registro de dados, sequência de eventos, gráficos, lógicas de intertravamento, religamento automático e interface homem-máquina (SALIM, 2007).

- **Monitoração:** Apresentação ao operador do estado dos equipamentos presentes em uma subestação (disjuntores, chaves seccionadoras, etc.), além das indicações das medidas relevantes como: potência ativa e reativa, tensão, corrente, frequência, temperaturas dos transformadores, etc.;
- **Comando remoto:** manobra dos equipamentos da subestação a partir da sala de controle, por meio de interface gráfica de comando;
- **Alarme:** Informação ao operador da alteração de um status importante para determinação do perfeito funcionamento da subestação;
- **Registro de dados:** Para uma análise pós operativa é necessário que todas as informações referentes às medições, indicações de estados, alarme e ações devem ser armazenadas;
- **Sequência de Eventos:** Registro das informações dos relés do sistema de proteção e dos comandos de abertura e fechamento dos disjuntores e chaves seccionadoras;
- **Gráficos de tendência:** Informações de grandezas analógicas com suas respectivas variações no tempo;
- **Lógicas de intertravamento:** Em função da topologia das subestações, efetuam o bloqueio ou a permissão de ações de comando nos equipamentos;
- **Religamento automático:** Algoritmo de controle que tenta restabelecer automaticamente a topologia em caso de abertura de disjuntor;
- **Interface homem-máquina:** Recursos gráficos de operação que permitem a verificação dos estados dos equipamentos, medições realizadas e a sinalização de alarmes.

2.3 PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO EM SUBESTAÇÕES

Em uma subestação de energia elétrica a Proteção Contra Incêndio se destaca como uma forma de reduzir os riscos e perdas de equipamentos, proteger as instalações elétricas, assegurar a continuidade operacional do sistema e salvar vidas. Portanto, é necessária uma análise detalhada do ambiente a ser protegido e determinar as melhores condições de proteção, com a utilização dos melhores sistemas de proteção contra incêndio de acordo com sua viabilidade, a fim de minimizar os danos ou até mesmo extingui-los.

Com o objetivo de proteger as pessoas e os bens materiais, existem legislações específicas, normas técnicas, portarias e Resoluções do Corpo de Bombeiros, no qual orientam os projetos de prevenção contra incêndio das subestações. Cabe salientar, que cada estado brasileiro possui a sua legislação na qual determina os parâmetros a serem seguidos.

Segundo ABNT, NBR 13.231 (2014), em função da análise de risco de incêndio, códigos aplicáveis e da importância da subestação no sistema de energia, as diretrizes de prevenção e proteção contra incêndio podem ser avaliados levando em consideração aspectos específicos dos requisitos de projeto, arranjo físico e modo de operação da subestação, podendo ainda exigir sistemas de proteção complementares.

A análise dos riscos de incêndio deve ser realizada por projetistas da subestação, especialistas na proteção contra incêndio e pessoal de operação. Esse processo deve ser usado em subestações novas e existentes para determinar o nível apropriado de proteção contra incêndio e minimizar suas consequências, (ABNT, NBR 13.231, 2014).

2.3.1 Riscos de Incêndio

Os registros históricos de incêndios em subestações também ajudam a análise dos riscos de incêndio. A seguir apresentam-se os riscos de incêndio conhecidos e encontrados em subestações.

2.3.1.1 Óleo Mineral

Segundo ABNT, NBR 13.231 (2014), o óleo mineral constitui um dos principais riscos de incêndio em uma subestação de energia, ao fato de ser um líquido isolante de uso predominante em equipamentos elétricos, tais como: transformadores e reatores (buchas, radiadores, conservadores, comutadores de derivação em carga e bombas de resfriamento), transformadores de instrumentos, reguladores de tensão, disjuntores, cabos (isolados a óleo, tubulares, caixas e juntas de transição), capacitores, sistemas de óleo lubrificantes (para compensadores síncronos) e casas de bombas.

Atualmente, o óleo mineral é o fluido mais utilizado em escala industrial para aplicação em transformadores, que consiste no modelo com sistema de refrigeração através da circulação de óleo. A função do óleo é promover o isolamento dielétrico entre os componentes internos do transformador quando em operação e proporcionar refrigeração do transformador por meio da troca de calor, tendo como características o bom desempenho devido ao seu custo e propriedades físico-químicas (SOARES, 2015).

Nos transformadores o desgaste químico deste material isolante é monitorado por

ensaios químicos e físico-químicos em laboratórios especializados, sendo que este acompanhamento é realizado por praticamente todas as concessionárias do setor elétrico, o que garante a eficácia na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, (UHREN, 2007).

Ainda segundo Uhren (2007), a partir do momento em que as propriedades físico-químicas do óleo mineral isolante em uso no transformador não atenderem mais as características de dielétrico, ou seja, quando o fluido apresentar um alto grau de deterioração oxidativa e térmica, este é substituído por um novo fluido ou submetido a um processo regenerativo.

A eficácia da utilização do óleo mineral como material isolante é reconhecida tanto no ponto de vista técnico, quanto no ponto de vista econômico, porém, do ponto de vista ambiental no caso de acidentes com vazamentos e derramamentos dos óleos minerais isolantes, podem ocorrer impactos ambientais significativos para a sociedade e econômicos para a concessionária, (SILVA, 2013).

Existem vários líquidos isolantes alternativos com melhores propriedades de segurança contra incêndio, desenvolvidos com pontos de fulgor e combustão mais altos, sendo reconhecidos como dielétricos que reduzem os riscos de incêndios em comparação ao óleo mineral. Esses fluidos são um meio eficaz de reduzir o risco de incêndio em uma subestação, sendo eles: óleo vegetal isolante (éster natural), éster sintético, hidrocarbonetos de alto peso molecular e silicone (ABNT, NBR 13.231, 2014).

Visando eliminar ou minimizar os impactos ambientais em caso de vazamento, a utilização de fluidos à base de óleo vegetal, possuem características biodegradáveis e renováveis sendo denominados de fluidos ecologicamente corretos. Além disso, estes fluidos preenchem todos os requisitos de um fluido isolante de alta temperatura, com a vantagem de serem provenientes de matérias primas renováveis (UHREN, 2007).

2.3.1.2 Líquidos e gases inflamáveis e combustíveis

Segundo ABNT, NBR 13.231 (2014), outras fontes de combustível que podem ser encontradas em subestações, como:

- Compensadores síncronos refrigerados a hidrogênio;
- Oxiacetileno para fins de manutenção e construção;
- Casa de baterias;
- Gás hidrogênio gerado no carregamento de baterias;
- Aquecimento gerado por curto-circuitos ou avalanches térmicas;
- Geradores a diesel ou gás, e células combustíveis para energia elétrica de emergência;
- Células de aquecimento a gás;
- Armazenamento, manuseio e distribuição de líquidos inflamáveis e combustíveis.

2.3.1.3 Riscos de Exposição ao fogo

De acordo ABNT, NBR 13.231 (2014), não apenas os equipamentos da subestação podem ficar comprometidos devido à exposição ao fogo proveniente de outras fontes, mas também outros ativos críticos, tais como:

- Estruturas auxiliares: áreas de escritório, armazenamento, edificações para grupos geradores, áreas de armazenamento de materiais perigosos;
- Qualquer edificação, sala ou estrutura de suporte de construção combustível;
- Armazenamento de materiais combustíveis;
- Vegetação (florestas, cervas vidas e arbustos próximos).

2.3.1.4 Riscos em subestação interna

As subestações internas apresentam um conjunto único de riscos que requerem um nível maior de proteção ao fogo segundo ABNT, NBR 13.231 (2014), devido as seguintes razões:

- Qualquer fumaça e outros subprodutos de combustão encerrados na edificação podem criar um risco de exposição aos ocupantes do edifício, pessoal de emergência e possivelmente uma exposição corrosiva aos equipamentos críticos da subestação;
- Calor (incidência de chama, exposições radioativas e convectivas) e rajadas de pressão provenientes de fogo e explosões contidos dentro da estrutura podem expor ao dano a estrutura e/ou o equipamento;
- A saída dos ocupantes da edificação, acesso ao pessoal de emergência para combate manual ao incêndio e operações de resgate podem ficar comprometidos devido a fumaça, calor, dano estrutural e distâncias de percurso.

2.3.1.5 Perdas de ativos críticos

De acordo com a ABNT, NBR 13.231 (2014), podem impactar o funcionamento da subestação, se destruídos ou danificados, os seguintes componentes:

- Salas e equipamentos de controle, proteção, comunicação, automação e chaveamento;
- Áreas de distribuição de cabos, canaletas, galerias e túneis;
- Geradores a diesel ou gás, e células combustíveis para energia elétrica de emergência;
- Baterias e sistema de carregamento;
- Estações de serviço de transformadores (seco e a óleo);

- Transformadores e reatores de potência;
- Disjuntores;
- Compensadores;
- Estruturas de barramento e equipamento auxiliar.

2.3.1.6 Manutenção e Construção

Atividades de manutenção e construção podem criar condições adicionais de risco em uma subestação. Segundo ABNT, NBR 13.231 (2014), os seguintes equipamentos e atividades podem apresentar condições de alto risco, sendo eles:

- Equipamentos de processamento de óleo;
- Transformadores e subestação móveis;
- Obras e reformas da subestação e/ou equipamentos;
- Pintura, trabalho a quente (operações de corte e solda);
- Atividades de manutenção;
- Maior exposição ao fogo e a cargas de combustível como: construção temporária ou permanente, cargas combustíveis e inflamáveis provisórias (tambores de combustível, trapos, madeiras), armazenamento de materiais e equipamentos, escritórios móveis e veículos estacionados.

2.4 NORMAS APLICADAS

A prevenção contra incêndio é um conjunto de medidas com o intuito de evitar que os sinistros aconteçam, mas não havendo essa possibilidade, que sejam mantidos sob controle, evitando a propagação e facilitando o combate. Com o objetivo de proteger as pessoas e os bens materiais, existem legislações, normas técnicas, resoluções do Corpo de Bombeiros, que norteiam os projetos de prevenção e proteção contra incêndio, porém cada estado brasileiro determina os parâmetros a serem seguidos, cada vez que for construída uma subestação de energia.

2.4.1 Eletrobrás - Série GRIDIS 14

A série GRIDIS 14 - Critérios para Proteção Contra Incêndio em Subestações tem o objetivo de estabelecer e recomendar critérios sob o aspecto de Segurança do Trabalho que visa eliminar ou neutralizar os riscos de incêndio e definir medidas preventivas e combate a incêndio a serem consideradas na elaboração de projetos de subestações de energia.

Em relação a proteção contra incêndio em subestações, na elaboração destes critérios, levou-se em conta requisitos mínimos exigidos pelas normas e legislações vigentes em função da carga de incêndio, riscos envolvidos e viabilidade econômica, deixando

a critério de cada empresa do setor de energia elétrica a complementação da proteção contra incêndio julgada necessária.

2.4.1.1 Proteção Contra Incêndio das Edificações

A Proteção Contra Incêndio mínima das edificações segundo **Gridis 14** (1986), é constituída por sistemas de extintores de incêndio, dispositivos de segurança e sinalização de segurança, que são dimensionados de acordo com os seguintes critérios:

- Sala de controle, sala de baterias, sala de relés: devem ser empregados extintores tipo CO2 com capacidade de 6kg;
- Casa do Grupo Gerador de Emergência, casa de bombas, depósitos e sala de cabos: devem ser empregados extintores de incêndio tipo Pó químico seco, com 6 e 12kg de capacidade, desde que não cause danos secundários aos equipamentos e painéis;
- Guarita da subestação: deve ser instalado um extintor compatível com os riscos do local;
- Escritório da subestação: deve ser empregado extintores tipo água-gás com 10 litros de capacidade de carga em locais com classe de incêndio A;
- Paredes corta-fogo: devem ser utilizadas para separar a sala de baterias de outros compartimentos da casa de comando e separar os tanques de combustíveis dos motores do grupo gerador de emergência;
- Sinalização de segurança: constituída por placas instaladas em função do tipo de risco existente nos diferentes compartimentos das edificações;

Complementando a proteção indicada acima, cada empresa do setor elétrico a seu critério pode empregar sistemas fixos automáticos de proteção contra incêndio, desde que um estudo de viabilidade econômica os justifique.

2.4.1.2 Proteção Contra Incêndio de Equipamentos e Instalações de Pátio

A proteção mínima contra incêndio de equipamentos e instalações do pátio segundo Gridis 14 (1986), devem:

- Sistema móvel: Extintores portáteis e sobre rodas;
- Dispositivos de Segurança: Bacia de contenção de óleo, sistema de drenagem de óleo e paredes corta-fogo;
- Sinalização de Segurança: Placas de segurança.

A proteção mínima contra incêndio banco de transformadores e reatores de potência, devem ser:

- Dois extintores de pó químico seco sobre rodas com capacidade de carga de 50kg;

- Bacia de contenção e drenagem de óleo;
- Paredes Corta-fogo com a finalidade de separar os riscos;
- Sinalização de segurança por placas.

A proteção mínima contra incêndio para os disjuntores são:

- Extintores de pó químico seco-PQS sobre rodas com capacidade de carga de 50kg;
- Bacia de contenção e drenagem de óleo;
- Paredes Corta-fogo somente se necessário.

A proteção mínima contra incêndio para os cubículos, considera:

- Extintores de pó químico seco-PQS sobre rodas com capacidade de carga de 12kg;
- Sinalização de segurança por placas.

2.4.1.3 Proteção Contra Incêndio Complementar

Dependendo dos riscos envolvidos, da localização, do arranjo físico, bem como do tipo e da importância da subestação, como complementação, podem ser instalados sistemas fixos de proteção contra incêndio, para proteção dos equipamentos e instalações de pátio, desde que um estudo prévio de viabilidade técnica e econômica os justifique.

Segundo Gridis 14 (1986), os sistemas fixos de proteção contra incêndio que podem ser utilizados, são os seguintes:

- Sistema de água nebulizada: indicado a proteção dos transformadores e reatores de potência, tanque de óleo isolante e disjuntores;
- Sistema de drenagem e agitação de óleo com nitrogênio: indicado a proteção dos transformadores e reatores de potência;
- Sistema de gás carbônico CO₂: indicado a proteção da sala de tratamento de óleo isolante, compensadores síncronos, transformadores, disjuntores e outros equipamentos que apresentarem risco de incêndio em subestações abrigadas;
- Sistema Halon: indicado a proteção da sala de tratamento de óleo isolante, compensadores síncronos, transformadores, disjuntores e outros equipamentos onde há risco de incêndio em subestações abrigadas;
- Sistema de Hidrantes: indicado no combate ao incêndio de transformadores e reatores de potência, tanques de óleo isolante, tanques de óleo combustível, disjuntores e outros, sendo utilizado esguicho tipo neblina devido a condutividade da água.

Não recomenda-se a instalação de sistema de hidrante para proteção da casa de controle, pelos danos que a água sob pressão pode causar nos painéis e equipamentos sensíveis no local (GRIDIS 14, 1986).

2.4.2 ABNT NBR 13231:2014

A norma brasileira ABNT NBR 13231:2014 - Proteção contra incêndio em SEs, tem como intuito aprimorar procedimentos e incorporar tecnologias seguras de prevenção e combate a incêndio, incluindo aspectos relacionados ao risco ambiental na proteção contra incêndio. Esta norma aplica-se para subestações do tipo externa, interna, convencional e compacta e estabelece os requisitos mínimos exigidos para proteção contra incêndio em subestações elétricas, sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia (ABNT, NBR 13.231, 2014).

2.4.2.1 Requisitos de proteção contra incêndio para edificações

Segundo ABNT, NBR 13.231 (2014), os requisitos mínimos de proteção contra incêndio em edificações devem ser:

- Arranjo físico da subestação

A proteção mínima exigida prevê a separação física entre os equipamentos e edificações que apresentam considerável risco de incêndio e explosão, atendendo às condições de isolando, separação dos riscos de incêndio e vias livres de acesso de equipamentos e viaturas para combate a incêndio.

- Instalações elétricas

As instalações elétricas devem ser de acordo com as ABNT NBR 5410, ABNT NBR 14039 e NR 10.

Segundo a [ABNT NBR 5.410](#) (2004), esta norma estabelece condições que devem ser satisfeitas pelas instalações elétricas de baixa tensão, garantindo a segurança das pessoas, dos animais, funcionamento adequado das instalações e conservação dos bens.

De acordo com a ABNT NBR 14.039 (2003), de modo a garantir segurança e continuidade dos serviços, esta norma estabelece um sistema para o projeto e execução de instalações elétricas de média tensão (1,0kV a 36,2kV). Esta norma abrange instalações alimentadas pelas concessionárias, instalações alimentadas por própria fonte de energia em média tensão, instalações de geração, distribuição e utilização de energia elétrica.

A NR-10 - Segurança em instalações e serviços em eletricidade estabelece que os requisitos mínimos para a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, devem garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que estejam em contato com instalações elétricas e serviços com eletricidade ([BRASIL](#), 2015).

- Cabos, eletrodutos e bandejas

Os cabos de força e controle devem ser do tipo autoextinguível, livres de halogênio, baixa emissão de fumaça e gases tóxicos. Da mesma forma, os eletrodutos e bandejas e outros suportes devem ser de material autoextinguível, protegidos da umidade, não apresentar cantos vivos que danifiquem os cabos e estar a uma distância suficiente para evitar a propagação de chama.

- Aberturas para passagem de cabos

Visando evitar a transferência de gases, calor e chamas de uma ambiente para o outro, as aberturas para passagem dos cabos em pisos, paredes e tetos devem ser seladas de forma a promover a vedação total corta-fogo, considerando uma resistência mínima de 2h ao fogo.

- Canaletas de cabos

As canaletas devem ser providas de meio isolante para evitar a penetração de líquidos, afastadas de equipamentos imersos em líquido isolante, possuir tampas e suporte de cabos em material incombustível. É necessário canaletas distintas previstas para abrigar cabos e tubulações.

- Galerias, salas e túneis de cabos

As salas, galerias e túneis devem possuir sistemas de iluminação de emergência, pé-direito entre o piso e teto de no mínimo 2 metros, e permitir o acesso de um homem equipado com aparelho de respiração autônoma, desocupação imediata e extinção de incêndio com a utilização de extintores portáteis.

- Sistemas de Climatização

Deve-se levar em consideração para a realização do projeto dos sistemas de climatização (ar-condicionado, ventilação, aquecimento e exaustão) os riscos de incêndio nas áreas específicas e projetados de forma a serem desligados automaticamente pela presença de fumaça, com intuito de prevenir a propagação de fumaça pela edificação.

- Edificações de controle e apoio operacional

Em função da análise de risco de incêndio e da importância da subestação, os ambientes da casa de controle e das edificações de apoio operacional devem ser protegidos contra incêndio por um sistema de extintores e vir a ter sistemas de proteção complementar caso seja necessário.

- Sala de controle

A sala de controle deve possuir uma área mínima de escritório, pois deve ser reservada para equipamentos de controle, medição, supervisão, telemetria e comunicação, equipamentos de distribuição de baixa tensão, cubículos de manobra e relés. Deve estar localizada também na sala de controle os quadros de supervisão e comando dos sistemas fixos de proteção contra incêndio da subestação e estes quadros devem possuir sinalização luminosa e sonora diferente de outras existentes no local.

- Área de instalação de baterias

A área da instalação de baterias que atende todos os requisitos de ventilação é considerada sem risco de explosão, dessa forma, a sala de baterias deve possuir um sistema de ventilação mecânica suficiente para prevenir ou manter o acúmulo de hidrogênio a menos de 1% do volume total da área da bateria. Devem ser utilizados dispositivos de segurança para prevenir falhas de funcionamento do carregador e evitar situações onde a falha de funcionamento do carregador acarrete a geração de um volume de gases maior do que o previsto no dimensionamento da ventilação.

- Casa de Grupo Motogerador de emergência

Próximas ao grupo motogerador deve ser prevista canaletas, drenagem de óleo combustível e ventilação natural, podendo ser completada por ventilação forçada, de modo a impedir que a temperatura atinja valores elevados e que haja o acúmulo de vapores combustíveis. Deve ser instalado em local externo da edificação o tanque de óleo combustível para alimentação do motogerador, de modo sinalizado, protegido contra interferências, drenagem, suspiro, aterramento e meios de coleta de resíduos de vazamento.

2.4.2.2 Requisitos de proteção contra incêndio para equipamentos e instalações de pátio

As consequências de incêndios e explosões em equipamentos de pátio de uma subestação, deve-se a grande quantidade de energia envolvida e as sobrepressões decorrentes de arcos elétricos internos. Deve ser dada atenção ao uso de equipamentos com proteção adequada e ao projeto das obras civis, para que o local da eventual evacuação de óleo e gases em chamas não esteja localizado de forma que haja o realimento do fogo (ABNT, NBR 13.231, 2014).

As medidas mínimas necessárias para proteção contra incêndio em equipamentos de pátio e instalações, segundo ABNT, NBR 13.231 (2014), devem ser:

- Transformadores e reatores

Os riscos de incêndio associados aos transformadores dependem de alguns fatores como: potência e tensão nominal, tipo e volume de líquido isolante, proximidade, exposição e tipo de equipamentos adjacentes. Os transformadores podem ser de dois tipos: imersos em líquido isolante e tipo a seco, definidos conforme seu ponto de combustão e seu comportamento quando expostos ao fogo, respectivamente.

Os transformadores devem ser instalados preferencialmente externos às edificações, considerando os seguintes meios de proteção contra incêndio: distâncias mínimas de transformadores a outros equipamentos e edificações, caso seja necessário a utilização de paredes tipo corta-fogo, havendo necessidade de proteção adicional por sistemas fixos automáticos.

Caso os transformadores não puderem ser instalados externamente, devem ser considerados os seguintes meios de proteção contra incêndio: providenciar edificação ou sala especificamente para os transformadores, considerar aberturas normalmente fechadas e com mesma classe de resistência ao fogo, distância mínima de separação das paredes necessários pelos requisitos de ventilação e acesso para manutenção.

- Parede tipo corta-fogo

Quando as distâncias mínimas de separação do tipo de transformador ou líquido isolante não puderem ser atendidas, deve-se providenciar o uso de paredes corta-fogo, com o objetivo de impedir a propagação de incêndio de um equipamento a uma edificação ou a outro equipamento.

As paredes corta-fogo devem atender os seguintes requisitos: distância mínima de separação de 0,5 metros entre um equipamento, suportar 25% da carga de vento total de projeto à temperatura máxima de exposição ao fogo, ser construídas com bloco de concreto que suportam 2h de exposição ao fogo, não pode atingir edificação ou equipamento em caso de queda, não pode permitir a passagem de calor e chamas em locais próximos e impedir rotas de fuga.

- Material de revestimento do pátio da subestação

O tipo de material a ser utilizado no revestimento do pátio da subestação pode impactar o risco de incêndio criado pelo nivelamento do terreno, pois o uso de materiais duros (superfície impermeável) permite que a chama do óleo mineral se alastre, já o uso de pedra britada como revestimento ajuda a minimizar ou suprimir um incêndio. A camada de brita deve atender os requisitos do sistema de aterramento da subestação, receber manutenção periódica para remoção de materiais orgânicos ou ervas daninhas.

- Sistema de Contenção de Líquido isolante

Os requisitos básicos estabelecidos para o sistema de contenção de líquido isolante considera os aspectos de proteção e redução do risco de incêndio com intuito de prevenir danos ambientais. O uso do sistema de contenção em equipamento imersos em óleo isolante permite reduzir a área de derrame e incêndio, área de limpeza e restauração após o evento.

Os seguintes fatores devem ser considerados no projeto e arranjo de um sistema de contenção: tipo e volume do líquido isolante contido no equipamento, volume dos sistemas fixos ou manuais de supressão de incêndio, área disponível e condições do solo.

Para sistema de contenção para equipamentos instalados externamente, devem atender os seguintes requisitos: ser impermeável (incluindo tubulação, dutos, interligações e caixas), ser projetados de forma que o fogo de um equipamento não se alastre para outro e ser construído de material que suporte altas temperaturas mantendo sua estanqueidade e segurança estrutural.

Sistemas de contenção de líquido isolante em instalações internas, devem atender os seguintes requisitos: ser impermeável (incluindo paredes, pisos, tubulações, dutos, interligações e caixas), ser construído de materiais que suportam altas temperaturas mantendo sua estanqueidade e segurança estrutural, ter coleta de óleo projetados de forma que o fogo de um equipamento não alcance o outro, ter drenagem do óleo derramado e água do sistema de proteção fixo automático (contenção fora da edificação) e ter dispositivo de supressão de chamas.

2.5 EQUIPAMENTOS E SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO

Os equipamentos e sistemas de combate a incêndio, tem por objetivo proteger as instalações e assegurar a continuidade operacional da instalação. A proteção contra incêndio em uma subestação deve ser projetada e instalada levando em consideração à carga combustível de incêndio, os riscos envolvidos, o arranjo físico dos equipamentos, classe de ocupação dos riscos e tipo de construção, além de combater de forma imediata todo incêndio que se produzir no equipamento ou instalação da subestação e atender as recomendações das normas de segurança do trabalho e Corpo de Bombeiros local. (GRIDIS 14, 1986).

2.5.1 Sistema de Extintores de Incêndio

O extintor de incêndio é um equipamento de acionamento manual, constituído de recipiente contendo o agente extintor destinado a combater os princípios de incêndio, instalados isoladamente ou fazendo parte de um conjunto de instalações (ABNT NBR 12.693, 1993).

Os extintores podem ser classificados dependendo de seu agente extintor de acordo com Gridis 14 (1986) em quatro tipos principais, conforme descrito abaixo:

- Extintores Tipo Água-Gás: São extintores com carga a base de água que utilizam o gás carbônico ou nitrogênio como agente propulsor, produzindo o encharcamento e resfriamento dos materiais em combustão, com a finalidade de combater os princípios de incêndio dos materiais da Classe A. Como adotado padrão em subestações possuem capacidade de 10 litros de água.
- Extintores Tipo Espuma Química: Seu agente extintor é a espuma química, que resulta da reação química entre sulfato de alumínio e bicarbonato de sódio, causando abafamento em incêndios Classe A e B. Seu uso vem sendo eliminado tendo em vista seu baixo nível de desempenho e eficiência.
- Extintores Tipo Gás Carbônico: Atua por abafamento e seu agente extintor é o gás carbônico, podendo ser utilizado para extinção de princípios de incêndio das Classes A e B, e por ser mau condutor de corrente elétrica possui ótima utilização ao combate de incêndio de materiais Classe C. Como adotado padrão em subestações possuem capacidade de 6 a 20 kg de carga de dióxido de carbono.
- Extintores Tipo Pó Químico Seco: Utiliza como agente propulsor o nitrogênio ou gás carbônico, e atua com o abafamento rápido das chamas. Pode ser empregado sem restrições no combate ao princípio de incêndio dos materiais Classe B e C. Como adotado padrão em subestações possuem capacidade de 4, 6, 12 e 50 kg de carga.

A sinalização dos locais onde estão instalados os extintores deve ser feita através de marcação de piso, parede, coluna ou teto, que possibilite a localização da unidade extintora à distância, com fácil acesso e onde o risco de bloqueio pelo fogo seja menor (GRIDIS 14, 1986).

2.5.2 Sistemas Fixos de Proteção Contra Incêndio

Os sistemas fixos de proteção contra incêndio em subestações são constituídos por sistema de hidrante, sistema de água nebulizada, sistema de drenagem e agitação do óleo, complementados por dispositivos de segurança (GRIDIS 14, 1986).

- Sistema de Água Nebulizada

A composição do sistema de água nebulizada, basicamente é constituída por uma fonte confiável de suprimento de água (reservatório elevado, ou tipo cisterna com estação de bombeamento), estação de bombeamento de água com até duas bombas de incêndio (acionada por motor elétrico ou a diesel), tanque hidropneumático com bomba de compensação e pressurização, tubulação e suportes, válvulas dilúvio, anéis de distribuição dos bicos de nebulização, sistema automático de detecção e painel de comando, sinalização e alarme (GRIDIS 14, 1986).

O objetivo da aplicação do sistema de água nebulizada sobre equipamento em chamas é limitar a absorção de calor a um nível que evite danos, falhas e propagação do incêndio. O sistema pode ser utilizado com os seguintes propósitos: prevenção de incêndio, extinção de incêndio, proteção contra exposição e controle de combustão (ABNT NBR 8.674, 1984).

De acordo com Gridis 14 (1986), na utilização do sistema de água nebulizada deve-se levar em conta o tipo do equipamento, os riscos envolvidos, a localização do arranjo físico da subestação, sua importância operacional e os aspectos econômicos envolvidos.

É recomendado sua utilização para combate a incêndio das Classes B e C, proteção dos bancos de transformadores e reatores de potência, banco de transformadores para o serviço auxiliar, disjuntores GVO e tanques de óleo isolante (GRIDIS 14, 1986).

- Sistema de Drenagem e Agitação do Óleo

O sistema de drenagem e agitação do óleo em transformadores e reatores de potência fundamenta-se na utilização da própria massa de óleo isolante do equipamento protegido, para resfriamento da camada superior do óleo quando atinge o ponto de combustão pela agitação, através da injeção de nitrogênio (GRIDIS 14, 1986).

Basicamente, o objetivo desse sistema é combater automaticamente incêndios em transformadores e reatores de potência. Segundo Gridis 14 (1986), esse sistema é constituído pelos seguintes componentes: cilindros de nitrogênio, tubulações e suportes, sistema automático de detecção e comando, válvulas de injeção de nitrogênio, dispositivos de comando local e remoto, painel de comando e sinalização e alarme e recipiente de drenagem do óleo.

- Sistema de Gás Carbônico de Inundação Total

O sistema de gás carbônico por inundação total é uma instalação fixa constituída de cilindros de gás carbônico, tubulação, válvulas, difusores, rede de detecção, sinalização e alarme, com o objetivo de combater o incêndio por abafamento através da descarga

de CO₂. Como vantagem, o gás carbônico não produz corrente elétrica, sendo indicado para o combate a incêndio Classe C, contudo, como desvantagem a produção de névoa no ambiente que limita a visibilidade e provoca a redução do oxigênio livre no ambiente, causando um ambiente confinado (GRIDIS 14, 1986).

Em área normalmente ocupada, protegida pelo sistema fixo de CO₂, deve ser instalada uma válvula de bloqueio mecânica no acesso principal, para evitar descargas acidentais na presença de pessoas (NPT 026, 2001).

Segundo Gridis 14 (1986), o sistema de gás carbônico é constituído dos seguintes componentes: baterias de cilindros de CO₂ (principal e reserva), coletor de descarga, tubulação de distribuição, válvulas direcionais de alívio e de segurança, difusores de CO₂, sinalização e alarmes, sistema automático de detecção, painel de comando, instrumentação e acessórios. O principal objetivo desse sistema é proteger equipamentos elétricos e eletrônicos contra risco de incêndio.

- Sistema de Halon de Inundação Total

Segundo Gridis 14 (1986), o conceito do sistema de halon é muito similar ao sistema de gás carbônico, com a diferença que utiliza o halon 1301 como agente extintor. Como vantagens específicas a esse sistema temos: não produz névoa e permite visibilidade normal, permite maior compactação (acondicionamento em cilindros menores), não resfria o ambiente ao se expandir e sua concentração final requerida para abafar o incêndio é inferior ao limite mínimo de toxidez (pessoas presas acidentalmente podem respirar normalmente).

As mesmas considerações feitas para o sistema de gás carbônico como sua instalação, composição do sistema e objetivo da sua utilização, podem ser consideradas para o sistema halon.

- Sistema de Hidrante

O sistema de hidrante é utilizado para proteger os riscos existentes nos equipamentos e instalações de pátio, e constituído basicamente pelos seguintes equipamentos: reservatório de água, estação de bombeamento de água com uma ou duas bombas (acionado por motor elétrico ou diesel/gasolina), tanque hidropneumático, hidrantes, armários para mangueiras de incêndio, tubulações, suportes, esguichos de neblina variável, painel de comando, sinalização e alarme (GRIDIS 14, 1986).

Segundo Gridis 14 (1986), o sistema possui como vantagens a extinção do fogo por abafamento, resfriamento e encharcamento e como principal desvantagem a condução de eletricidade quando em forma de jato sólido. Na casa de controle (salas de controle, comunicações e relés), não recomenda-se a proteção por sistema de hidrantes e sim por sistemas de extintores de incêndio devido sua carga de incêndio e características das instalações.

- Sistema de Detecção, de Sinalização e Alarme

Segundo Gridis 14 (1986), o sistema é composto por detectores de incêndio, acionadores manuais ou automáticos, alarme sonoro e luminoso, supervisão no painel

central de comando e possui como objetivo principal detectar e sinalizar princípios de incêndio e anormalidades nas instalações da subestação, possibilitando uma ação corretiva o mais rápido possível.

3 METODOLOGIA

Este trabalho tem como estudo de caso, a exigência do Corpo de Bombeiros para o uso do Sistema de Hidrante sob comando de operador para Combate e Proteção Contra Incêndio da Subestação Olímpica 138/13,8kV, Figura 12. A implantação da subestação teve em um primeiro momento como objetivo, o fornecimento de energia elétrica para o Parque Olímpico, construído na Barra da Tijuca - Rio de Janeiro para os Jogos Olímpicos de 2016, e no futuro a região vizinha.



Figura 12 – Perspectiva Geral da Subestação Olímpica 138/13,8kV.

Fonte: Grantel (2015).

3.1 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A Subestação Olímpica é uma subestação transformadora de alta (138 kV) para média tensão (13,8 kV), com potência total de 120 MVA. Possui três transformadores trifásicos (138/13,8 kV de 40 MVA cada), isolados a óleo vegetal, 51 cubículos de 13,8 kV, 6 conjuntos de bancos de capacitores, além de sistema digital para proteção e automação. Permitindo que sua estrutura seja mais compacta, possui 3,875 m² e altura do porão ao topo de 14,4 metros, construída em concreto pré-moldado, cabeamentos subterrâneos, e possui dois barramentos encapsulados e isolados a gás, ou seja, uma Subestação Compacta Blindada Isolada a Gás, que neste contexto é identificada por GIS (Gas Insulated Substation).

As subestações isoladas a gás (GIS) Figura 13, são aquelas em que os equipamentos de seccionamento, manobra e medição em alta tensão são encapsulados em gás SF₆, cujas propriedades dielétricas são extremamente superiores ao ar, o que implica, que as distâncias elétricas necessárias entre fases podem ser muito reduzidas quando comparadas à subestação convencional com isolamento em ar. O gás comumente utilizado no isolamento é o SF₆, hexafluoreto de enxofre, que possui como vantagens, ser transparente, inodoro, não inflamável, estável, inerte e não se degrada pela ação do tempo (MEIRELES, 2010).



Figura 13 – GIS (Gas Insulated Substation).

Fonte: Grantel (2015).

A Subestação Olímpica é subdivida em três espaços: o dos barramentos (GIS), o dos transformadores e a sala dos bancos de capacitores e cubículos (de onde saem os ramais que atenderão as instalações do Parque Olímpico), conforme Figura 14.

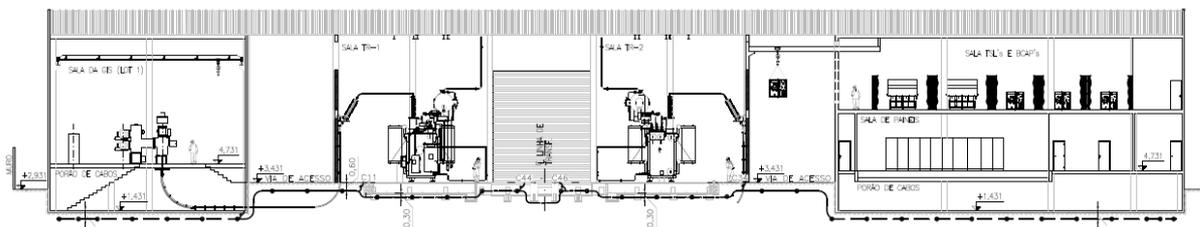


Figura 14 – Subdivisão dos Espaços da Subestação Olímpica 138/13,8kV.

Fonte: Grantel (2015).

Na área blindada de 15kV (Sala dos Cubículos), foi instalados dispositivos (suportes de cabos de força, passarelas sobre os cabos de força, caixas, escapes de emergência para pessoas, etc.) que permitam a passagem e distribuição dos cabos de força. Os cabos de controle foram dispostos em compartimentos isolados dentro dos cubículos totalmente separados dos cabos de força e demais componentes dos equipamento blindados. As fileiras dos cubículos foram isoladas por paredes de alvenaria e seu pé direito de 2,55 m, atendendo também a condição de distância livre de 1,5 m entre o teto dos cubículos e a cobertura projetada, conforme Figura 15.

Na sala de baterias, foi instalado um equipamento de ar condicionado próprio, para que as baterias que são seladas, fiquem refrigeradas. Esse sistema de refrigeração é monitorado e interligado com o sistema de supervisão da subestação, indicando que a temperatura ambiente não está adequada.

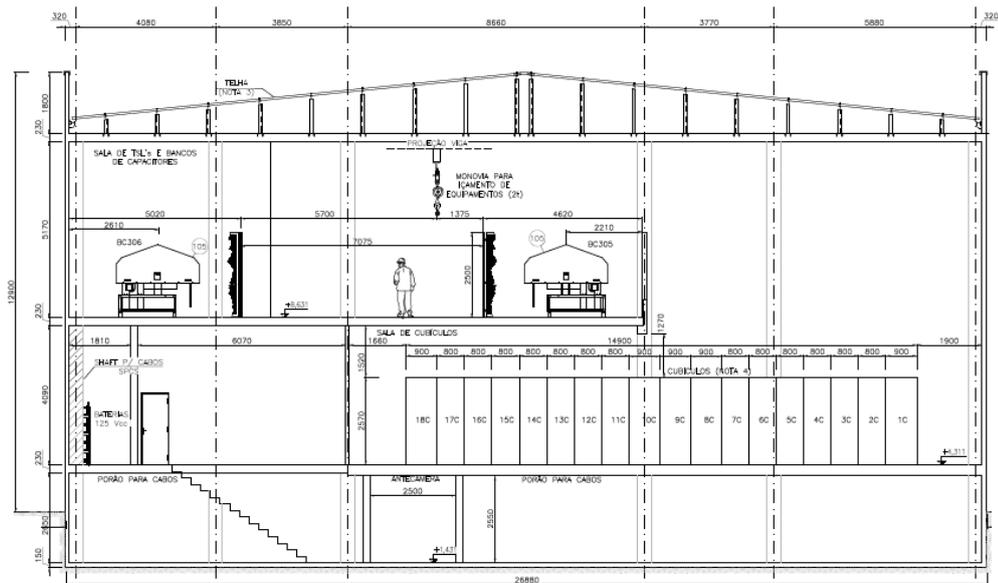


Figura 15 – Corte dos Pavimentos da SE Olímpica 138/13,8kV.

Fonte: Grantel (2015).

A tecnologia Gis permite a redução da área necessária para os arranjos da SE, minimiza a emissão de ruídos, reduz os impactos visuais, além de prover a modernização compatível com as necessidades do empreendimento. Adicionalmente, os equipamentos encapsulados, Figura 16, permitem uma instalação com menor necessidade de manutenção e melhorias para a operação, em função da redução de interrupções. Para a sala da Gis, foi instalado no teto um sistema de exaustão eólica com 8 exaustores (para garantir a temperatura da mesma) e para o porão de cabos, um pé direito de 3,00 m (distância do fundo do vigamento até o piso acabado).

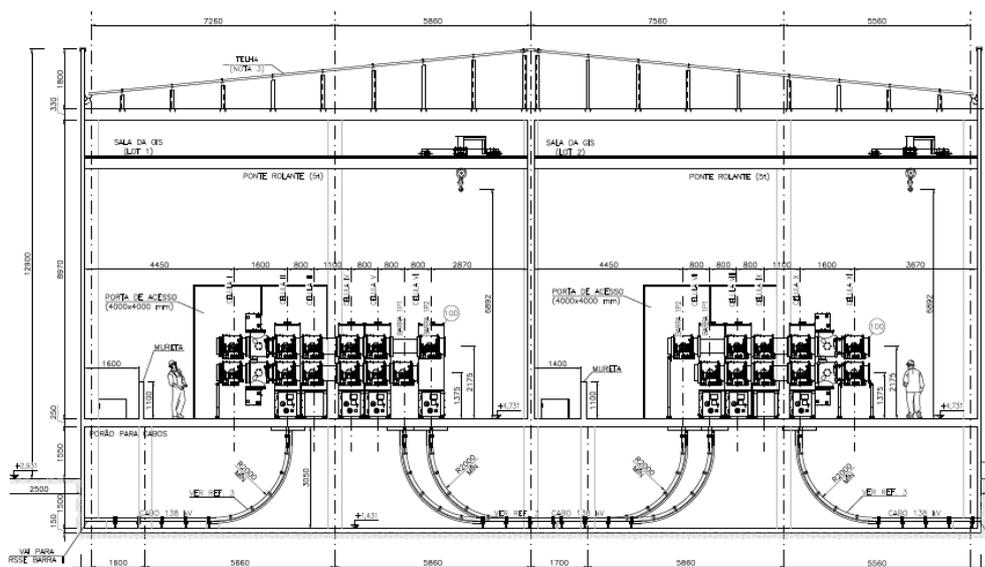


Figura 16 – Corte dos Pavimentos GIS.

Fonte: Grantel (2015).

As duas Gis recebem a energia transmitida pela SE Gardênia e SE Barra II em tensão de 138kV e a repassam para transformadores, onde estes se comunicam entre si e rebaixam a tensão para 13,8kV. Se um deles apresentar defeito, o outro pode assumir as suas funções. O sistema inclui três transformadores interligados, Figura 17, cada um pesa 100 toneladas, construídos sobre trilhos em uma área de manobra dentro da subestação, de modo que um equipamento possa ser movimentado e substituído com facilidade, em caso de emergência. Consiste no escopo da construção, paredes corta-fogo, bacia coletora de óleo e uma caixa separada de água e óleo, cujo volume suportável de 36,000 litros.

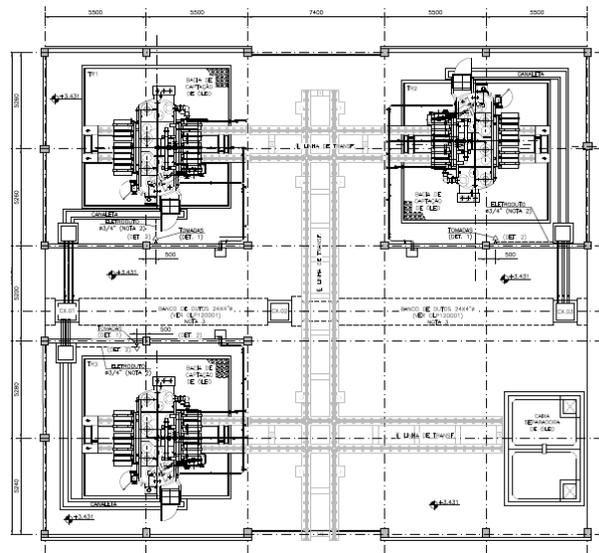


Figura 17 – Transformadores de Potência 138/13,8kV.

Fonte: Grantel (2015).

O projeto do Sistema de Proteção Contra Incêndio da Subestação, referenciado pelo edital de construção, indicava que a construtora da subestação deveria prever todas as proteções contra incêndio exigidas pelos regulamentos do CBMERJ, o preconizado pela GRIDIS 14 da Eletrobrás e NBR 13231.

Além dos dispositivos de segurança contra incêndio exigidos pelos regulamentos, normas pertinentes e projetos aprovados, foram exigidos extintores sobre rodas de 15kG de CO₂ extras para a instalação no porão dos cabos. Adicionando ao sistema de proteção e combate a incêndio da subestação, em toda sua área foi previsto infraestrutura para sistema de detecção e alarme nas portas externas, nas áreas de cablagem (forro falso, piso elevado, porões de cabos) e nas salas dos cubículos blindados, interligado ao sistema de supervisão e controle da subestação.

No projeto do Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas, o edital de construção menciona um sistema completo destinado a proteger a subestação contra os efeitos das descargas atmosféricas, o nível de proteção do SPDA deverá ser determinado conforme a importância que representa uma subestação de energia.

Ainda conforme mencionado no edital de construção, a Proteção Passiva contra fogo nos cabos de força e controle, será previsto um sistema de pintura intumescente em

cabos para evitar a propagação do fogo entre os circuitos próximos e reduzir a área afetada num mesmo circuito. O uso de pinturas intumescente anti-chama nos cabos com isolamento seca e no bandejamento dos cabos de controle e proteção, tem por objetivo prevenir que um incêndio se propague ao longo dos cabos de um mesmo circuito e entre circuitos quando existem curzamento entre eles.

Os transformadores de potência são equipamentos essenciais em qualquer sistema elétrico onde seja necessário a interligação de subsistemas com diferentes níveis de tensão. Por sua importância e pelo seu alto custo, faz-se necessário que o projeto do SPCI seja feito de maneira correta, minimizando ou eliminando assim, perdas financeiras e riscos às instalações e à vida humana. Portanto, a empresa fornecedora dos Equipamentos da Subestação Olímpica 138/13,8 kV, de acordo com as normas vigentes, implantou o Sistema de supressão de Gás Inerte para combate e proteção contra incêndio dos transformadores de potência, Figura 18.

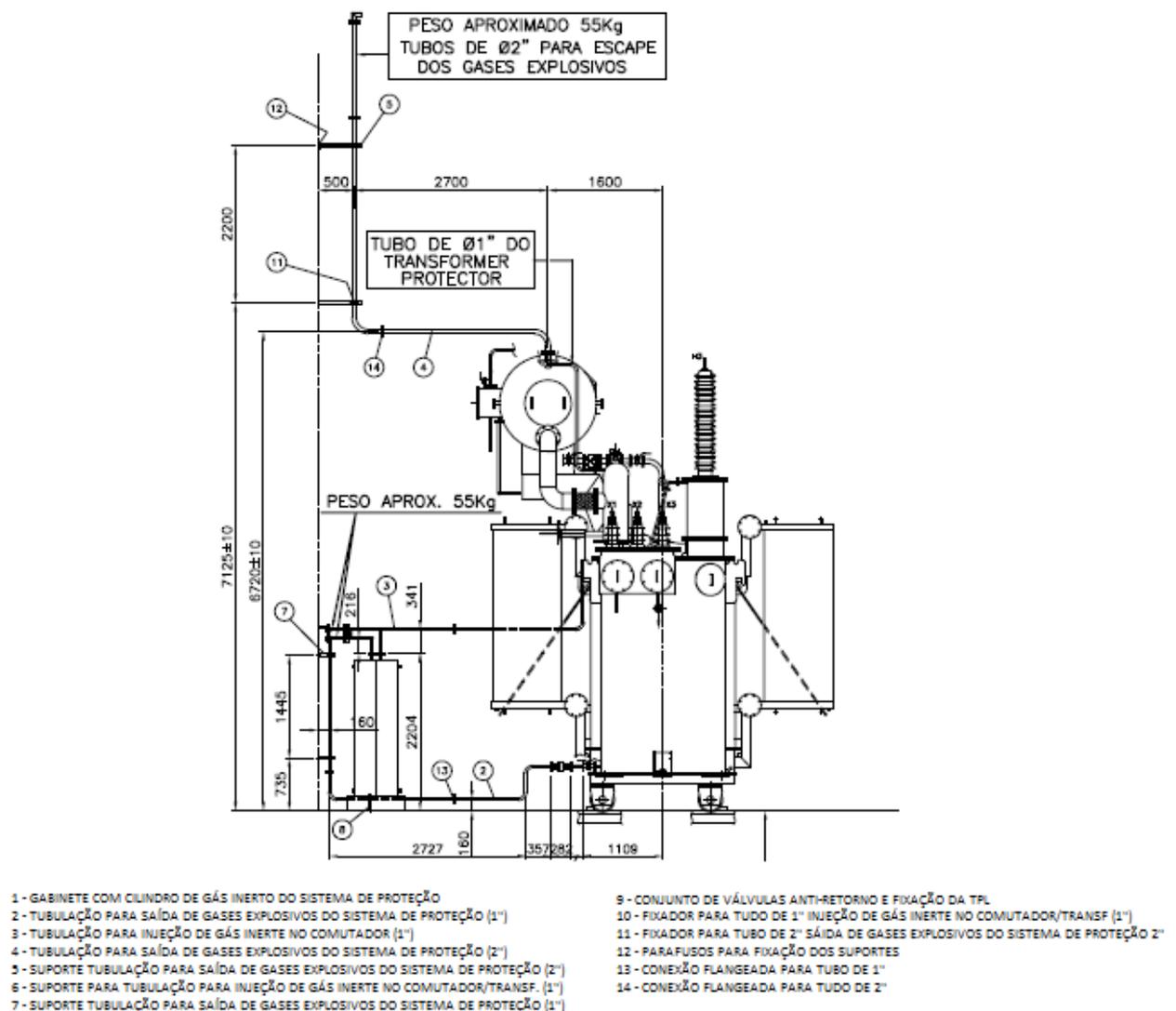


Figura 18 – Detalhes do Sistema de Gás Inerte no Transformador de Potência.

Fonte: Grantel (2015).

É possível verificar na Figura 19, que o Sistema de Supressão de Gás Inerte é uma instalação fixa, composta por tubulações para injeção de gás inerte no comutador e no transformador, tubulação para saída de gases explosivos no sistema de proteção, conjunto de válvulas, sensores de detecção de fogo e gabinete com cilindro de gás inerte instalado do outro lado da parede corta-fogo.



Figura 19 – Sistema de Gás Inerte no Transformador de Potência.
Fonte: Grantel (2015).

Os sistemas de supressão de incêndio por Gases Inertes, utilizam um cilindro contendo uma mistura de gases de ocorrência natural na atmosfera, Nitrogênio (52%), Argônio (40%) e Dióxido de Carbono (8%), inertes e não corrosivos, não combustíveis e não reagentes com a maioria das substâncias. Os Gases inertes para a supressão do incêndio atuam sobre o fogo reduzindo o oxigênio no ambiente, para um nível abaixo do ponto de sustentação da combustão, com isso o sistema consegue grande sucesso na extinção dos fogos das classes A, B e C.

3.2 EXIGÊNCIAS DO CORPO DE BOMBEIROS

O escopo da empresa construtora da Subestação, estabelece a obtenção de licenças de todo o empreendimento junto aos órgãos públicos envolvidos e em particular pela Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, Ministério do Trabalho e Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ). Quando da finalização da construção, deverá ser providenciado o Habite-se e a inclusão predial das referidas construções junto à prefeitura municipal. Portanto, para a obtenção das Licenças indispensáveis ao funcionamento da Subestação, foi necessário adquirir o Certificado de Aprovação do CBMERJ para o Sistema de Proteção Contra Incêndio da Subestação.

Após reunião entre CBMERJ e a empresa construtora da subestação, o CBMERJ descaracterizou o sistema implantado anteriormente (Sistema de Supressão de Incên-

dio por Gases Inertes e Extintores portáteis) e informou que exigiria hidrantes devido ao tamanho do prédio, e seria impossível aprovar tal projeto sem um sistema de hidrantes.

De acordo com o a Resolução N. 142, de 15 de Março de 1994 do Corpo de Bombeiros do Estado do Rio de Janeiro, a proteção fixa contra incêndio em subestações de energia elétrica, onde a edificação da subestação deverá atender ao COSCIP e a seguinte exigência: quando se tratar de uma subestação cujo prédio com área igual ou superior a 1500 m², será exigido a rede preventiva contra incêndio previsto no Cap. VII do COSCIP, considerada como de 'Risco Médio'.

Dessa forma, para a obtenção do Certificado de Aprovação do CBMERJ, o seguinte Laudo de Exigências foi requerido:

- Hidrantes: 01 de recalque para CP e 01 Hidrante urbano do tipo coluna, caso não haja aparelho instalado até 90 m do eixo da fachada da edificação.
- Caixa d'água superior: de acordo com o Código de Obras do Município.
- Caixa d'água inferior: 10,000 L com RTI=8,000 L.
- Canalização fixa: de acordo com o projeto, uma com 63 mm de diâmetro em AC, FG ou FF, pressurizada por 02 eletrobombas de 5,0 CV, sendo uma reserva, que atendam a uma vazão de 200 L/min e AMT de 48,90 mca. Os sistemas de bombas com sucção negativa possuirão caixa d'água com 100 L a 2 m de altura do eixo da bomba, para escorva automática da tubulação de sucção, com abastecimento de água permanente.
- Caixa de Incêndio: de acordo com o projeto, 08 caixas, sendo: 02 semi-enterradas, 03 no primeiro pavimento, 03 no segundo pavimento, equipadas com dois lances de mangueiras, TIPO 02 (conforme NBR 11.861/98), com a respectiva Marca de Conformidade da ABNT, com 15 metros de comprimento e 38 mm de diâmetro, e esguicho com requinte de 13 mm.
- Extintores: 15, sendo 01 CO₂ de 50Kg e 01 PSQ de 50Kg semi-enterrado, 02 CO₂ de 50Kg e 02 PQS de 50Kg e 06 PQS de 6Kg no primeiro pavimento, 01 CO₂ de 6Kg e 01 PQS de 50Kg no segundo pavimento, 01 CO₂ de 4Kg no CMI.
- Somente serão aceitas instalações, ignifugações, montagens e conservação de equipamentos preventivos, quando executados por firmas credenciadas no CBMERJ.
- O Projeto aprovado com o respectivo memorial descritivo autenticado pelo CBMERJ deverão ser apresentados ao oficial vistoriante por ocasião da vistoria de aprovação.
- Os sistemas fixos de segurança contra incêndio deverão possuir circuitos elétricos independentes.
- A CMI deverá atender ao projeto, memorial descritivo e Seção III do Cap. III da Resolução SEDEC n. 142 de 15 de março de 1994.

- Dotar a edificação de sinalização visual nos equipamentos preventivos, áreas de proibido fumar, estacionamento e tráfego de veículos, PC de luz e força e as saídas da edificação.
- As instalações elétricas em geral deverão obedecer à NBR 5410 e serem protegidas por chaves de desarme automáticos.
- As instalações elétricas destinadas a suprir sistemas de detecção, iluminação de emergência, elevadores, bombas de recalque das canalizações preventivas e de sprinklers e demais equipamentos necessários à proteção contra incêndio, deverão possuir ligação denominada 'medidor de serviço'.
- A edificação deverá possuir Manual de Segurança e Plano de Escape e os responsáveis devem providenciar, periodicamente a sua distribuição e instrução sobre os mesmos.
- A edificação deverá ser provida de sistema elétrico ou eletrônico de emergência, a fim de iluminar todas as saídas, setas e placas indicativas, dotadas de alimentador próprio e capaz de entrar em funcionamento imediato, tão logo ocorra interrupção no suprimento de energia da edificação.
- A conservação das instalações preventivas contra incêndio é obrigatória e de responsabilidade dos proprietários, síndicos ou aqueles que, devidamente inscritos no CBMERJ, assumam a responsabilidade correspondente.
- Os tetos, rebaixamentos de tetos, revestimentos, jiraus, vitrinas, divisões, tapetes, cortinas, prateleiras para materiais inflamáveis ou de fácil combustão serão de material incombustível.
- Em cumprimento a Lei n. 1535 de 26/set/1989, a edificação deverá ser dotada de medidas que orientem os frequentadores em caso de sinistros através de impressos fixados em lugares visíveis em tamanho e quantidades suficientes, confeccionados na dimensão mínima do formato A4 e em quantidade de um para cada 235 m² a cada 20 m.

Ainda de acordo com as exigências da Resolução N. 142, nos projetos de SEs abrigadas, de grande porte e localizadas em grandes concentrações urbanas, será previsto a construção de sistemas de contenção, drenagem e coleta de óleo, proveniente de seus equipamentos. Ainda deverá ser previsto uma camada de brita sob os equipamentos para assegurar a não propagação de fogo proveniente de vazamento de óleo.

3.3 SISTEMA CONTRA INCÊNDIO IMPLEMENTADO

Portanto para adquirir o Certificado de Aprovação do CBMERJ para o Sistema de Proteção Contra Incêndio da Subestação, o Laudo de Exigências foi executado incluindo o Sistema de Hidrantes, além do Sistema de Supressão de Gás Inerte já implementado.

No porão dos cabos, para o sistema preventivo fixo e móvel contra incêndio foi instalado 2 (duas) Caixas de Incêndio - Hidrante Simples, 1 (um) extintor de gás carbônico CO2 50 kg e 1 (um) extintor de pó químico seco PQS 50 kg, Figura 20, além de sistema de sinalização e iluminação de emergência.

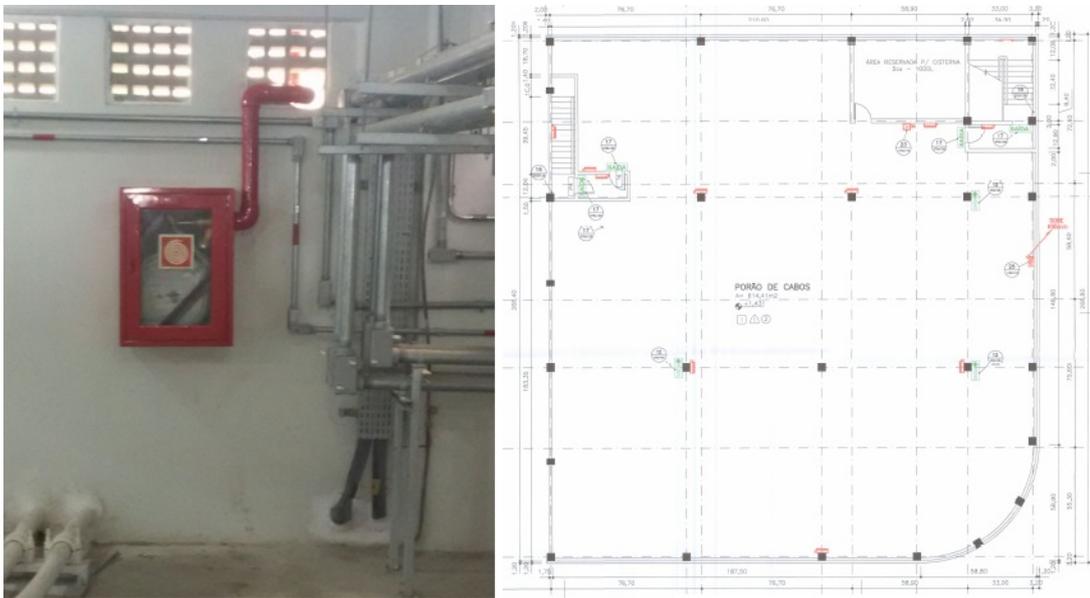


Figura 20 – Sistema de Hidrantes - Sala dos Porões.

Fonte: Grantel (2015).

No primeiro pavimento onde encontra-se as salas das Gis 1 e Gis 2, as celas dos transformadores, sala dos cubículos e sala dos painéis de comando, foram instalados 1 (um) Hidrante de Recalque, 3 (três) Caixas de Incêndio - Hidrante Simples, 2 (duas) Eletrobombas, 1 (uma) Casa de Máquinas de Incêndio (CMI) e 1 (uma) Porta corta-fogo, 1 (um) extintor de CO2 4 kg, 2 (dois) extintores PQS 6 kg, 2 (dois) extintores de CO2 50 kg e 2 (dois) PQS 50 kg, conforme Figura 21 e 22, além de sistema de sinalização e iluminação de emergência. Para a sala dos Bancos de Capacitores 13,8 kV no segundo pavimento, foi instalado para o sistema preventivo fixo e móvel contra incêndio, 1 (uma) Caixa de Incêndio - Hidrante simples e 1 (um) extintor de CO2 50 kg.

Além dos sistemas fixos e móveis para combate e proteção contra incêndio, o CBMERJ em seu Laudo de exigências solicitou ainda a instalação do Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas, composto por cabos de aço cobreado de 95 mm² para subida do SPDA, cabos de cobre nú 70 mm² para malha de terra, soldas exotérmicas e hastes de aterramento, de acordo com a Figura 23.



Figura 21 – Sistema de Hidrantes - Primeiro Pavimento.
Fonte: Grantel (2015).

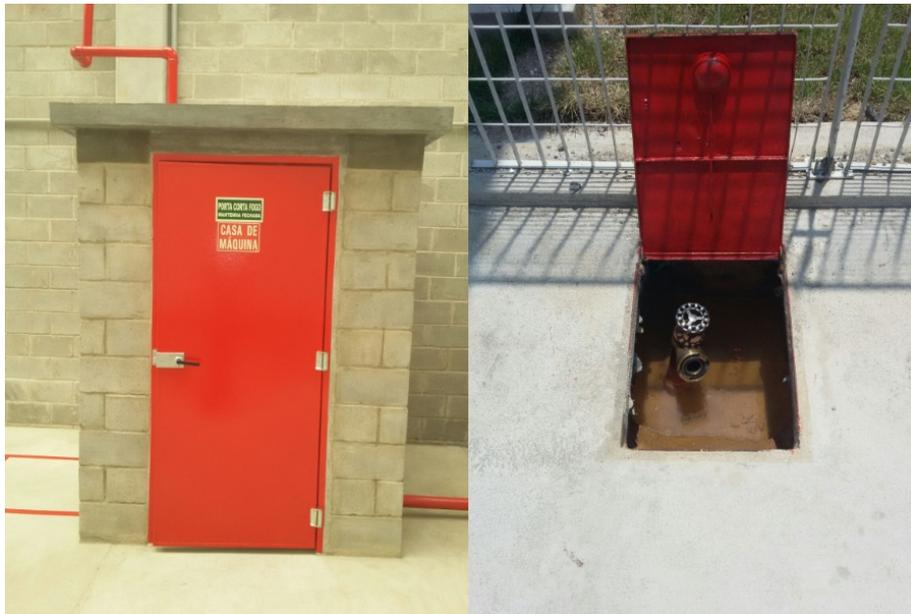


Figura 22 – Sistema de Hidrantes.
Fonte: Grantel (2015).

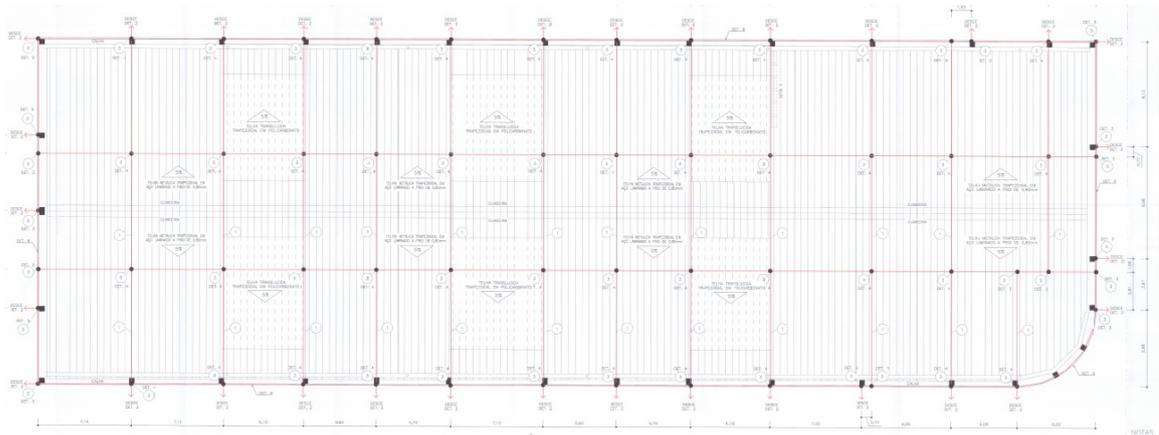


Figura 23 – Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA).
Fonte: Grantel (2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RECOMENDAÇÕES DA ELETROBRÁS GRIDIS 14 E ABNT NBR 13.231

Convém enfatizar que em obras do mesmo porte e características idênticas já executadas junto a outros clientes, com a aprovação do Corpo de Bombeiros locais, não se utilizou sistema de combate a incêndio por hidrantes, mormente em razão das justificativas supracitadas a seguir, as quais sequer tiveram que ser alegadas.

O edital da construção da Subestação Olímpica 138/13,8 kV, indica como referência de projeto a ABNT NBR 13.231 - Proteção Contra Incêndio em Subestações Elétricas, que logo em seu escopo expressa que esta norma não se aplica a subestações compactas blindadas (GIS), aplica-se apenas a subestações ou transformadores móveis.

Inclusive, o edital também informa como referência a GRIDIS 14 da Eletrobrás - Critérios para Proteção Contra Incêndio em Subestações, onde menciona que na determinação dos critérios de projeto contra incêndio em subestações, serão levados critérios mínimos exigidos em função da carga de incêndio e dos riscos envolvidos, bem como a viabilidade econômica, deixando a critério de cada Empresa do Setor de Energia Elétrica, a complementação da proteção contra incêndio julgada necessária.

Aliás, a Proteção Contra Incêndio das Edificações segundo a Gridis 14, menciona que a proteção mínima indispensável será constituída por sistema de extintores de incêndio e sinalização de segurança, para a sala de controle, baterias e demais locais com risco classe C.

Como proteção complementar, menciona que a critério de cada empresa a proteção complementar podem ser: Sistema de Água Nebulizada, Sistema de Drenagem e Agitação de Óleo com Nitrogênio, Sistema de Gás Carbônico - CO₂, Sistema de Halon e Sistema de Hidrantes.

Com efeito, o Sistema de Hidrante não é recomendado à instalação para proteção da casa de controle, devido à baixa carga de incêndio, proteção elétrica e a instalação de condutores auto extingüíveis, bem como, pelos danos materiais que a água, especialmente sob pressão pode causar aos painéis e equipamentos com circuitos eletrônicos (relés) existentes no local (GRIDIS 14, 1986).

Tal sistema seria recomendado para utilização nos riscos existentes em equipamentos de pátio, que necessitem de resfriamento, conforme itens específicos da Eletrobrás GRIDIS 14.

De acordo com a Figura 24, pode-se ver uma comparação entre as recomendações mínimas da ABNT NBR 13.231, Eletrobrás GRIDIS 14, exigências do COSCIP do CBMERJ e os serviços de Combate e Proteção Contra Incêndio implementados na subestação.

Devido a comparação, verifica-se que todas as recomendações mínimas para proteção contra incêndio aplicadas a esta subestação foram executadas pela empresa construtora. Porém, além do sistema complementar para proteção contra incêndio dos transformadores com o sistema de supressão de gás inerte, foi necessária implementação do sistema de hidrantes sob comando na edificação, distribuída em todos os pavimentos de acordo com as exigências do CBMERJ.

Descrição	RECOMENDAÇÕES		EXIGÊNCIAS	
	ABNT NBR 13.231	GRIDIS 14	CBMERJ	IMPLEMENTADO
Separação física entre equipamentos e edificações	-	-	-	Subestação abrigada blindada
Cabos de força e controle	Devem estar fisicamente separados, ser do tipo autoextinguível, com baixa emissão de fumaça e gases tóxicos	-	-	Sistema de Proteção Passiva com pintura intumescente contra fogo nos cabos de força e controle, além de cabos do tipo autoextinguível.
Galerias, salas e túneis de cabos	Pé direito deve ter no mínimo 2 m considerado entre piso e teto	-	-	Considerado pé direito para o porão dos cubículos de 2.55 m e para o porão da sala da Gis de 3.00 m, além de extintores sobre rodas de CO2 de 15 kg.
Aberturas em edificações	Portas corta-fogo	-	-	Porta corta-fogo.
Sistema de Climatização (ar condicionado, ventilação e exaustão)	Devem levar em consideração os riscos de incêndio nas áreas específicas.	-	-	Para garantir a temperatura da salas da Gis, foi instalado um sistema de exaustão eólica
Sala de controle	Protegidos contra incêndio por sistema de extintores de incêndio	Devem ser empregados extintores tipo CO2 com capacidade de 6 kg	Extintor tipo CO2 com capacidade de 6 kg	Extintor tipo CO2 com capacidade de 6 kg
Transformadores Instalação Interna	Sala exclusiva para os transformadores	Extintores de pó químico seco sobre rodas com capacidade de carga de 50 kg	-	Sistema de supressão de Gás Inerte
Paredes tipo corta-fogo	Parede corta fogo para evitar a propagação de incêndio de um equipamento a uma edificação, ou a outro equipamento	Proteção mínima contra incêndio dos transformadores, com a finalidade de separar os riscos	As paredes corta-fogo deverão ser construídas entre os transformadores com a finalidade de impedir a propagação do fogo e evitar danos	Paredes-corta-fogo nas salas dos transformadores
Material de recobrimento	O uso de uma camada de pedra britada pode ajudar a minimizar ou suprimir um incêndio	-	Deverá ser previsto uma camada de brita sob os equipamentos para assegurar a não propagação de fogo proveniente de vazamento de óleo	Camada de pedra britada sob os transformadores
Sistema de Contenção de líquido isolante	Os seguintes fatores devem ser considerados: tipo e volume do líquido isolante contido no equipamento, volume das águas dos sistemas fixos de supressão de incêndio e área disponível	Bacia de contenção e drenagem e óleo para os transformadores	Nos projetos de subestações abrigada, será prevista a construção de sistema de contenção, drenagem e coleta de óleo proveniente de seus equipamentos	Caixa separadora de água e óleo, cujo volume suportável de 36.000 litros
Sinalização de Segurança	-	Proteção contra incêndio mínima das edificações, dos equipamentos e instalações de pátio, constituída de placas e iluminação de emergência	Sistema de sinalização e Iluminação de Emergência	Sistema de sinalização, iluminação de emergência e sistema de detecção e alarme de incêndio
Extintores de Incêndio sobre rodas	Transformadores, reatores e reguladores de tensão devem ser protegidos com extintores de incêndio de pó químico com capacidade de 50 kg	Extintores de pó químico seco sobre rodas com capacidade de carga de 50 kg para proteção de transformadores e outros equipamentos, e extintores de pó químico seco sobre com capacidade de 12 kg para proteção de cubículos	Extintores sobre rodas de PQS 50 kg e extintores sobre rodas de CO2 50 kg	Extintores sobre roda de Pó químico e CO2 distribuídos na subestação de acordo com as exigências do CBMERJ
Extintores de Incêndio portáteis	As edificações de uma subestação devem ser protegidas, de preferência por extintores de incêndio portáteis de CO2 e de pó químico seco.	Proteção Contra incêndio mínima das salas de controle, equipamentos e instalações de pátio	Extintores portáteis de PQS de 6 kg e extintores portáteis de CO2 de 6 e 4 kg	Extintores portáteis de Pó químico e COE distribuídos na subestação de acordo com as exigências do CBMERJ
Proteção Contra Incêndio Complementar Sistema fixo automático para proteção contra incêndio	Sistema fixo automático por gás pelo método de inundação total, quando previsto com gases limpos, deve ser de acordo com a NFPA 2001	-	-	Proteção Contra Incêndio para os transformadores com Sistema de Supressão de Gás Inerte
Proteção Contra Incêndio Complementar - Sistema de Hidrantes	-	Indicado ao combate ao incêndio de transformadores e reatores de potência, tanques de óleos isolantes, sendo utilizado esguicho tipo neblina devida a condutividade da água	Quando se tratar de uma subestação cujo prédio com área igual ou superior a 1500 m2, será exigido rede preventiva (Hidrantes) contra incêndio	Instalação do Sistema de Hidrantes de acordo com as exigências do CBMERJ

Figura 24 – Comparação entre as exigências e recomendações.

Fonte: A autora (2017).

De acordo com a importância da subestação para o empreendimento, os custos resultantes de incêndios, perda da distribuição de energia, substituição de equipamentos destruídos ou danificados, a proteção contra incêndio tem por objetivo proteger as instalações, assegurar a continuidade operacional da instalação e principalmente a proteção da vida humana. O fato é que, em se utilizando água, a continuidade operacional da subestação ficará prejudicada e por medida de segurança, ressalta-se ainda que a área da subestação é considerada como de elevado risco elétrico e torna a instalação de sistemas de hidrante sob comando totalmente incompatível e extremamente perigosa, devido a exposição do operador da mangueira de incêndio à corrente elétrica acidental.

Em função de comprovações técnicas, trabalhos já realizados e dentre os vários sistemas de combate a incêndio dedicados a equipamentos elétricos, existem outros sistemas capazes de extinguir o incêndio em subestações abrigadas, sem causar danos às pessoas e equipamentos, são eles: Sistema fixo automático de gás e Sistema fixo automático por água nebulizada.

4.1.1 Sistema fixo automático de gás

Uma das alternativas que se enquadrou no cumprimento dos requisitos técnicos da subestação, foi o Sistema fixo automático de gás para a área do transformador. O Sistema Fixo de IG 541 (INERGEN) é uma instalação fixa, onde o combate contra incêndio se dará pelo método de Inundação, Figura 25. Este sistema é projetado e instalado de acordo com os requisitos da norma NFPA-2001 - 'Clean Agent Fire Extinguishing System', extingue incêndios das classes A, B e C, mantendo o nível de oxigênio abaixo daquele onde a combustão é sustentada.

A escolha do agente extintor para esta aplicação, deve ser pautada pelos critérios ambientais, considerando que o agente adotado não afete a camada de ozônio, além de que, é fundamental que o agente escolhido apresente desempenho satisfatório com vistas ao objeto para o qual foi projetado, considerando o grau de segurança aprovado para o uso em áreas ocupadas.

O IG 541 (INERGEN) é um gás inerte, não corrosivo, não combustível e não reagente com a maioria das substâncias, não possui problemas de toxicidade, nem produz subprodutos perigosos, inexistindo limitações quanto aos testes de sistemas e obrigatoriedade de recuperação do agente (KOMBAT, 2015).

O Sistema consiste em cilindros de aço, onde é armazenado o agente extintor, dotados de válvulas de disparo por acionamento automático e/ou manual. Os cilindros são interligados por meio de um tubo coletor ao qual são conectados através de mangueiras flexíveis, dotadas de válvulas de retenção individuais para cada cilindro. O agente INERGEN é distribuído e descarregado nos ambientes por meio de uma malha de tubos e bicos nebulizadores, dimensionados de modo a proporcionar uma distribuição uniforme e obter a correta concentração do agente extintor no ambiente, Figura 26.

Nas áreas protegidas pelo Inergen o combate é feito pelo método de Inundação com o agente extintor na concentração necessária para a extinção prevista na Norma NFPA-2001. Na ocorrência de um possível incêndio ou princípio do mesmo, o agente extintor será descarregado em todo o ambiente protegido.



Figura 25 – Sistema fixo de gás Inergen na sala do transformador.

Fonte: A autora (2017).

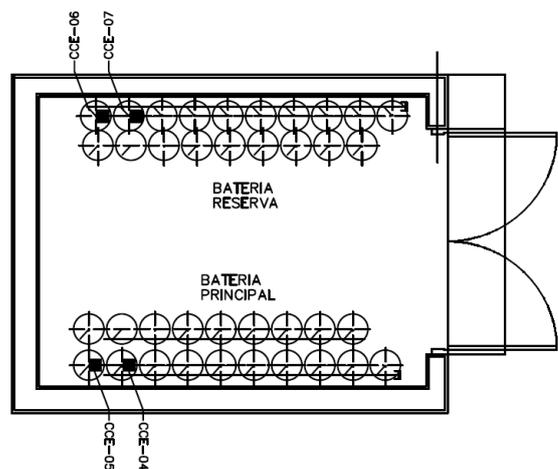


Figura 26 – Cilindros do Sistema fixo de gás Inergen.

Fonte: A autora (2017).

O sistema será dotado ainda de acionamento manual direto no cilindro, permitindo a atuação do sistema, mesmo que ocorra pane total do sistema elétrico. No modo automático, o sistema contará com retardo, cujo intervalo será programado de acordo com a variação do instalador do sistema de detecção. Logo após a descarga, é imprescindível o desligamento dos sistemas de ventilação e ar condicionado.

4.1.2 Sistema fixo automático por água nebulizada

Outra opção que atende as especificações de sistema complementar para proteção contra incêndio de uma subestação, é o sistema fixo automático por água nebulizada, Figura 27. Nesse sistema de incêndio para transformadores, a água pressurizada é conduzida por uma tubulação para bicos especiais, que nebulizam essa água sobre o transformador em chamas e sobre o óleo que dele vazou. É instalada também uma rede de detecção de calor, que dispara automaticamente o sistema de sprinklers. Esses detectores podem ser do tipo "sprinkler", do tipo blindados termo velocimétricos e do tipo cabo sensor.



Figura 27 – Sistema fixo automático de água nebulizada para transformador.

Fonte: A autora (2017).

Nos sistemas de incêndio para transformadores, os bicos especiais nebulizam a água, quebrando uma gota de água em 8,000 nano-gotículas. Com isso, a água se torna uma névoa que, quando se aproxima do fogo, se transforma em vapor de baixa temperatura. Em um processo de resfriamento acelerado, por exemplo, é possível reduzir uma temperatura de 716 graus Celsius para 136 graus, em menos de 10 segundos. Com essa ação de resfriamento ultra rápido, o incêndio é extinto com extrema agilidade. Uma importante vantagem desse sistema, é a economia de água, que é cerca de 100 vezes menor que a água necessária num sistema de sprinklers "Diluvio", para a mesma área protegida.

O sistema suprime rapidamente o fogo com a mínima quantidade de água, devido à descarga em alta pressão e velocidade das gotas d'gua, criando micro-gotas que

possibilitam: o resfriamento do incêndio, a retirada do oxigênio da zona de combustão, o bloqueio do calor radiante, a lavagem dos gases tóxicos e fumaça no local protegido, agilizando a liberação da área afetada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira a comprovar que todos os sistemas de proteção necessários foram executados e não haveria necessidade de implementação de um sistema de hidrantes sob comando, foi realizado uma comparação entre, as recomendações da Eletrobrás Gridis, ABNT NBR 13231 e as exigências do Corpo de Bombeiros. A partir dessa comparação, verificou-se que todas as recomendações mínimas para proteção contra incêndio aplicadas a esta subestação, foram executadas pela empresa construtora.

De acordo com a importância da subestação para o empreendimento, os custos resultantes de incêndios, perda da distribuição de energia, substituição de equipamentos destruídos ou danificados, o Sistema de Hidrante sob comando não é recomendado para proteção da subestação em incêndios de classe C, devido a duas situações críticas: aos danos materiais que a água, especialmente sob pressão pode causar aos painéis e equipamentos com circuitos eletrônicos (relés) existentes no local, e por tornar a instalação extremamente perigosa, devido principalmente a exposição do operador da mangueira de incêndio ao contato acidental com a corrente elétrica que pode ser conduzida pela água.

Em função de comprovações técnicas, trabalhos já realizados e dentre os vários sistemas de combate a incêndio dedicados a equipamentos elétricos, existem outros sistemas capazes de extinguir o incêndio em subestações abrigadas, sem causar danos as pessoas e equipamentos, são eles: Sistema fixo automático de gás e Sistema fixo automático por água nebulizada.

Neste empreendimento, a aplicação desses sistemas fixos de combate a incêndio são recomendados apenas para a proteção dos transformadores de potência. Para as salas dos painéis, cubículos e porões, a proteção mínima poderá ser constituída por sistema de extintores de incêndio e sinalização de segurança, devido a baixa carga de incêndio, proteção elétrica e instalação de condutores autoextinguíveis.

Uma das alternativas que se enquadraram no cumprimento dos requisitos técnicos da subestação, foi o Sistema fixo IG 541 (INERGEN) automático para a área do transformador, ou seja, não há necessidade de operador. O combate contra incêndio se dará pelo método de Inundação e extingue incêndios das classes A, B e C.

Outra opção que atende as especificações do sistema complementar, é o sistema fixo automático por água nebulizada, que também elimina a necessidade de operador. Nesse sistema de incêndio para transformadores, a água pressurizada é conduzida por uma tubulação para bicos especiais, que nebulizam essa água sobre o transformador em chamas e sobre o óleo que dele vazou.

Ou seja, com a realização deste trabalho, foi possível recomendar outros tipos de Proteção Contra Incêndio que poderiam ter sido implementados na subestação abrigada, ao invés da instalação do Sistema de Hidrantes sob comando solicitado pelo CBMERJ, que atenderia todas as normas e recomendações necessárias, não colocaria em risco a vida do operador da mangueira de incêndio e preservaria a continuidade operacional da instalação. Como continuidade deste trabalho, sugere-se a realização de um estudo detalhado deste cenário, para uma possível padronização das exigências do Corpo de Bombeiros em empreendimentos similares.

REFERÊNCIAS

- ABNT, NBR 12.693. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**: Sistema de proteção por extintores de incêndio. [S.l.], 1993.
- ABNT, NBR 13.231. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**: Proteção contra incêndio em subestações elétricas. [S.l.], 2014.
- ABNT, NBR 14.039. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kv a 36,2 kv. [S.l.], 2003.
- ABNT, NBR 5.410. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**: Instalações elétricas de baixa tensão. [S.l.], 2004.
- ABNT, NBR 8.674. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**: Execução de sistemas fixos automáticos de proteção contra incêndio com água nebulizada para transformadores e reatores de potência. [S.l.], 1984.
- ALVES, E. A. F. **Sistema Interligado Nacional - SIN com ênfase no Centro Regional de Operação Norte/Centro-Oeste**. 28 f. Monografia (Grau de Licenciado em Física) — Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2008.
- BARROS, J. V. C. **Estudo de viabilidade econômica e das proteções da subestação de 69-13,8kV do Campus do Pici da Universidade do Ceará**. 94 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
- BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego**: Manuais de legislação atlas. 76. ed. São Paulo: Atlas, 2015.
- CHAVES, F. S. **Avaliação técnica do desempenho da compensação reativa shunt capacitiva aplicada a expansão de sistemas elétricos**. Dissertação (Doutorado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2007.
- CORSEN, C. L. **Avaliação de Índices de Confiabilidade em Subestações**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1979.
- ELETROBRÁS 82 - CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. **Diretrizes Básicas para Projeto de Subestações de Tipo Convencional Aberto**: Subestações de alta tensão 138 e 230kv. [S.l.], Março 1982.
- FRAGOAS, A. G. **Estudo de caso do uso de Bancos de Capacitores em uma rede de distribuição primária - Indicativa da sua viabilidade econômica**. 72 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- GONÇALVES, R. M. **Guia de projeto para subestações de alta tensão**. 227 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

GRANTEL, E. L. **Subestação Olímpica 138/13,8kV**. 2015. Disponível em: <http://grantelengenharia.com.br/obras/se-olimpica-furnas-light/>. Acesso em: 4 de dez. de 2016.

JACOBSEN, R. S.; NAKANO, N. S.; FERNANDES, J. M. B.; AO, G. M. d. S. L. Estudo comparativo entre subestações blindadas isoladas a gás sf6 e subestações convencionais. **XVI SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**, 2001.

JESUS, K. M. S. d. **Uma contribuição ao estudo eletromagnético de um reator elétrico trifásico**. 86 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

KOMBAT, B. **Equipamentos de Combate a incêndio**. 2015. Disponível em: <http://www.kombatbrasil.com.br/equipamentos-combate-a-incendio.html>. Acesso em: 4 de dez. de 2016.

MEIRELES, D. **Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás em grandes centros urbanos: Proposta de procedimento aplicado a expansão do sistema elétrico**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, SC, 2010.

MELLO, D. M. d. **Análise de características de subestações isoladas blindadas a gás e comparação frente a projetos convencionais**. 115 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MUZY, G. L. C. d. O. **Subestações Elétricas**. 120 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2012.

NPT 026. **Sistema fixo de gases para combate a incêndio**: Norma de procedimento técnico. [S.l.], 2001.

SALIM, T. M. B. **Automação Industrial e a Integração dos Sistemas Digitalizados de Proteção Controle e Supervisão de Subestações de Energia Elétrica**. 70 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SANTOS, K. P. d.; MONTE, A. C. S. B. **Compensação de reativos em sistemas elétricos de potência**. 58 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade Estadual do Piauí, Teresina, 2009.

SÉRIE GRIDIS 14. **Eletróbrás Centrais Elétricas Brasileiras SA**: Critérios para proteção contra incêndio em subestações. [S.l.], 1986.

SILVA, D. C. d. **Avaliação da interação de materiais internos do transformador com fluidos isolantes tipo éster natural e óleo mineral**. Dissertação (Mestrado em Ciências) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013.

SILVA, S. H. d. M. e. **Barramento de subestações: Um estudo de caso com condutores rígidos**. 112 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade de Pernambuco, Recife, 2010.

SOARES, V. R. **Requisitos e Restrições do uso do óleo vegetal de tungue como líquido isolante para transformadores elétricos de distribuição de média tensão.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, PR, 2015.

UHREN, W. **Aplicação do óleo vegetal como meio isolante em equipamentos elétricos em substituição ao óleo mineral.** Dissertação (Mestrado) — Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, PR, 2007.