

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Arthur Lauck Vilas Boas**

**ANÁLISE QUANTO AO USO DE HIDRANTES EM  
SUBESTAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA  
TELEASSISTIDAS COM TRANSFORMADORES  
ISOLADOS POR ÓLEO MINERAL**

Porto Alegre  
Fevereiro 2024

**Arthur Lauck Vilas Boas**

**ANÁLISE QUANTO AO USO DE HIDRANTES EM  
SUBESTAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA  
TELEASSISTIDAS COM TRANSFORMADORES  
ISOLADOS POR ÓLEO MINERAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de  
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de  
Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
como parte dos requisitos para obtenção do título de  
Engenheiro Civil

**Orientadora: Ângela Gaio Graeff**

Porto Alegre  
Fevereiro 2024

**Arthur Lauck Vilas Boas**

**ANÁLISE QUANTO AO USO DE HIDRANTES EM  
SUBESTAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA  
TELEASSISTIDAS COM TRANSFORMADORES  
ISOLADOS POR ÓLEO MINERAL**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, fevereiro de 2024

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Ângela Gaio Graeff**  
PhD pela University of Sheffield  
Orientadora

**Eng. Alessandro Simas Franchetto**  
MSc pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Eng. Nicolle Garcia Borges**  
Especialista pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha companheira Luíza Flôr Coester por sempre ter me incentivado a alcançar meus objetivos. Seu amor e exemplo de resiliência foram um grande estímulo para a minha dedicação ao trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha orientadora que, com paciência e dedicação, acompanhou o processo de elaboração deste trabalho, fornecendo orientações valiosas e contribuindo para seu desenvolvimento.

O universo não foi feito à medida do ser humano,  
mas tampouco lhe é adverso: é-lhe indiferente.

*Carl Sagan*

## **RESUMO**

Este trabalho versa sobre uma discussão no que tange à implementação de hidrantes em subestações de energia para o combate a incêndios em transformadores com tanques de óleo mineral isolante. O enfoque principal do trabalho serão as subestações convencionais teleassistidas, ou seja, supervisionada remotamente, sendo que as estações subterrâneas e abrigadas não serão abordadas. Pretende-se avaliar o sistema de hidrantes nas subestações quanto à segurança e praticidade do uso, bem como elencar as alternativas dispostas pela legislação brasileira e procedimentos internacionais, descrevendo as propriedades que podem garantir vantagens em relação ao sistema de hidrantes. É apresentada uma tabela para analisar e comparar o que consta na legislação do Corpo de Bombeiros de São Paulo com guias e procedimentos normativos internacionais. Por fim, são elencados alguns problemas identificados no uso dos hidrantes e a forma como foram discutidos pelos documentos técnicos analisados. Posteriormente, são descritas recomendações para a segurança contra incêndio em subestações. São citadas outras medidas de segurança que podem dispensar o sistema de hidrantes e para os casos que isso não é possível, medidas que podem aumentar a efetividade e segurança proporcionadas pela presença do sistema de hidrantes.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exigências para edificações do tipo Centrais de energia.....	17
Tabela 2 – Comparação entre as exigências do Corpo de Bombeiros CBMESP e as recomendações de normativas internacionais.....	27

## **LISTA DE SIGLAS**

CBMRS – Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul

CBPMESP – Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo

PrPCI – Projeto de Prevenção e Proteção contra Incêndio

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	13
2.1	Estudos realizados sobre projetos de segurança contra incêndio em subestações elétricas ou equipamentos energizados no Brasil	13
2.2	Normativos sobre Segurança contra Incêndios em Subestações Elétricas	15
2.3	Enquadramento na legislação	16
2.4	Normas e procedimentos internacionais sobre segurança contra incêndio em subestações elétricas	19
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	20
<b>4</b>	<b>CÓDIGOS REFERÊNCIA PARA PROJETOS</b> .....	21
4.1	Instrução Técnica IT-37 (CBPMESP, 2019)	21
4.2	Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations - NFPA 850 (2020)	22
4.3	<i>IEEE Guide for Substation Fire Protection- IEEE Std 979 (2012)</i>	23
4.4	<i>Guide For Transformer Fire Safety Practices - CIGRE 537 (2013)</i>	23
<b>5</b>	<b>ANÁLISES E DISCUSSÕES</b> .....	24
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	29
6.1	Recomendações com base nas análises e discussões	30
6.2	Sugestões de trabalhos futuros	31
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	31

## 1 INTRODUÇÃO

Subestações controlam o fluxo energético do sistema e fazem a distribuição e a transmissão de energia para a sociedade. O transformador é o principal equipamento da subestação, capaz de modificar os níveis de tensão da corrente elétrica para mitigar perdas de corrente. Os transformadores podem ser classificados como isolados por óleo mineral, fluido de alto ponto de combustão e à seco.

Esse trabalho trata de subestações teleassistidas com transformadores isolados por óleo mineral. As subestações que possuem alguma forma de supervisão remota podem ser chamadas de teleassistidas.

A maior parte dos transformadores são imersos em óleo mineral para isolamento e transferência do calor gerado por perdas de energia durante a sua operação. De acordo com Pontes (2001), apesar do ponto de fulgor<sup>1</sup> do óleo mineral ser elevado, quando ele é usado em equipamentos elétricos suas propriedades se alteram, de forma que seu ponto de fulgor é reduzido. Assim, se faz necessário a implementação de projeto de prevenção e proteção contra a incêndio (PrPCI) para proteger as subestações desse risco e de outros que possam levar ao surgimento de um incêndio nestes locais.

Em termos de Norma Técnica, os projetos de segurança contra incêndio em subestações são regulados pela norma NBR 13231 (ABNT, 2015). Esse documento cita os sistemas e equipamentos de proteção contra incêndio adequados para essas instalações, sendo eles: extintores de incêndio, sistema de hidrantes, sistema de detecção e alarme de incêndio e sistemas fixos automáticos para proteção contra incêndios. Porém, se propõe a indicar as normas específicas que cada sistema deve atender, sem determinar ou especificar o uso de cada medida.

Já em termos legais, os estados brasileiros definem categorias de áreas de risco e quais serão as medidas exigidas para essas categorias através de sua Legislação Estadual. No Rio Grande do Sul, essa regulamentação se dá pela Lei Complementar Nº 14.376 de 2013 (também conhecida como Lei Kiss) e suas atualizações. O sistema de hidrante geralmente é exigido pelas legislações (incluindo a Lei Complementar Nº 14.376 de 2013) para diversas áreas de risco, como as subestações de energia.

---

<sup>1</sup> Ponto de fulgor é a menor temperatura na qual um combustível se torna inflamável.

De acordo com a NBR 13714 (2000, p.3), hidrante é um “Ponto de tomada de água onde há uma (simples) ou duas (duplo) saídas contendo válvulas angulares com seus respectivos adaptadores, tampões, mangueiras de incêndio e demais acessórios.” Os sistemas de hidrantes são compostos principalmente por reservatório técnico de incêndio, conjunto de bombeamento, tubulação, mangueiras e esguichos. Sua função é auxiliar na extinção do fogo através de resfriamento, abafamento e encharcamento (ALVES, 2017).

Entretanto, o uso de hidrantes para combater as chamas em equipamentos elétricos pode ser um risco, pois a água e sua condutividade podem agravar os danos materiais nos circuitos eletrônicos e ocasionar exposição a corrente elétrica acidental, colocando em perigo o operador ou qualquer outra pessoa no local do acidente.

Durante estágio na área de PPCI de subestações elétricas, o autor acompanhou muitos projetos que optaram pela implementação de hidrantes em subestações elétricas por obrigação da legislação, mesmo esta não sendo a alternativa indicada pelos responsáveis técnicos, que pensavam na eficiência do combate ao incêndio, na segurança das pessoas que operam os equipamentos de combate ao incêndio e na viabilidade econômica da sua implementação. A implementação de hidrantes para combate de chamas em equipamentos elétricos deve ser questionada pois os jatos de água podem agravar os danos materiais nos circuitos eletrônicos e a condutividade da água se torna um grave risco à vida. Além disso, essa medida de proteção tem custo elevado de aplicação, já que compreende a instalação de grandes reservatórios de água. Desse modo, a distribuição de energia elétrica é onerada com estes custos, o que pode contribuir para atrasos na construção da infraestrutura elétrica do país e aumento da tarifa de energia elétrica.

Ainda sobre o uso de hidrantes em subestações, a NFPA (*National Fire Protection Association*) publicou em 2020 a edição mais recente da norma NFPA 850 (2020) que trata de práticas recomendadas para proteção de incêndio para plantas de geração de energia e subestações de alta voltagem. Essa norma define que devem ser instalados hidrantes de incêndio a cada 90 metros, porém não discute a sua segurança ou eficácia no combate ao incêndio. Essa norma indica que seja considerado o uso de sistema *water spray* ou sistema de *sprinklers* para a proteção dos transformadores.

Considerando a problemática que pode estar relacionada ao uso de hidrantes em subestações elétricas, o objetivo principal deste trabalho é analisar o uso de hidrantes nas subestações de energia teleassistidas com transformadores isolados por óleo mineral, estudando a sua eficácia e os riscos de sua aplicação. Além disso, baseando-se nas

análises e discussões apresentadas, o estudo busca fazer recomendações de segurança contra incêndio relacionadas ao uso do sistema de hidrantes e alternativas que podem ser mais seguras.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este item apresenta estudos que foram realizados sobre o uso de hidrantes em subestações elétricas, bem como os procedimentos normativos e legislações atinentes ao tema.

### 2.1 Estudos realizados sobre projetos de segurança contra incêndio em subestações elétricas ou equipamentos energizados no Brasil

Alves (2017) analisa as normas e exigências do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro a partir de um estudo de caso de projeto de prevenção de incêndio em uma subestação. Para a autora: “existem outros sistemas capazes [além dos hidrantes] de extinguir o incêndio em subestações abrigadas<sup>2</sup>, sem causar danos às pessoas e equipamentos.” De acordo com a autora, as determinações do Corpo de Bombeiros estariam, de certa forma, equivocadas, pois o projeto já contemplava um sistema de proteção ativa por meio de inundação total de gás inerte<sup>3</sup>. Concluiu-se que as recomendações das normas foram seguidas no estudo de caso apesar de o uso de hidrante não ser a melhor opção para proteção de subestações elétricas devido aos danos materiais que a água, especialmente sob pressão pode causar aos painéis e equipamentos com circuitos eletrônicos 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 (Alves, 2017).

Silva (2009) estuda as causas e consequências dos incêndios e explosões em transformadores, elencando várias proteções e ações mitigadoras disponíveis. Além disso, o autor propõe nova sistemática para avaliar a segurança de subestações e identificar não conformidades para evitar incêndios. Finalmente, foi feito um estudo de caso fazendo

---

<sup>2</sup> Subestações abrigadas são aquelas que possuem proteção do tempo. Em oposição às subestações ao ar livre.

<sup>3</sup> Sistema de inundação total por gás inerte é um sistema fixo automático utilizado em subestações abrigadas que tem o objetivo de combater o incêndio por abafamento através da descarga de gases inertes (Alves, 2017).

uma avaliação completa de uma subestação quanto a sua conformidade com as normas, leis e recomendações técnicas quanto à segurança contra incêndios. O autor recomenda o combate ao incêndio com o sistema automático *water spray*, pois acredita que esse sistema se destaca em relação às outras formas de proteção ativa por ser barato, eficaz e seguro, mesmo quando as subestações se encontram energizadas, visto que eliminaria a necessidade de um operador.

Duarte, Pena e Dutra (2016) apresentam alguns dados relacionando à quantidade de falhas, incêndios e explosões em transformadores no Brasil. Os autores estabelecem um cenário preocupante ao apontar que diferentes estudos observam aumento na taxa de falha de transformadores desde 1995, principalmente dos equipamentos novos, no primeiro ano de operação. O trabalho aborda cenários de falhas em transformadores e suas consequências. Na sua conclusão, os autores afirmam que as recomendações das normas brasileiras não garantem a segurança contra incêndios de instalações complexas como uma subestação elétrica. Eles enfatizam a importância de uma abordagem aprofundada das especificidades de cada subestação.

Taveira (2019) apresentam uma proposta de criação de um procedimento operacional “padrão” e relatam a aplicação de questionário para entender o conhecimento dos bombeiros militares do Distrito Federal (DF) em combates de incêndio em equipamentos elétricos, subestações e ocorrências específicas no Metrô-DF. A pesquisa revelou que os bombeiros de Brasília não conhecem as áreas de risco do Metrô-DF e que 83,1% deles não se sentem seguros para atuar em ocorrências envolvendo energia elétrica. Foram então destacadas as principais características das subestações do Metrô-DF e as principais causas de incêndio em subestações, sendo as falhas em transformadores de potência a mais importante. Por fim, foram descritos procedimentos que os bombeiros devem usar para combater incêndios em subestações. Ressaltou-se a importância da necessidade de desenergizar a subestação para que os procedimentos de combate ao incêndio sejam realizados pois a circulação de energia elétrica em contato com a água pode causar ferimentos e óbito aos combatentes e danificar os equipamentos (Taveira, 2019).

Finocchio, Barbosa e Brandão (2019) descrevem características gerais dos transformadores e identificam as principais falhas geradoras de incêndios e explosões. O trabalho apresenta algumas formas de proteção contra incêndio em transformadores, incluindo prevenção, medidas mitigadoras de danos. A prevenção inclui a manutenção dos equipamentos e elaboração de matriz de risco, a mitigação se dá implementando

distâncias mínimas de afastamento entre áreas de risco, paredes corta-fogo e sistemas fixos de proteção como os sistemas de chuveiros automáticos, automático por água nebulizada, automático por inundação total de gases bacia de contenção do óleo isolante e hidrantes. Por fim, como os transformadores são equipamentos suscetíveis a falhas, se conclui que é fundamental o controle ou atenuação de incêndios e explosões para evitar danos ambientais a equipamentos e edificações próximas.

Pereira (2017) critica a legislação vigente que atribui a responsabilidade da criação de códigos de prevenção e combate a incêndios à divisão de bombeiros militares de cada estado brasileiro, afirmando que por um grande acúmulo de tarefas desses grupamentos alguns assuntos estão fora do conhecimento deles. O autor revela que essa legislação resulta em diferentes determinações em cada estado brasileiro: “As atribuições dos corpos de bombeiros dificultam a padronização das exigências de segurança contra incêndios no Brasil tendo em vista que cada unidade da federação tem a autonomia para estabelecer as próprias exigências através de suas instruções técnicas”. Foram avaliadas as principais medidas demandadas pelos bombeiros no país citando diferentes normativas nacionais e estrangeiras para determinar a sua necessidade e eficiência. Assim, por meio de análise de normas nacionais e códigos estrangeiros, conclui que os projetos de segurança contra incêndio de subestações elétricas deveriam ser analisados individualmente, diferentemente de como ocorre atualmente, pois os bombeiros têm um sistema simplificado para determinar as exigências.

Por fim, o risco a segurança das pessoas, a ineficiência dos hidrantes no combate a incêndios e o alto custo de sua implementação, além dos poucos estudos a respeito do uso de hidrantes em subestações no Rio Grande do Sul, reforçam a necessidade de mais trabalhos de pesquisa a serem realizados referentes a este tema.

## 2.2 Normativos sobre Segurança contra Incêndios em Subestações Elétricas

Este item apresenta os principais normativos existentes no Brasil acerca de subestações elétricas, envolvendo tanto a segurança contra incêndio, como também a segurança do trabalhador nesses locais.

A NBR 16384 (ABNT, 2020) é a Norma Técnica que trata sobre segurança do trabalho em serviços com eletricidade. O documento orienta o trabalho em intervenções em instalações elétricas visando a segurança das pessoas. São definidas formas seguras de projetar e operar instalações elétricas.

A NBR 13231 (ABNT, 2015), por sua vez, trata sobre a proteção de subestações elétricas contra incêndios criando critérios mínimos para a segurança dessas instalações. São apresentados os riscos de incêndio presentes nas subestações e são estabelecidos requisitos para projetar e proteger as subestações contra incêndio determinando os sistemas e equipamentos que devem ser usados para isso.

A NBR 13714 (ABNT, 2000) determina as exigências para a o projeto, instalação, manutenção e utilização de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio. São apresentadas as definições e padrões para tubulações, esguichos, abrigos, válvulas, reservatórios e bombas para diferentes sistemas de hidrantes e mangotinhos e suas aplicações. Essa norma é indicada pela NBR 13231 (ABNT, 2015) para definições referentes à hidrantes. Nessa norma as subestações têm a sua ocupação classificada no grupo I divisão I-2 referente a risco médio, e define o uso do sistema tipo 2 que conta com mangueiras de 40 mm de diâmetro, duas saídas, um mangotinho com mangueira semi-rígida e uma vazão de 300 Litros por minuto.

A Instrução Técnica IT-37 (CBPMESP, 2019) do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo tem o objetivo de regular as medidas de segurança contra incêndio em subestações elétricas. Requisitos básicos de proteção contra incêndio são determinados para cada medida que pode ser exigida para uma subestação. Além disso, é criada uma classificação para subestações e definidas as medidas de segurança exigidas para cada uma das classificações.

A NR 10 (MTE, 2004) - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade é a norma regulamentadora que estabelece as condições e medidas de segurança mínimas para garantir a segurança dos e a saúde dos trabalhadores que tenham contato com equipamentos elétricos e eletricidade. Além disso, define o que é um profissional habilitado e qualificado para trabalho com eletricidade e lista os assuntos que devem ser tratados em um curso para treinamento de profissionais para trabalho com eletricidade.

### 2.3 Enquadramento na legislação

No estado do Rio Grande do Sul, a legislação a ser seguida para os projetos de segurança contra incêndio em edificações e áreas de risco de incêndio é a Lei Complementar nº 14.376 (2013) e suas atualizações.

As diretrizes básicas de segurança contra incêndio são descritas na Resolução Técnica N°01 de 2022 (CBMRS, 2022). Nesse documento também são tratadas as

singularidades de alguns tipos de ocupação, dentre eles as subestações elétricas são um tipo de ocupação que é abordada com mais detalhes. A resolução determina que as medidas de segurança contra incêndio previstas para a ocupação M-6 (Central de Energia) serão as constantes na Tabela 6M.6, do Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas alterações), que está apresentada na Tabela 1, e as previstas na Instrução Técnica IT-37 (CBPMESP, 2019) para as subestações elétricas, até a entrada em vigor de Resolução Técnica específica. Além disso, são descritas regras para substituição de alguma medida de segurança contra incêndio e medidas compensatórias para áreas de risco existentes que podem ser apresentadas pelo responsável técnico do Plano de Proteção e Prevenção contra Incêndio (PPCI) e serão analisadas por uma comissão técnica. Então é definido que como a Instrução Técnica IT-37 (CBPMESP, 2019) estabelece exigências de acordo com o tipo de subestação elétrica, as medidas que não são preconizadas por ela podem ser dispensadas mesmo que exigidas pela tabela 6M.6 do Decreto Estadual n.º 51.803/2014.

Tabela 1 - Exigências para edificações do tipo Centrais de energia<sup>4</sup>

**TABELA 6M.6**  
**EDIFICAÇÕES E ÁREAS DE RISCO DE INCÊNDIO DE DIVISÃO M-6**

Grupo de ocupação e uso	GRUPO M – ESPECIAIS					
Divisão	M-6 – Centrais de Energia					
Medidas de segurança contra incêndio	Classificação Quanto à altura (em metros)					
	Térrea	H ≤ 6	6 < H ≤ 12	12 < H ≤ 23	23 < H ≤ 30	Acima de 30
Acesso de Viatura na Edificação	X	X	X	X	X	X
Segurança Estrutural em Incêndio	X	X	X	X	X	X
Compartimentação Horizontal (áreas)	X <sup>1</sup>	X <sup>1</sup>	X <sup>1</sup>	X	X	X
Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento	X	X	X	X	X	X
Saídas de Emergência	X	X	X	X	X	X
Plano de Emergência	X	X	X	X	X	X
Brigada de Incêndio	X	X	X	X	X	X
Iluminação de Emergência	X	X	X	X	X	X
Detecção de Incêndio	-	-	-	X	X	X
Alarme de Incêndio	X	X	X	X	X	X
Sinalização de Emergência	X	X	X	X	X	X
Extintores	X	X	X	X	X	X
Hidrantes e mangotinhos	X	X	X	X	X	X
Chuveiros Automáticos	-	-	-	X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>
<p><b>NOTA ESPECÍFICA:</b>            1 – Pode ser substituído por sistema de chuveiros automáticos ou por sistema de gases por supressão de ambiente.            2 – O sistema de chuveiros automáticos pode ser substituído por sistema de gases, através de supressão total do ambiente, ou de resfriamento.</p> <p><b>NOTAS GERAIS:</b>            a – Considerando as peculiaridades desta Divisão, o dimensionamento, execução, substituições, isenções ou acréscimo de medidas de segurança contra incêndio serão tratadas em RTCBMRS específica;            b – Para centrais de energia a céu aberto deverão ser observadas exigências constantes em RTCBMRS específica;            c – Medidas de segurança contra incêndio poderão ser substituídas mediante análise e aprovação do CBMRS;            d – Observar ainda as exigências para os riscos específicos das respectivas RTCBMRS.</p>						

As exigências feitas pela Instrução Técnica IT-37 (CBPMESP, 2019) são diferenciadas para cada tipo de subestação, sendo elas: subestação convencional assistida ou teleassistida, subestação de uso múltiplo, subestação compacta abrigada e subterrânea, subestação compacta de uso múltiplo e subestação compartilhada; e de acordo com a capacidade volumétrica dos tanques de óleo isolante dos seus transformadores, divididos em: maior que 20 m<sup>3</sup> de óleo mineral ou maior que 38 m<sup>3</sup> de classe K e menor que 20 m<sup>3</sup> de óleo mineral ou maior que 38 m<sup>3</sup> de classe K.

As subestações classificadas no grupo de menor capacidade de óleo isolante são menos exigentes quanto às medidas de segurança contra incêndio, sendo as obrigatórias:

<sup>4</sup> Tabela 6M.6 do Decreto Estadual n° 51.803/2014 do Estado do Rio Grande do Sul.

- Via de acesso para veículos de emergência
- Parede corta-fogo
- Sistema de contenção de líquido isolante
- Extintores portáteis e sobre rodas
- Sinalização de incêndio

Porém, no grupo de capacidade maior de óleo isolante, tanto as subestações convencionais quanto as de uso múltiplo é exigido sistema de resfriamento por linhas manuais (hidrantes) ou resfriamento por sistema fixo automático (sprinklers, por exemplo), além do sistema de proteção por espuma para tanque do transformador ou para a bacia de contenção de óleo isolante.

Para subestações anteriores a publicação da Lei Complementar nº 14.376 (2013) em 26 de dezembro de 2013, é possível comprovar a sua existência e regularização prévia. Nesses casos, é aceita a adoção de medidas compensatórias em substituição de exigências que forem consideradas tecnicamente inviáveis. Para regulamentar esse processo, o CBMRS publicou a Resolução Técnica CBMRS n.º 05 – parte 07.

A norma NBR 13231 (ABNT, 2015) não determina quando deve ser usado hidrante para proteção contra incêndio nas subestações. Se limita a referir a norma NBR 13714 (ABNT, 2000) para as especificações desse tipo de sistema de proteção.

#### 2.4 Normas e procedimentos internacionais sobre segurança contra incêndio em subestações elétricas

O guia de recomendações de práticas para proteção contra incêndio para subestações elétricas NFPA 850 (2020) diz que as subestações devem ter sistema de hidrante instalado com espaçamento máximo entre pontos de tomada de 90 metros. Esse documento também enfatiza a importância do isolamento de risco entre os transformadores e outros equipamentos, edificações e outros transformadores e determina o uso de sistema fixo automático por água nebulizada ou sistema fixo automático de espuma.

O guia para segurança contra incêndios CIGRE 537 (2013) não exige a implementação de sistema de hidrantes e afirma que muitos corpos de bombeiros não têm treinamento e não são aptos a combater incêndios em transformadores e geralmente não tentarão combater o fogo enquanto não houver garantia de que o risco elétrico foi removido e é seguro entrar na subestação. Além disso, é esclarecido que quando os

transformadores falham resultando em um incêndio, na maioria dos casos ele será perdido de qualquer maneira e o objetivo de combate ao incêndio deve ser proteger os equipamentos e edificações próximas minimizando o dano colateral.

No capítulo 3.3 é abordada detalhadamente a probabilidade de incêndio em transformadores. Nesse texto são apresentados estudos desenvolvidos em diversos países. Compilando esses estudos foi possível chegar na conclusão de que em média a chance de incêndio em um transformador é de 0.1 % por ano. Essa taxa não é negligenciável apesar de ser considerada baixa. Calculando a probabilidade acumulada durante o tempo de serviço de um transformador de 40 anos seria de 4% por equipamento.

O guia para proteção contra incêndio para subestações elétricas IEEE Std 979 (2012) diz que o sistema de hidrantes deve ser considerado quando a capacidade de tanques de armazenamento é maior que 1890 litros, existe um sistema municipal de abastecimento de água e a distância para o hidrante urbano mais perto seja menor que 150 metros. São feitas considerações a respeito de como selecionar as medidas de proteção contra incêndio e nessa análise é recomendada uma análise de viabilidade econômica já que a ocorrência de falha geradora de incêndio em transformadores é muito baixa. Esse guia recomenda que a subestação seja planejada de forma que seja possível fazer um isolamento de risco de incêndio por distanciamento dos transformadores, ou sejam projetadas barreiras corta-fogo e, no caso em que nenhuma dessas medidas for aplicada, deve ser implementado um sistema fixo automático de combate ao incêndio.

### **3 METODOLOGIA**

Para a realização deste trabalho, foram analisadas a Instrução Técnica IT-37 (CBPMESP, 2019), o guia para segurança contra incêndios CIGRE 537 (2013), o NFPA 850 (2020) e o IEEE Std 979 (2012). Foram comparadas as exigências e recomendações dos diferentes documentos e foram apontados os pontos relevantes de discordância com a regulamentação do Corpo de Bombeiros. Na sequência estão apresentados mais alguns itens relacionados a cada um desses procedimentos, especificamente no que tange ao uso de hidrantes em subestações elétricas.

## 4 CÓDIGOS REFERÊNCIA PARA PROJETOS

### 4.1 Instrução Técnica IT-37 (CBPMESP, 2019)

A primeira versão da Instrução Técnica IT-37 (CBPMESP, 2004) foi lançada em 2004. É a primeira regulamentação brasileira que estabelece medidas de segurança contra incêndio específicas para subestações. São definidos requisitos básicos de proteção contra incêndio para extintores de incêndio, barreiras de proteção, paredes corta-fogo, bacia de contenção e drenagem de óleo, sistema fixo automático para proteção contra incêndios, sistema de resfriamento, sistema de detecção e alarme e sistema de espuma fixo ou móvel. Além disso, define as exigências mínimas para cada tipo de subestação elétrica. Nesta versão do procedimento, em nenhum tipo de subestação é feita a exigência de hidrantes.

A Instrução Técnica IT-37/2011 (CBPMESP, 2011) atualizou muitas exigências. A medida sistema de resfriamento foi trocada para sistema manual de resfriamento que deixa mais clara a indicação de hidrantes e mangotinhos. Nessa instrução foram severamente aumentadas as exigências mínimas para combate ao incêndio em subestações. Foi exigida a implementação de três sistemas ativos fixos para proteção contra incêndio; são eles: sistema manual de resfriamento, sistema fixo automático para proteção contra incêndios e sistema de espuma fixo ou móvel; para subestações de uso convencional, subestações de uso múltiplo, subestação compacta de uso múltiplo e subestações compactas abrigadas e subterrâneas. Essas exigências se sobrepunham, pois os sistemas de resfriamento manual e os sistemas fixos automático para proteção contra incêndio tem as mesmas funções no combate ao incêndio: resfriamento, abafamento e encharcamento do material combustível.

Já na versão de 2018 foi alterado um critério para a definição das exigências mínimas para cada tipo de subestação. As exigências das subestações com tanques de óleo isolante com capacidade individual ou fracionado com até 20 m<sup>3</sup> se mineral, e 38 m<sup>3</sup> para classe K são menores do que as com mais. A classificação inferior foi liberada da implementação de sistemas ativos fixos para proteção contra incêndio com exceção das subestações compactas que são exigidas o uso de sistema fixo automático por gás pelo método de inundação total para as subestações compartilhadas que são exigidas o uso de sistema de água nebulizada por aspersores ou linhas manuais. Para subestações elétricas com tanques de óleo isolante com capacidade individual ou fracionado maior que 20 m<sup>3</sup> se mineral, e maior que 38 m<sup>3</sup> para classe K é implementada uma escolha entre os sistemas

de resfriamento manual e os sistemas fixos automático para proteção contra incêndio não sendo mais obrigatório a utilização dos dois sistemas em conjunto. O sistema de proteção por espuma continua sendo exigido.

A Instrução Técnica IT-37/2019 (CBPMESP, 2019) é a atualização mais recente, na qual, foram alteradas algumas referências normativas e foi adicionado um anexo definindo na própria IT, parâmetros de dimensionamento dos sistemas de extintores de incêndio, linhas de espuma, linhas de resfriamento e taxa de aplicação e tempo de espuma para bacia de contenção.

#### 4.2 *Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations - NFPA 850 (2020)*

Esse guia se concentra em criar recomendações para proteção contra incêndio para plantas de geração de energia e subestações de energia de alta tensão. O foco do documento é guiar os responsáveis técnicos para projetar, construir, operar e proteger as áreas de risco em questão. Para isso foram redigidas recomendações visando:

- Proteger os funcionários do local
- Reduzir danos nos equipamentos das subestações
- Reduzir a interrupção do serviço de abastecimento de energia elétrica
- Evitar danos ambientais

São feitas ressalvas quanto ao uso de sistemas de combate manuais alertando que o tempo de resposta da brigada de incêndio e do Corpo de Bombeiros pode ser muito alto, várias horas podem se passar até a chegada desses atores, o que é inaceitável para o combate da maior parte dos riscos existentes nas subestações. Além disso, muitas dessas áreas de risco não possuem funcionários atuando rotineiramente, o que retarda o alerta de possíveis princípios de incêndio que seriam facilmente identificáveis. Os sistemas automáticos de combate ao incêndio que utilizam de sensores para sua ativação não são afetados por tais dificuldades e devem ser considerados.

Este documento recomenda fortemente que transformadores que utilizam óleo isolante devem ser separados de estruturas próximas por paredes corta-fogo, distância espacial ou outros meios aprovados com o propósito de limitar o dano e potencial espalhamento do fogo gerado pela falha de um transformador. E caso essas medidas não

forem tomadas estabelece que a proteção por sistemas automáticos de chuveiros de água, água com aditivos ou sistemas de espuma devem ser instalados no local.

#### 4.3 *IEEE Guide for Substation Fire Protection- IEEE Std 979 (2012)*

Esse guia se concentra em estabelecer padrões de mercado e boas práticas para projetos de proteção e combate contra incêndio para subestações de energia elétrica. São elencados os riscos de incêndio das subestações de forma resumida. São também recomendadas medidas de segurança contra incêndio para as subestações e em seguida para os seus equipamentos. Existe também um capítulo abordando a seleção de medidas de proteção, com um foco em recomendações de análises de risco econômico e de relação custo-benefício.

Esse documento reforça a importância do isolamento de risco com a medida de distância mínima de separação e, caso não seja possível implementá-la, deve-se utilizar uma parede corta-fogo para mitigar o risco de espalhamento de um eventual incêndio no transformador. Nas situações em que não são aplicadas nenhuma das medidas de isolamento de risco o guia sugere o uso de sistemas automáticos de combate ao incêndio.

Para que não seja necessária a exposição de pessoas ao risco de eletrochoque, o combate ao incêndio manual não deve ser priorizado ao seguir esse guia para confeccionar um projeto de prevenção e combate contra incêndio de subestações. É recomendado a implementação de sistemas de combate automatizados.

#### 4.4 *Guide For Transformer Fire Safety Practices - CIGRE 537 (2013)*

Esse guia se dedica a auxiliar a definição de boas práticas e sua aplicação em projetos de segurança contra incêndio em transformadores. No documento são feitas análises dos cenários de incêndio em transformadores, apresenta dados técnicos e estatísticos referentes ao tema, comenta e avalia métodos de mitigação e controle de danos causados por incêndios em subestações, explica a importância e como elaborar planos de emergência.

É enfatizado nesse documento as prioridades que devem ser tomadas durante a mitigação de um incêndio em transformador. Essas devem ser:

- Prevenir acidentes e ferimentos em pessoas e danos subsequentes das chamas nas instalações da subestação;

- Evitar queda no abastecimento de energia provido pela estação, e, caso não for possível minimizar o tempo de interrupção;
- Reduzir e se possível impedir a poluição e contaminação do meio ambiente no entorno da subestação.

Após analisar vários sistemas de proteção e mitigação de danos causados por incêndios em subestações, foram classificadas como estratégias de maior impacto:

- Distância mínima de separação (para subestações convencionais com área disponível)
- Parede corta-fogo (para subestações convencionais sem área disponível para distância mínima de separação)
- Cobertura do piso do pátio com pedra britada (para conter o óleo mineral de isolamento e reduzir a proliferação das chamas)
- Sistema fixo automático por água nebulizada (para projetos nos quais as medidas anteriores não são práticas ou tem um custo-benefício baixo)

## **5 ANÁLISES E DISCUSSÕES**

A Tabela 2 apresenta, de forma compilada, os principais pontos referentes aos procedimentos normativos que foram analisados neste trabalho (descritos no item 4), no que tange a segurança contra incêndio em subestações elétricas, e ao uso de hidrantes nestes locais como medida de proteção. Importante salientar que para cada item apresentado há a inclusão do número da seção que o item está apresentado no referido procedimento.

Tabela 2 – Comparação entre as exigências do Corpo de Bombeiros CBMESP e as recomendações de normativas internacionais

	CBPMESP IT-37	IEEE - 979	NFPA - 850	CIGRE - 537
Separação	5.4.4 É obrigatória a aplicação de separação espacial ou parede tipo corta-fogo entre transformadores, equipamentos elétricos e edificações próximas de outros transformadores da subestação.	7.1 A separação espacial é um método efetivo para reduzir o espalhamento ou danos causados por incêndio em equipamentos com óleo mineral isolante.	6.1.4.1 Transformadores isolados com óleo mineral devem ser separados de outras estruturas e entre si por paredes corta-fogo, separação espacial ou outro método usado para limitar o dano e potencial de espalhamento das chamas de uma falha em um transformador.	3.4 A separação espacial normalmente é a melhor estratégia de manejo de risco em subestações ao ar livre onde o custo do terreno é baixo.
Medida compensatória para separação espacial	Permite o uso de paredes corta-fogo	7.1 Quando não é possível aplicar a distância de separação recomendada em subestações, devem ser usadas outras medidas mitigadoras, como parede corta-fogo, entre outras (CITAR EXEMPLOS).	9.7.9 Transformadores que não atendem a distância de separação espacial ou parede corta-fogo recomendadas devem ser protegidos por sistema automático <i>water spray</i> , sistemas com água e aditivos ou sistema de espuma- <i>water spray</i> .	3.4 Em subestações compactas e onde o custo do terreno é alto é recomendado o uso de paredes corta-fogo ou sistema <i>water spray</i> .
Medida compensatória para paredes corta-fogo	não há	8.4 Sistemas de supressão de fogo ativos e automáticos devem ser considerados juntamente com as paredes corta-fogo quando as separações espaciais recomendadas não forem cumpridas		7.5.1 Onde as medidas passivas de proteção não forem práticas, pode ser usado um sistema de <i>water spray</i> .
Exigência de hidrantes	5.6.1.6 Sistema de resfriamento por linhas manuais é exigido para subestações elétricas com transformadores que possuem armazenamento de óleo, onde o tanque ou o conjunto de tanques, de cada transformador, possui capacidade volumétrica maior que 20m <sup>3</sup> de óleo mineral.	7.6 Em locais que possuem suprimento público de água, deve ser considerado o uso de hidrantes dentro de 150 metros de equipamentos com óleo mineral isolante e prédios. No capítulo dedicado à listar e especificar as medidas de controle ao fogo (7.3), o sistema de hidrantes não é citado	9.7.10 Subestações localizadas na estação geradora de energia e usam óleo isolante combustível devem ser protegido por sistema de hidrantes onde for conveniente. 7.4.1 Hidrantes devem ser instalados na planta da subestação com um espaçamento máximo de 90 metros.	7.3.1 Hidrantes devem ser localizados em distância suficiente do transformador para seu acesso com segurança durante um incêndio.

Continuação Tabela 2 - Comparação entre as exigências do Corpo de Bombeiros CBMESP e as recomendações de normativas internacionais

	CBPMESP IT-37	IEEE - 979	NFPA - 850	CIGRE - 537
Método para selecionar medidas de proteção	não há (as medidas de segurança contra incêndio são definidas por método prescritivo sem a possibilidade do projetista definir sobre elas.)	9 É sugerido avaliar as medidas de acordo com a sua efetividade, disponibilidade e confiabilidade. Além disso, é sugerido o uso de análise econômica baseada em risco e em custo-benefício.	4.4.1 Os agentes responsáveis devem estabelecer objetivos e avaliar se as recomendações da NFPA 850 são adequados para esses objetivos. O critério de aceitabilidade deve considerar a perspectiva de todos esses agentes. 4.4.2 Se o projeto não está de acordo com a NFPA 850 deve ser feito uma avaliação de riscos para garantir a segurança. Esse documento deve retornar ao processo de revisão.	Apenas recomenda avaliar qual o nível de risco de incêndio é aceitável para cada transformador. Além disso, declara que no caso de uma falha gerar fogo em um transformador, ele está destruído na maioria dos casos. Então o objetivo deve ser proteger os equipamentos adjacentes para minimizar o dano colateral.
Considerações para subestações em locais remotos	não há	A.6 Caso não haja serviço de bombeiros na região, não deve ser usado métodos de combate manual ao incêndio.	5.4.4.2.2 É importante se atentar ao tempo de resposta do corpo de bombeiros (que pode ser de várias horas) e a falta de pessoal no local para alertar a situação de incêndio.	8.3.3 Como é frequente que subestações de energia não tenham abastecimento de água, devem ser aplicados sistemas de combate ao incêndio que não dependam de combate manual dos bombeiros.
Aterramento do sistema de hidrantes para operação	não há	A.7 Sistemas de hidrantes devem ter aterramento adequado para a sua operação em combate ao incêndio. Caso o suprimento de água ou os recursos dos bombeiros do local sejam insuficientes, proteções ativa automática ou passiva devem ser consideradas	5.4.4 Aterramento dos equipamentos e desenergização são itens que devem estar presentes no <b>Fire Emergency Plan</b> . Porém não são determinados parametros para esses procedimentos	8.3.3 Os corpos de bombeiros geralmente não farão combate ao incêndio até terem certeza de que os riscos de eletrocução foram removidos e é seguro entrar na subestação. Além disso, para contar com o combate do corpo de bombeiros é necessário familiarizá-los à subestação de forma que eles conheçam as instalações e seus sistemas de proteção.
Desenergização	não há	D.5 Todas as possibilidades de desenergização devem ser tentadas antes de iniciar uma tentativa de extinção de incêndio.		

Os textos analisados se assemelham ao enfatizar a grande importância da separação espacial entre o transformador isolado por óleo mineral e outros transformadores e equipamentos. O isolamento do incêndio é muito importante para evitar danos colaterais às proximidades. A Instrução Técnica IT-37 (CBPMESP, 2019), obriga a aplicação da separação espacial ou paredes corta-fogo entre transformadores, equipamentos elétricos e edificações próximas de outros transformadores da subestação e não permite adoção de medidas compensatórias para substituição desses sistemas.

As paredes corta-fogo criam uma barreira necessária para impedir o alastramento das chamas na subestação. Esse método é utilizado para restringir a irradiação do calor e pode ser utilizado em plantas mais compactas onde não há espaço para ser usado como área livre para separação e isolamento de riscos de incêndio, como subestações situadas em espaços urbanos. De modo oposto à Instrução Técnica IT-37 (CBPMESP, 2019), os códigos de referência adotados permitem a utilização de outros sistemas como medida compensatória para o isolamento de risco por separação espacial e paredes corta-fogo, principalmente sistemas ativos e automáticos de combate ao incêndio, como o *water spray*.

Quanto à exigência de hidrantes na subestação de energia, a legislação brasileira analisada obriga de maneira prescritiva o seu uso onde houver transformadores onde o tanque ou o conjunto de tanques, de cada transformador, possui capacidade volumétrica maior que 20 m<sup>3</sup> de óleo mineral. As normativas estrangeiras analisadas recomendam a implementação de sistema de hidrantes, porém citam a dificuldade para o combate manual ao incêndio nas subestações elétricas de maneira segura. É descrita nos documentos IEEE Std 979 (2012) e NFPA 850 (2020) a importância da desenergização da subestação para a segurança dos bombeiros que estão entrando no local para o controle das chamas. Porém, o procedimento de desenergização é bastante complicado, muitas subestações podem não estar preparadas para isso numa ocorrência de incêndio e não são determinados parâmetros para esse procedimento ser implementado de forma satisfatória. O texto CIGRE 537 (2013) afirma que o Corpo de Bombeiros não fará combate ao incêndio até terem certeza de que os riscos de eletrocussão foram removidos. Por isso, foi notada uma contradição ao recomendar o uso do sistema de hidrantes e reportar esses problemas sérios relacionados ao seu uso.

Na IEEE Std 979 (2012) são definidos métodos para a seleção de medidas de proteção contra incêndio que possibilitam maior agência para o engenheiro responsável projetar o que for mais adequado para cada subestação. Através da análise de econômica

baseada em risco e custo-benefício é possível implementar sistemas que são necessários e dispensar os sistemas que não seriam utilizados, por problemas de segurança por exemplo. Outro método que é descrito na NFPA 850 (2020) é estabelecer objetivos e avaliar as recomendações desse documento para avaliar se correspondem aos critérios de aceitabilidade dos agentes responsáveis pelo projeto. Caso seja decidido que as recomendações técnicas não são adequadas, deve ser feito uma avaliação de riscos para garantir a segurança do projeto.

O incêndio em transformadores, em sua maioria, é uma falha irreversível para esses equipamentos. Por isso, o combate a esse evento deve ter o foco em preservar os equipamentos e edificações próximas e garantir a segurança das pessoas. Foi constatado que todos os guias internacionais para projeto de subestações específicos para proteção contra incêndio recomendam como medida mais importante o isolamento de risco através de distância de separação entre equipamentos e edificações e a construção de paredes corta-fogo. Isso se deve à uma grande preocupação quanto à contenção das chamas na menor área possível dentro da subestação afetando o menor número de equipamentos possível.

Os métodos prescritivos impostos pelas Legislações Estaduais e Corpos de Bombeiros não se mostram adequados para as subestações, pois são projetos de alta complexidade que apresentam equipamentos específicos inerentes ao uso de corrente elétrica de alta tensão e plantas com singularidades importantes que necessitam considerações de forma individualizada. Por isso, as medidas requeridas poderiam ter seu desempenho estudado para cada projeto de subestação.

Ainda, há uma deficiência nas normas ABNT de incêndio que apenas citam as medidas de proteção contra incêndio e indicam norma específica para as medidas quando forem previstas enquanto se abstêm de definir quando devem ser aplicadas.

Ao contrário de várias outras medidas protetivas, foi constatada uma escassez de estudos referentes à segurança e efetividade do uso de hidrantes para combate ao incêndio em transformadores. As normas brasileiras não abordam o assunto e não fazem nenhuma recomendação específica referente ao tema. No entanto, a legislação emitida pelos bombeiros de vários estados do Brasil, incluindo o Rio Grande do Sul e São Paulo, exigem essa implementação.

A exigência do uso de sistema de hidrantes em subestações elétricas deveria ser acompanhada de uma preocupação quanto a alta tensão presente nos equipamentos dessas plantas. Essa questão não é mencionada nas normas brasileiras, nem nos procedimentos

dos Corpos de Bombeiros. Porém, de acordo com a NR 10 (MT, 2019), é necessário desenergizar qualquer equipamento elétrico para a segurança da ação dos bombeiros, com o agravante de que as subestações de distribuição de energia operam com a presença de alta tensão que eleva os riscos da operação no local. Para lidar com esses riscos, seria necessário o treinamento específico para os bombeiros e brigada de incêndio trabalharem nessas condições de alto risco de choque elétrico.

O processo de desenergização de instalações elétricas compreende uma sequência de procedimentos de segurança que são descritos na NR 10. São eles:

- Seccionamento;
- Impedimento de reenergização;
- Constatação da ausência de tensão;
- Instalação de aterramento temporário com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- Proteção dos elementos energizados existentes na zona controlada;
- Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

Como esses procedimentos levam muito tempo, devemos considerar que ao somarmos o tempo de resposta dos bombeiros possivelmente a ação de combate ao incêndio que seria provida através do uso do sistema de hidrantes não terá a efetividade desejada. Por isso, sistemas automáticos de combate ao incêndio precisam ser avaliados para o caso de necessidade de se utilizar um sistema ativo para suprimir as chamas.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

É notável a falta de estudos profundos sobre o tema da aplicação de hidrantes em subestações de energia elétrica. Os guias e procedimentos normativos para projeto analisados nesse trabalho por vezes indicam o uso de hidrantes para serem usados pelos bombeiros como sistema de resfriamento para os transformadores, porém nenhum documento apresentou estudos ou argumentos relativos à eficiência desse sistema e comparação com os outros sistemas de combate ao incêndio disponíveis, como por exemplo, chuveiros automáticos, água nebulizada, água nebulizada sob alta pressão. Como o sistema de hidrantes depende de operação manual, ele somente será ativado pela brigada de incêndio ou após a resposta e locomoção do Corpo de Bombeiros responsável pela região. Porém, é importante atentar ao fato de que grande parte das estações são

teleassistidas e provavelmente não terão resposta de brigada de incêndio. É de grande preocupação os graves riscos atrelados ao combate manual das chamas nas subestações de energia. Esses problemas não ocorrem na ativação dos sistemas fixos automáticos de combate ao incêndio, pois são ativados imediatamente através de sensores que identificam os princípios de incêndio e não necessitam de pessoas para o seu funcionamento.

O método de classificação das subestações para a definição de medidas de combate ao incêndio exigidas pelo Corpo de Bombeiros não leva em conta as individualidades de cada subestação que são instalações muito complexas. Seria de grande benefício a compreensão de que uma falha de um transformador que gera uma explosão ou incêndio é geralmente irreversível então o foco do combate ao incêndio deve ser isolar as chamas protegendo os outros equipamentos e as edificações.

#### 6.1 Recomendações com base nas análises e discussões

Os hidrantes que são implementados nas subestações de energia por imposição da Legislação Estadual de segurança contra incêndio têm altas chances de não serem utilizados em uma emergência. Por isso, seria positivo uma alteração nas exigências para sistemas de segurança que não utilizem combate manual ao incêndio em transformadores isolados por óleo mineral.

Alguns exemplos de medidas que podem ser aplicadas com segurança em subestações de energia:

- Sistema de contenção de líquido isolante
- Revestimento do solo com pedra britada
- Sistemas de resfriamento fixos automáticos como sprinklers
- Manutenções periódicas nos equipamentos para evitar incêndios e explosões

Caso seja considerado necessário o uso dos hidrantes, ou a substituição deles não seja recomendada, podem ser adicionadas as seguintes medidas para tornar o seu uso mais seguro:

- Criar um plano de emergência que inclua a desenergização da subestação
- Em conjunto com os bombeiros regionais, fazer visitas de reconhecimento da subestação
- Implementar sensores e alarmes para a rápida identificação de incêndios

## 6.2 Sugestões de trabalhos futuros

Como recomendação para futuros trabalhos, sugere-se uma análise de efetividade de combate ao incêndio em subestações com e sem hidrantes por meio de métodos de análise por desempenho, comparação de custos de implementação de hidrantes e outros sistemas em subestações, pesquisar se há métodos que garantem a segurança do uso de hidrantes para combate manual ao incêndio em uma subestação de energia e pesquisar aplicabilidade de hidrantes e outros sistemas de combate ao incêndio em estações geradoras de energia elétrica.

## 7 BIBLIOGRAFIA

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13.231. Associação Brasileira de Normas Técnicas: Proteção contra incêndio em subestações elétricas. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. NBR 13.714. Associação Brasileira de Normas Técnicas: Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. NBR 16.384. Associação Brasileira de Normas Técnicas: segurança em eletricidade: recomendações e orientações para trabalho seguro em serviços com eletricidade. Rio de Janeiro, 2020.

ALVES, Natanea Ap<sup>a</sup>. 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.

BONATTO, Daniel Rogério. Plano de prevenção e proteção contra incêndios em uma subestação de energia. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Regional Do Noroeste Do Estado Do Rio Grande Do Sul, Ijuí, 2017.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2004.

CONSEIL INTERNATIONAL DES GRANDS RÉSEAUX ÉLECTRIQUES. CIGRE 537: Guide for Transformer Fire Safety Practices. 2013.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SÃO PAULO. IT 37: Subestação Elétrica. São Paulo-SP, 2011.

DUARTE, D. C. L.; PENA, M. M.; DUTRA, K. L. C.. Visão Geral sobre Incêndio em Transformadores no Brasil. *Flammae*, v. 2, p. 188-209, 2016.

FINOCCHIO, Marco Antonio Ferreira; BARBOSA, Thales Mendes; BRANDÃO, Emmanuely Antonia. Estudo relacionado aos sistemas de proteção de incêndio em transformadores de potência a óleo mineral. IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa, 2019.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE 979: Guide for Substation Fire Protection, New York-NY, 1994.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 850: Recommended Practice For Fire Protection For Electric Generating Plants And High Voltage Direct Current Converter Stations. NFPA, 2015.

PEREIRA, Paulo Henrique. Proteção contra incêndio para transformadores de força em subestações convencionais. *Revista Técnico-Científica*, n. 6, 2017.

PONTES, Rosemeri oliveira. Modelo matemático para explosões em transformadores. 2001. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

RIO GRANDE DO SUL. BRIGADA MILITAR DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, COMANDO DO CORPO DE BOMBEIROS. Resolução Técnica CBMRS n.º 05 – parte 07. Processo de segurança contra incêndio: Edificações existentes. Rio Grande do Sul. 2016.

RIO GRANDE DO SUL. Lei complementar n.º 14.376, de 26 de dezembro de 2013. Assembleia Legislativa do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 26 dez. 2013.

RIO GRANDE DO SUL. Decreto n. 51.803, de 10 de setembro de 2014. Regulamenta a Lei Complementar n.º 14.376, de 26 de dezembro de 2013, e alterações, que estabelece

normas sobre segurança, prevenção e proteção contra incêndio nas edificações e áreas de risco de incêndio no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

TAVEIRA, Arthur Breciani dos Santos Marques. Incêndios em subestações elétricas do METRÔ-DF: proposta de criação de um Procedimento Operacional Padrão. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Formação de Oficiais) - Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2019.