

SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS EM SUBESTAÇÃO ELÉTRICA: PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS MITIGADORAS E COMPENSATÓRIAS

*Anderson Senhuk*¹

<https://orcid.org/0009-0002-7757-1605>

*Gilberto de Araújo Pereira*²

<https://orcid.org/0000-0002-9149-6368>

RESUMO

O objetivo deste estudo foi realizar um levantamento das CTUIs (Comissão Técnica de Última Instância) disponíveis no site do Corpo de Bombeiros de São Paulo no período de 2020 a 2023 para análise de medidas mitigadoras e compensatórias para a aprovação do AVCB (Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros) em subestação elétrica com inviabilidade técnica para a execução das obras. A partir de 96 CTUIs analisadas, foram propostas medidas mitigadoras e compensatórias a serem implantadas pela inviabilidade técnica da instalação de PCF – Parede Corta Fogo, Bacia de Contenção e Caixa Separadora de Água e Óleo. Também foi padronizado um checklist das documentações comprobatórias de antiguidade e inviabilidade técnica, das medidas mitigadoras e compensatórias pela ausência de cada tipo de sistema e das documentações e memoriais para a aprovação do projeto de combate à incêndios. A análise de implantação das medidas mitigadoras e compensatórias apresentaram um valor mínimo de 1,03% e máximo de 4,15% frente aos custos frente às soluções de obras de *retrofit* e/ou substituição dos transformadores com óleo mineral por transformadores com óleo vegetal, sendo viável financeiramente para a organização. Espera-se que os resultados deste estudo possam contribuir para melhoria da gestão dos processos e manutenção do sistema de proteção e combate à incêndios. Este estudo serve como subsídio para manter as instalações seguras, evitando passivos de segurança contra incêndios e ambiental, conforme as exigências das legislações específicas.

Palavras-chave: Transformador de Potência, Óleo Mineral Naftênico, Óleo Vegetal Isolante, Incêndios em Transformadores.

¹Mestrando em Inovação Tecnológica, especialista em Gestão de Projetos e em Engenharia de Segurança do Trabalho, engenheiro electricista. E-mail: dekunhes@hotmail.com;

²Doutor em Estatística, docente do Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica. E-mail: gilberto.pereira@hotmail.com

FIRE SAFETY IN ELECTRIC SUBSTATIONS: PROPOSING MITIGATING AND COMPENSATORY MEASURES

ABSTRACT

The aim of this study was to carry out a survey of the CTUIs (Technical Commission of Last Resort) available on the São Paulo Fire Department website from 2020 to 2023 to analyze mitigating and compensatory measures for the approval of the AVCB (Fire Department Inspection Certificate) in electrical substations with technical infeasibility for the execution of the works. Based on the 96 CTUIs analyzed, mitigating and compensatory measures were proposed to be implemented due to the technical unfeasibility of installing a PCF - Firewall, Containment Basin and Oil and Water Separator Box. A checklist was also standardized of the documentation proving the age and technical unfeasibility, the mitigating and compensatory measures for the absence of each type of system and the documentation and memorials for the approval of the fire-fighting project. The analysis of the implementation of mitigating and compensatory measures showed a minimum value of 1.03% and a maximum value of 4.15% compared to the costs of retrofitting and/or replacing transformers with mineral oil with transformers with vegetable oil, making it financially viable for the organization. It is hoped that the results of this study will help to improve the management of processes and maintenance of the fire protection and firefighting system. This study serves as a subsidy to keep installations safe, avoiding fire safety and environmental liabilities, in accordance with the requirements of specific legislation.

Keywords: Power Transformer, Naphthenic Mineral Oil, Insulating Vegetable Oil, Transformer Fires.

Artigo Recebido em 14/08/2024
Aceito em 03/12/2024
Publicado em 21/12/2024

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a segurança contra incêndios foi colocada em segundo plano até as ocorrências de grandes incêndios ocorridas na década de 60/70. A regulamentação relativa ao tema era esparsa e incipiente e, de acordo com Silva (2014), podem ser relatados grandes incêndios em sequência, como: Gran Circo Norte americano em Niterói-RJ, com 500 mortos e 400 feridos (1961); Edifício Andraus em São Paulo com 16 mortos e 336 feridos (1972), Edifício Joelma em São Paulo, com 179 mortos e 320 feridos (1974); Edifício Andorinha, Rio de Janeiro, com 21 mortos e 50 feridos (1986).

Dentre as prováveis causas destes incêndios estão as construções sem devidas medidas de proteção e combate à incêndios.

A reformulação das medidas de segurança contra incêndios no Brasil foi iniciada em 1974 (São Paulo, 1974), através do Decreto Municipal nº 10.878 pela Prefeitura Municipal de São Paulo, logo após a catástrofe do incêndio no edifício Joelma (1974) e em seguida incorporada à Lei nº 8.266 e em 1975 o novo Código de Edificações para o município de São Paulo (São Paulo, 1975). Segundo Silva (2014) neste ano houveram as reestruturações das Corporações do Corpo de Bombeiros no Brasil, com a criação do comando Estadual, implantando a missão de evitar incêndios conforme recomendação da NFPA (*National Fire Protection Association*).

As normas e instruções técnicas que determinam o sistema de segurança contra incêndios no Brasil e no mundo passaram por dezenas de atualizações e mudanças, provocadas pelas lições aprendidas nos desastres ocorridos, como também pelo resultado das pesquisas e inovações (São Paulo, 2024a).

A segurança contra incêndios no Brasil é majoritariamente implantada por cada Estado da Federação, através de decretos estaduais e instruções

técnicas. e quando necessário, deve seguir a legislação do Estado de São Paulo (Silva, 2014).

Com as alterações destas normas e regulamentações, surgiram não conformidades frente à ausência das medidas de segurança contra incêndios exigidas. No contexto central deste estudo estão as subestações das concessionárias de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, que precisam adequar suas instalações conforme as exigências estipuladas na IT 37/2019 – Subestação Elétrica, do Corpo de Bombeiros de São Paulo (São Paulo, 2024a).

A limitação do espaço físico é um grande problema enfrentado pelas concessionárias de energia elétrica, para construção do sistema de proteção e combate à incêndios com resfriamento com água e espuma para os transformadores com volume de óleo mineral maior que 20m³ e óleo vegetal com volume maior que 38m³, uma vez que centenas de suas subestações foram construídas na década de 80 (São Paulo, 2024a).

Neste contexto, este trabalho se propõe a analisar CTUIs (Comissão Técnica de Última Instância) e apresentar orientações com proposição de medidas mitigadoras e compensatórias para adequação das subestações elétricas às normativas do Corpo de Bombeiros. O objetivo das adequações é buscar a aprovação do Auto de Vistoria (AVCB), fundamental para redução dos riscos de incêndio, evitando impactos negativos ao meio ambiente e à saúde das pessoas

2. METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa descritiva de caráter aplicada, do tipo estudo de caso com abordagem qualitativa e quantitativa, de corte transversal, a partir de dados secundários e dados primários, coletados *in loco* no cenário da empresa em estudo.

Foram levantadas as CTUIs no site do Corpo de Bombeiros para o período de 2020 a 2023 (São Paulo, 2024b). Pela análise das CTUIs encontradas foram determinadas quais as medidas mitigadoras e compensatórias a serem implantadas pela inviabilidade técnica da instalação de PCF – Parede Corta Fogo, Bacia de Contenção e CSAO – Caixa Separadora de Água e Óleo. Também foram elaborados os checklists das documentações comprobatórias de antiguidade e inviabilidade técnica, das CTUIs com as medidas mitigadoras e compensatórias pela ausência de cada tipo de sistema, das documentações e memoriais para a aprovação do projeto de combate à incêndios.

Como estudo de caso, foram selecionadas 12 subestações com inviabilidade técnica de uma concessionária de energia, apresentando os tipos de inviabilidade e a classificação dos transformadores (tabela 2).

Em seguida, realizou-se o levantamento e comparação dos custos da implantação das medidas mitigadoras e compensatórias frente aos custos de substituição dos transformadores e ou a realização de obras de *retrofit* das subestações.

A composição do custo das obras foi realizada considerando as seguintes variáveis:

a) valor residual dos transformadores e demais equipamentos da subestação, classificados como OPEX (*Operational Expenditure*) na baixa do ativo imobilizado na unitização da obra (Equação 1).

$$\text{Valor residual (VR)} = [(VT - VDP) + CMT] * 100 \quad (1)$$

onde VR é o valor residual do transformador, VT é o valor de aquisição do transformador, VDP é o valor depreciado e CMT é o custo de manutenção do transformador durante a vida útil.

b) custo modular para a substituição dos transformadores e *retrofit* da subestação, classificados como CAPEX (*Capital Expenditure*) (Equação 2).

$$CMOST = (VT + CO) \quad (2)$$

onde CMOST é o custo modular da obra de substituição do transformador, VT é o valor do transformador e CO é o Custo da Obra.

c) custo da implantação de medidas mitigadoras e compensatórias classificadas como CAPEX (*Capital Expenditure*) e serão unitizadas nas devidas subestações, acrescidas aos valores residuais dos transformares (Equação 3).

$$CMMC = (CSPCI + CO + CT) \quad (3)$$

onde CMMC é o Custo das Medidas Mitigadoras e Compensatórias, CSPCI é o Custo do Sistema de Proteção e Combate à Incêndios, CO é o Custo da Obra e CT é o Custo do Treinamento.

Logo tem-se, o cálculo do percentual de custo da implantação das medidas mitigadoras frente à solução das obras na SE (Equação 4).

$$\% CMMC = \left[\left(CMMC + \frac{VR}{CMOST} \right) * 100 \right] \quad (4)$$

Onde %CMMC é o Percentual do Custo das Medidas Mitigadoras e Compensatórias, VR é o Valor Residual e VT é o Valor do Transformador

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do levantamento no site do Corpo de Bombeiros de São Paulo (São Paulo, 2024b), foram encontradas 96 CTUIs para consulta, correspondente ao período de 2020 a 2023 (Tabela 1).

Tabela 1 - Estratificação das CTUI (Comissão Técnica de Última Instância) por tipo de ocupação, realizadas no período de 2020 a 2023.

Ocupação	Deferidas Nº (%)	Indeferidas Nº. (%)
1-Habitação multifamiliar	12 (48%)	13 (52%)
2-Local onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais	7 (70%)	3 (30%)
3-Local para prestação de serviço profissional ou condução de negócio	4 (50%)	4 (50%)
4-Hotel e assemelhado	4 (66,7%)	2 (33,3%)
5-Comércio com média e alta carga de incêndio	3 (50%)	3 (50%)
6-*Depósito com carga de incêndio superior a 1.200 MJ/m ²	3 (60%)	2 (40%)
7-Indústria com carga de incêndio acima de 300 MJ/m ² até 1.200 MJ/m ²	2 (40%)	3 (60%)
8-Hospital e assemelhado	2 (40%)	3 (60%)
9-Líquido ou gás inflamável ou combustível	1 (33,3%)	2 (66,7%)
10-*Hangar	2 (100%)	0
11-Shopping center	1 (50%)	1 (50%)
12-Clínica e consultório médico e odontológico	1 (50%)	1 (50%)
13-Subestação Elétrica	0	2 (100%)
14-Garagem com acesso de público e sem abastecimento	1 (100%)	0
15-*Indústria de Material Bélico	1 (100%)	0
16-Escola em geral	1 (100%)	0
17-*Comércio – Alta Carga de Incêndios	1 (100%)	0
18-Local para refeição	1 (100%)	0
19-Indústria de defesa	1 (100%)	0
20-Pré-escola	1 (100%)	0
21-Centro de Treinamento profissional	1 (100%)	0
22-Depósito com carga de incêndio acima de 300 MJ/m ² até 1.200 MJ/m ²	1 (100%)	0
23-Clube social e Salão de Festa	1 (100%)	0
24-Comércio com baixa carga de incêndio	0	1 (100%)
25-Comércio – Baixa Carga de Incêndios	0	1 (100%)
26-Aeroporto	0	1 (100%)
27-Silos	0	1 (100%)
28-Estação e terminal de passageiro	0	1 (100%)
TOTAL	52 (54,2%)	44 (45,8%)

*SPCI similar para Subestação Elétrica; MJ: megajoule, m²: metro quadrado, SPCI: sistema de proteção e combate à incêndios

Com base na análise destas CTUIs, separou-se os tipos de inviabilidades técnicas que podem ser aplicadas a subestações elétricas. As que se assemelham com parede corta fogo foram as CTUIs 2661456 e 2434469, com bacia de captação de óleo e caixa separadora de água e óleo, a CTUI 2455096 e, com sistema de proteção e combate à incêndios (SPCI) com resfriamento e espuma, as CTUIs 2531258, 2531267, 2434469 e 2583887. Os números das CTUIs foram mantidos para consulta no site do Corpo de Bombeiros de São Paulo.

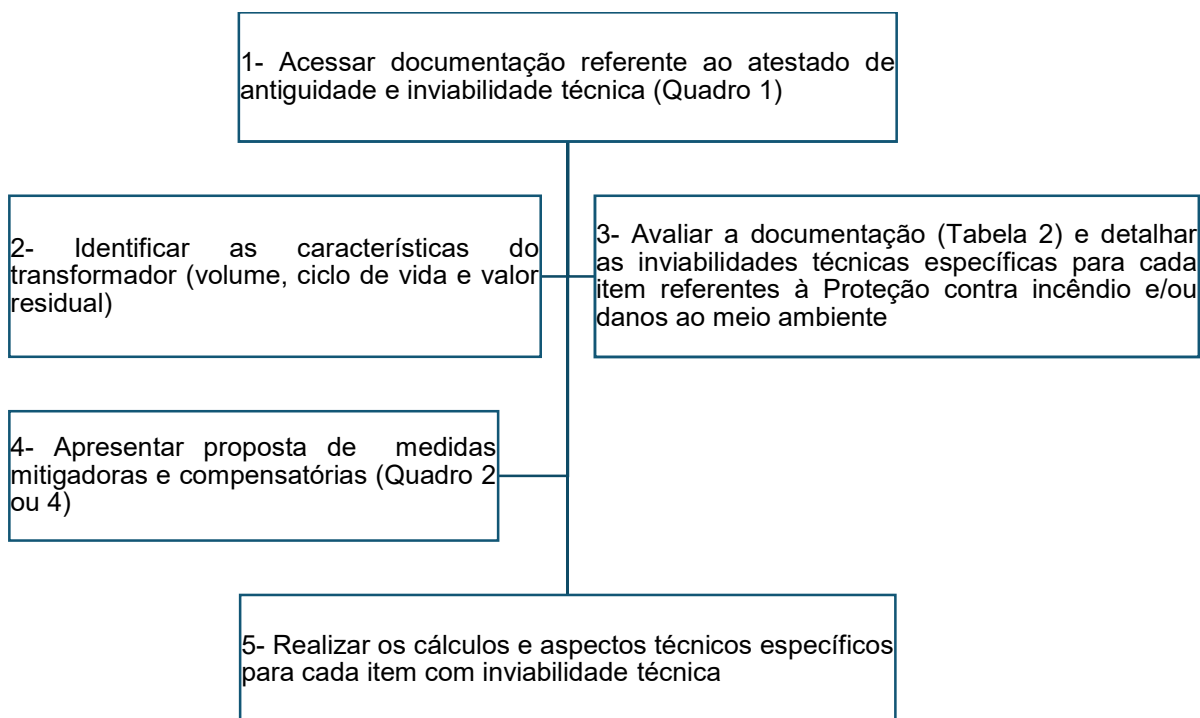
Estes dados serviram como base para a proposição das medidas mitigadoras e compensatórias nas subestações com inviabilidade técnica. Diante desta análise, entende-se que fica sob responsabilidade do responsável técnico de nível superior, legalmente habilitado, indicar as medidas mitigadoras e compensatórias. Cabe aos oficiais do Corpo de Bombeiros validar ou aplicar alguma comunicação na CTPI (Comissão Técnica de Primeira Instância) ou CTUI.

As instruções técnicas do Corpo de Bombeiros não determinam quais são as medidas mitigadoras e compensatórias que deverão ser implantadas quando há inviabilidade técnica para a execução das obras de instalação do SPCI.

Cabe ao responsável técnico estudar, projetar e propor as medidas mitigadoras e compensatórias, submetendo à análise e aprovação em CTPI e CTUI no Corpo de Bombeiros, através da aprovação do projeto de combate a incêndios da edificação.

Nesse sentido, definiu-se uma estratégia metodológica para a proposição de medidas mitigadoras e compensatórias nos casos em que há inviabilidade técnica para a construção de parede corta fogo, bacia de captação de óleo, caixa separadora de água e óleo e implantação de um SPCI (Figura 1).

Figura 1 - Estratégia metodológica para proposição de medidas mitigadoras e compensatórias quando há inviabilidade técnica para algum item de proteção contra incêndio e/ou item que possa causar algum dano ao meio ambiente.



Para a comprovação da antiguidade e inviabilidade técnica do imóvel é necessário apresentar a lista de documentos comprobatórios (Quadro 1), para cada subestação específica.

Quadro 1 - Lista de documentos comprobatórios quanto ao atestado de antiguidade e inviabilidade técnica.

Documentos	Fonte
Atestado de antiguidade	Registro em cartório
Legislação da época	Corpo de Bombeiros
Habite-se	Prefeitura municipal
Croqui da edificação	<i>Google Earth</i>
ART	CREA
Projeto de implantação da edificação	Auto cad
Projeto detalhado com as inviabilidades técnicas	Auto cad
Laudos de Engenharia da inviabilidade técnica	Engenheiro Eletricista Segurança do Trabalho
Relatório de análise de riscos	Engenheiro Eletricista Segurança do Trabalho

ART: Anotação de Responsabilidade Técnica; CREA: Conselho Regional de Engenharia e Agronomia; CTUI: Comissão Técnica de Última Instância.
Fonte: São Paulo, 2024b.

3.1 INVIABILIDADE TÉCNICA PARA A CONSTRUÇÃO DE PAREDE CORTA FOGO

Estudo de caso de uma subestação equipada com dois transformadores (TR) de 67MVA, com 32m³ e 39m³ de óleo isolante mineral, com método de instalação ao tempo. O TR1 possui o ciclo de vida de 40,4 anos e 11% de valor residual e o TR2 possui o ciclo de vida de 38,9 anos e 47% de valor residual.

Esta subestação foi construída no ano de 1982, de acordo com as normas e regulamentações da época. A partir da análise da documentação (Tabela 3), constatou-se inviabilidade técnica para a construção de parede corta fogo entre os transformadores e parede corta fogo entre os transformadores e edificação. A inviabilidade técnica dar-se-á devido à passagem de cabos muflas em galeria subterrânea entre os transformadores e

entre os transformadores e a edificação, impossibilitando a construção das paredes corta fogo.

O dimensionamento e projeto das medidas mitigadoras e compensatórias, sistematizada e aprovada a partir da CTUI 3641559 foi realizada considerando o volume de óleo dos dois transformadores.

Foi projetado um sistema com capacidade de combater o incêndio simultâneo nos dois transformadores para não gerar reação em cadeia para a edificação. O projeto foi baseado no histórico das CTUI deferidas e o cálculo do sistema hidráulico foi realizado com referências da IT 25/2019 – Líquidos Inflamáveis (São Paulo, 2024a) (Quadro 2).

Quadro 2 – Proposição de medidas mitigadoras e compensatórias devido à ausência de parede corta fogo, aprovada na Comissão Técnica de Primeira Instância (CTPI) nº 3641559.

Descrição	Metodologia	Referência (São Paulo, 2024a)
Brigada de incêndios	Dobrar a equipe	IT 17/2019
Acréscimo de linhas de espuma	Dobrar as linhas	IT 37e 25/2019
Carreta proporcionadora de espuma	Uma por linha de espuma	IT 25/2019
Acréscimo do volume de espuma	Linhas de espuma	IT 25/2019
Aumento do volume da RI	Linhas de espuma e resfriamento	IT 22, 25 e 37/2019
Aumento da pressão da bomba de incêndios	Sistema projetado	IT 22, 25 e 37/2019
Aumento da vazão da bomba de incêndios	Sistema projetado	IT 22, 25 e 37/2019

RI: Reserva de Incêndios; IT: Instrução Técnica

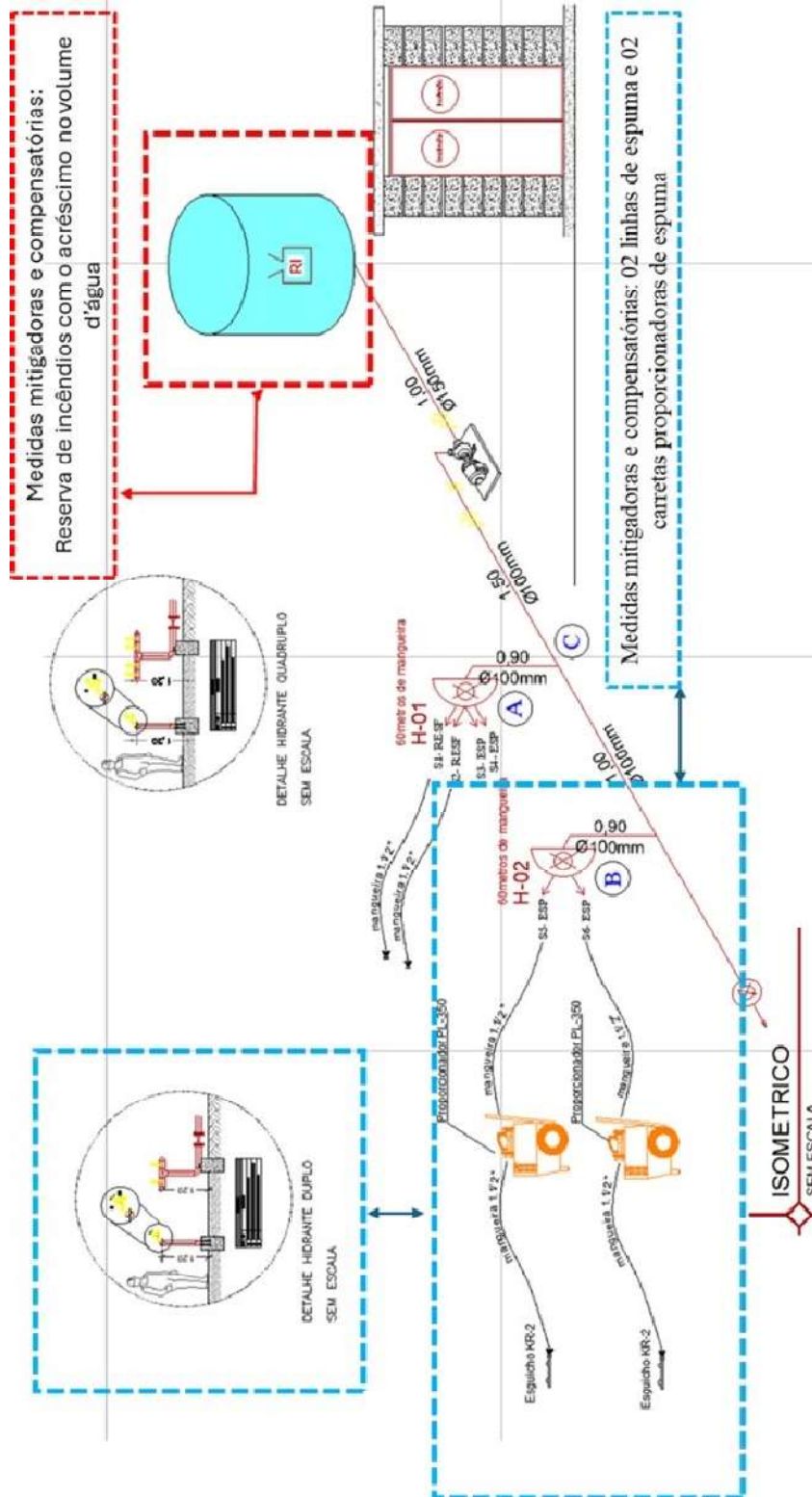
A Figura 2 apresenta o esquema isométrico da tubulação do SPCI, de acordo com o item 6.2.4.7.2 detalhes específicos que devem constar em planta, da Instrução Técnica 01 Procedimentos Administrativos (São Paulo, 2024a).

A CTPI 3641559 foi deferida e aprovada pelo Corpo de Bombeiros com as medidas mitigadoras e compensatórias descritas no Quadro 2.

A apreciação final da comissão técnica esclarece que este estudo de caso não pode ser utilizado como parâmetro de comprovação para outras edificações e/ou áreas de risco, ou seja, não gera jurisprudência para novas aprovações. Contudo, foi importante para melhor compreensão das medidas mitigadoras e compensatórias que podem ser implantadas pela ausência de parede corta fogo em subestação elétrica, com vistas ao direcionamento legal dentro das normas de segurança contra incêndios.

Estudos e projetos específicos para cada edificação com inviabilidade técnica para a construção de parede corta fogo devem ser realizados; porém, a proposta de medidas mitigadoras e compensatórias estão pré-definidas, alterando somente os cálculos.

Figura 2– Projeto isométrico da rede de hidrantes do sistema de comb.à incêndios.



3.2 INVIABILIDADE TÉCNICA PARA A CONSTRUÇÃO DE BACIA DE CAPTAÇÃO E CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO

A bacia de captação e a caixa separadora de água e óleo é o sistema de proteção e combate à incêndios de maior importância numa subestação elétrica, pois evita o vazamento de óleo do transformador diretamente no solo contaminando o meio ambiente (CIGRE, 2013).

A ausência deste sistema oferece risco de contaminação do solo e conseqüentemente um dano ambiental em caso de falha e vazamento de óleo do transformador, que possui um grande volume de óleo isolante.

Conforme exigido pela ABNT NBR 13231 – Proteção Contra Incêndios em Subestações (ABNT, 2015), faz-se necessária a construção de bacia coletora de óleo sob transformadores de potência, com o escoamento do óleo e da água para uma caixa separadora, que retém o óleo permitindo a saída da água.

Raramente ocorrerá a inviabilidade técnica para a construção de bacia de captação de óleo sob o transformador de potência, visto que o próprio transformador já ocupará este espaço na subestação e a bacia de captação de óleo ocupará a mesma área construída do transformador (Figura 3).

Nas situações em que não seja possível a construção de bacia de captação de óleo pelo método convencional, ou seja, em alvenaria, há a possibilidade de construir bacia de captação temporária. Contudo, esse método dificulta a substituição do transformador em caso de emergência, pois a parede da bacia impediria o deslocamento do transformador, devendo ser removida para atender a emergência e reconstruída logo em seguida.

Figura 3 - Bacia de captação de óleo construída sob o transformador.



Fonte: <https://ambflex.com.br/>(acesso em 16 de agosto de 2024)

Para este tipo de bacia, há soluções no mercado com material de chapa galvanizada, aço e PEAD (Polietileno de Alta Densidade) (Figuras 4 e 5).Nesses casos, materiais metálicos deverão ser aterrados através de ligação equipotencial à malha de aterramento da subestação (ABNT NBR 15751).

Figura 4 - Bacia de captação de óleo em transformadores, fabricada em chapa galvanizada.



Fonte: <https://ambflex.com.br/>(acesso em 16 de agosto de 2024)

Figura 5 - Bacia de contenção de óleo em transformadores, fabricada em PEAD.



Fonte: <https://ambflex.com.br>(acesso em 16 de agosto de 2024)

Essas bacias deverão ser construídas com capacidade para captar 110% do volume de óleo do transformador, com a instalação de filtros como alternativa técnica e econômica aos separadores físicos tradicionais de óleo e água (www.filtrelec.com.br ARRUMAR) (Figura 6).

Figura 6 - Filtro de águas contaminadas por hidrocarbonetos instalado em bacias especiais de captação de óleo.



Fonte: www.filtrelec.com.br(acesso em 16 de agosto de 2024)

Estas alternativas de construção de bacias especiais são de extrema importância à solução das inviabilidades técnicas para a construção das bacias convencionais em alvenaria.

Quando da necessidade de instalação destas bacias especiais, a empresa deverá estabelecer um plano de manutenção preventiva e corretiva, realizando as inspeções periódicas e regularizando possíveis avarias.

Conforme a NBR 13231 – Proteção Contra Incêndios em Subestações Elétricas (ABNT, 2015) a caixa separadora de água e óleo tem a função de armazenar o óleo vertido em caso de derramamento, possibilitando a drenagem da água, facilitando a retirada do óleo isolante drenado, permitir a drenagem da água, ser resistente à corrosão pela água e óleo isolante, possuir meios de inspeção interna periódica, possuir capacidade mínima correspondente à vazão do óleo vertido do maior transformador e ou reator de potência.

Para atender esta determinação, tomou-se como exemplo uma subestação equipada com dois transformadores de 40 MVA com volume de 35m³ de óleo mineral isolante em cada transformador, em que é necessário a construção de uma caixa separadora de água e óleo nas dimensões de 3x3x4,5metros.

Porém, nos casos em que houver a inviabilidade técnica, há soluções no mercado, com a implantação de alternativas de materiais e soluções para filtrar o óleo, a partir do princípio de peneira molecular, retendo o óleo e filtrando a água (Pacitoet al., s.d.).

Segundo Pacitoet al.(s.d.), foi criado um dispositivo para ser instalado junto a bacia coletora dos transformadores, em substituição à caixa separadora de água e óleo tradicional, visando reduzir ou eliminar o risco de derramamento de óleo isolante dos transformadores e reatores de potência diretamente no solo, evitando a poluição.

Este dispositivo tem a função de separar o óleo da água, absorvendo-o pela manta absorvedora de óleo. Outro ponto vantajoso desta caixa separadora especial, é o sistema de detecção da presença de óleo através do detector externo e sensores internos para identificar a presença de óleo. A sinalização é feita pelo painel a partir de sinal emitidos por estes sensores e a retenção do óleo é feita pela válvula de retenção instalada na entrada da caixa separadora especial (Pacito et al., s.d.).

Nota-se a uma grande vantagem desta caixa separadora especial, pois além da absorção do óleo, possui o sistema de monitoramento do óleo, podendo ser integrado ao COS (Centro de Operação do Sistema) que acionará a equipe de manutenção de campo no ato do vazamento.

O sistema completo da caixa separadora especial, incluindo obra civil, tem um custo de 50 a 70% menor que a caixa separadora de água e óleo tradicional, e ainda possui as vantagens adicionais do sistema de detecção da presença de óleo, alertando o COS em casos de vazamentos de óleo (Pacito et al., s.d.).

A Figura 7 demonstra o protótipo da caixa separadora de água e óleo especial, com os detalhes do sensor, válvula de retenção, gavetas e manta de peneira molecular.

Figura 7 - Protótipo da caixa separadora de água e óleo especial.



Fonte: Pacito et al., s.d.

O tema exposto demonstra que caso não seja possível construir a caixa separadora de água e óleo tradicional, construída em alvenaria estrutural, há a possibilidade de instalação da caixa separadora de água e óleo especial, que também conta com a vantagem do sistema de detecção e alarme de vazamento de óleo.

Figura 8 - Caixas de inspeção de entrada e saída dos fluídos e a caixa intermediária onde fica a caixa separadora de água e óleo fabricada com fibra de vidro.



3.3 INVIABILIDADE TÉCNICA PARA A CONSTRUÇÃO DO SPCI

Esta inviabilidade técnica dar-se-á pela restrição de espaço fixo na subestação (São Paulo, 2019f), inviabilizando a instalação do SPCI, que requer a instalação de reserva técnica de incêndios com grande volume de água, construção de abrigo em alvenaria para a bomba de incêndios e equipamentos (ABNT, 2015).

A proposição das medidas mitigadoras e compensatórias foi elaborada com base nas análises das 96 CUTI disponíveis no site do Corpo de Bombeiros (São Paulo, 2024b) (Quadro 3).

Quadro 3 – Proposição das medidas mitigadoras e compensatórias pela ausência do sistema fixo de resfriamento e espuma em subestação elétrica.

Descrição	Metodologia	Referência (São Paulo, 2024a)
Brigada de incêndios	Dobrar a equipe	IT 17/2019
Carreta proporcionadora de espuma	Disponível para o combate à incêndios pelo CB	IT 37 e 25/2019
Líquido Gerador de Espuma	Disponibilizar para o combate à incêndios pelo CB	IT 37 e 25/2019
Detecção de fumaça na casa de controle	Integrado ao Centro de Operações – Monitoramento Online	IT 19/2019
Alarme de incêndios na casa de controle	Operações – Monitoramento Online	IT 19/2019
Câmera de monitoramento em tempo real	Operações – Monitoramento Online	IT 19/2019
Extintores	Dobrar a quantidade	IT 37 e 25/2019
Extintor sobre rodas com espuma mecânica	Instalar para a proteção da bacia	IT 37 e 25/2019
PAM – Plano de Atendimento Mútuo	Auxílio externo para o combate à incêndios	IT 16/2019

3.4 ANÁLISE DOS CUSTOS DA IMPLANTAÇÃO DAS MEDIDAS MITIGADORAS E COMPENSATÓRIAS EM SUBESTAÇÃO COM INVIABILIDADE TÉCNICA

Realizamos um estudo de caso em 12 (doze) subestações de distribuição de energia, de uma concessionária de energia, em que havia inviabilidade técnica na implantação das medidas de segurança contra

incêndios para adequação conforme as legislações atuais, sendo necessário a realização de retrofit (“retro”, do latim, significa movimentar-se para trás e fit, do inglês, adaptação, ajuste), e/ou a substituição do transformador com óleo mineral para transformador com óleo vegetal.

A tabela 2 apresenta o % de custo da implantação das medidas mitigadoras e compensatórias frente ao custo da solução de Retrofitada SE e/ou substituição do transformador.

A solução de substituição de transformador refrigerado com óleo mineral para transformador refrigerado com óleo vegetal é uma solução para transformadores com volume de óleo > que 20 m³, pois para óleo mineral o limite é 20 m³ e para óleo vegetal o limite é 38 m³ para obrigar a instalação do sistema de proteção e combate ao incêndio por resfriamento e espuma, conforme determina a IT 37 do Corpo de Bombeiros de São Paulo.

A solução de realizar o *retrofit* é necessária quando não há espaço físico na subestação para a construção de parede corta fogo, bacia de captação de óleo, caixa separadora de água e óleo e sistema de proteção e combate incêndios.

O conceito de *retrofit* (“retro”, do latim, significa movimentar-se para trás e *fit*, do inglês, adaptação, ajuste) que surgiu na década de 90 nos Estados Unidos e na Europa na indústria aeronáutica referindo-se à atualização de aeronaves, aos novos e modernos equipamentos, e com o passar do tempo foi empregado também nas construções (Rocha; Qualharini, 2001).

Segundo Barrientos (2004), *retrofit* é um termo técnico utilizado nas áreas de Engenharia e Arquitetura que significa atualização tecnológica, com o objetivo de valorizar edifícios antigos prolongando sua vida útil, conforto e funcionalidade através da incorporação de avanços tecnológicos e da utilização de materiais e equipamentos atuais.

Aplicando este conceito para subestação elétrica, o *retrofit* deverá ser projetado de acordo com as características construtivas e necessidades de cada subestação.

O *retrofit* e/ou a substituição do transformador é realizado de forma a adequar a subestação de acordo com as legislações vigentes. Neste caso, não é necessário implantar as medidas mitigadoras e compensatórias.

Segundo Silva (2014), a estimativa do tempo de vida útil de um transformador de potência pode viabilizar a melhoria do uso do ativo, bem como do planejamento quanto a sua confiabilidade frente ao seu impacto no sistema elétrico de potência por falhas.

Para realizar a análise de substituição de transformadores, existe a abordagem em análises estatísticas, como também a avaliação dos dados e ou índice de saúde dos transformadores (Abbasi; Malik, 2016). A avaliação do índice de saúde dos transformadores é uma ferramenta para o gerenciamento dos transformadores para o direcionamento do planejamento da manutenção e investimentos (Jahromi et al., 2009).

Segundo Jahromi et al. (2009), a probabilidade de falha de um transformador dependerá diretamente no nível de carregamento que o transformador é submetido, com isto, cada transformador terá uma vida útil, reduzindo conforme sua deterioração com a idade e utilização.

Tabela 2 – Estimativa do percentual de custo de implantação das medidas mitigadoras e compensatórias como alternativa às soluções dos problemas de inviabilidade técnica em cada uma das 12 subestações.

SE	Inviabilidade técnica	Qtde TR	Solução	Medidas mitigadoras e compensatórias	% de custo
ESU	PCF entre transformadores PCF entre edificações e transformadores	2	<i>Retrofit</i> da SE	Quadro 2	1,22%
JUN	PCF entre transformadores	4	Transformador OVI	Quadro 2	4,15%
BOQ	PCF entre transformadores	3	Transformador OVI	Quadro 2	2,61%
CUB	PCF entre edificações e transformadores	2	Transformador OVI	Quadro 2	3,29%
IND	PCF entre transformadores	5	Transformador OVI	Quadro 2	1,34%
VNO	PCF entre edificações e transformadores	4	Transformador OVI	Quadro 2	1,66%
IPV	PCF entre transformadores	2	<i>Retrofit</i> da SE	Quadro 2	1,03%
IBI	PCF entre edificações e transformadores	2	Transformador OVI	Quadro 2	3,15%
ALR	SPCI espaço físico	1	Transformador OVI	Quadro 2	2,08%
BPO	SPCI espaço físico	2	Transformador OVI	Quadro 2	1,20%
TRV	PCF entre edificações e transformadores	2	Transformador OVI	Quadro 2	1,70%
RON	SPCI espaço físico	1	Transformador OVI	Quadro 3	3,01%

PCF: Parede Corta Fogo; SE – Subestação; OVI – Óleo Vegetal Isolante; TR: Transformadores
Nota: Composição dos custos x medidas mitigadoras e compensatórias

4. CONCLUSÃO

As medidas mitigadoras e compensatórias são adotadas para as subestações com inviabilidade técnica na implantação das medidas de segurança contra incêndios determinadas nas legislações atuais, visando adequá-las às legislações ambientais e de segurança contra incêndios. As novas subestações são construídas atendendo as legislações na íntegra.

A soluções apresentadas foram baseadas nos resultados das CTUIs disponíveis no site do Corpo de Bombeiros de São Paulo, propondo as medidas mitigadoras e compensatórias calculadas e projetadas em conformidade com as Instruções Técnicas, para a solução de problemas de inviabilidades técnicas em Subestação Elétrica.

A proposição das medidas mitigadoras e compensatórias resultaram em um ótimo custo-benefício para a empresa na regularização das medidas de segurança contra incêndios visando o atendimento da legislação e aprovação pelo Corpo de Bombeiros com a emissão do devido AVCB.

Além do atendimento às medidas de segurança contra incêndios, as propostas estão em conformidade ao atendimento às legislações ambientais.

A implantação das medidas mitigadoras e compensatórias apresentaram um valor mínimo de 1,03% e máximo de 4,15% frente aos custos frente às soluções de obras de *retrofit* e/ou substituição dos transformadores com óleo mineral por transformadores com óleo vegetal, sendo viável financeiramente para a organização.

A estratégia metodológica aqui apresentada se mostrou eficiente para nortear as orientações quanto às adequações das subestações elétricas da concessionária de energia em estudo às normativas do Corpo de Bombeiros, com vistas à aprovação do Auto de Vistoria (AVCB) fundamental para: redução dos riscos de incêndio nessas subestações; redução dos riscos de morte das pessoas, bem como na redução dos impactos negativos ao meio ambiente.

Espera-se que este trabalho possa estimular outros estudos voltadas para adequações de subestações elétricas às normativas atuais, bem como proposições de medidas mitigatórias e compensatórias voltadas à redução de custos e de riscos e impactos negativos a vida das pessoas e ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira. de Normas Técnicas. **NBR 13231**: Proteção contra incêndio em subestações elétricas. Rio de Janeiro-RJ. 2015.

ABBASI, E.; MALIK, O. P. **Failure rate stimation of Power transformer using inspection data**. International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), Beijing, China, 2016, p. 1-4, doi: 10.1109/PMAPS.2016.7764150.

BARRIENTOS, M. I. G. G. **Retrofit de edificações: estudo de reabilitação e adaptação das edificações antigas às necessidades atuais**. 2004. 235 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

CIGRE. Conseil International dês Grands Réseaux Électriques. **CIGRE 537**: Guide for Transformer Fire Safety Practices. 2013.

JAHROMI, A.; PIERCY, R.; CRESS, S.; SERVICE, J.; FAN, W. An Approach to Power Transformer Asset Management Using Health Index. **IEEE Electrical Insulation Magazine**, v. 25, n. 2, p. 20-34, 2009.

PACITO, A.; DÓRIA, C.; GONSALVES, A.; ZAMBONI, L.; ADRIANO, M. H. F. A.; BARRETO JÚNIOR, J. T. et al.. **Solução Ambiental para Retenção de Vazamento de Óleo de Transformadores**. (s.d.) Disponível em: <https://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2017/09/Solu%C3%A7%C3%A3o-Ambiental-para-Reten%C3%A7%C3%A3o-de-Vazamento-de-%C3%93leo-de-Transformadores.-1.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2024.

ROCHA, M. H., QUALHARINI, E. L. Modelagem gerencial de sistemas de manutenção predial em edificações históricas. In: **Construção**, p.137-144, Lisboa, 2001.

SÃO PAULO. **Decreto nº10.878**, de 7 de fevereiro de 1974. Institui normas especiais para a Segurança dos edifícios, a serem observadas na elaboração dos projetos e na execução, bem como no equipamento e no funcionamento, e dispõe ainda sobre sua aplicação em caráter prioritário.

SÃO PAULO. **Lei nº 8266**, 20 de junho de 1975. Aprova o código de edificações, e dá outras providências.

SÃO PAULO. Corpo de Bombeiros. **Segurança contra incêndio: consulta Legislação**. Disponível em:
<https://cbaplang.corpodebombeiros.sp.gov.br/internetCB/#!/LegislacaoConsulta>. Acesso em: 02 dez. 2024. (a)

SÃO PAULO. Corpo de Bombeiros. **Segurança contra incêndio: Comissões Técnicas de Última Instância**. Disponível em:
<https://cbaplang.corpodebombeiros.sp.gov.br/internetCB/#!/ComissoesTecnicasUltimaInstancia>. Acesso em: 02 dez. 2024. (b)

SILVA, V. P. **Segurança contra incêndio em edifícios**. São Paulo: Blucher, 2014. 129p.