

Sistema FIEB



PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC  
Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial

PAULO DE TARSO DO NASCIMENTO

**PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA PARA SUBESTAÇÃO  
DIDÁTICA DE 13,8kV**

Salvador

2023

PAULO DE TARSO DO NASCIMENTO

**PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA PARA SUBESTAÇÃO  
DIDÁTICA DE 13,8kV**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial do Centro Universitário SENAI CIMATEC como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Valéria Loureiro da Silva.

Salvador

2023

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Centro Universitário SENAI CIMATEC

N244p Nascimento, Paulo de Tarso do Nascimento

Procedimentos de segurança para subestação didática de 13,8kV / Paulo de Tarso do Nascimento. – Salvador, 2023.

109 f. : il. p&b

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Valeria Loureiro da Silva.

Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial) – Programa de Pós-Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2023.  
Inclui referências.

1. Segurança elétrica. 2. Subestação elétrica. 3. Riscos elétricos. 4. Operação de subestações. I. Centro Universitário SENAI CIMATEC. II. Silva, Valeria Loureiro da. III. Título.

CDD 621.3

## CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

### Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia Industrial

A Banca Examinadora, constituída pelos professores abaixo listados, aprova a Defesa de Mestrado, intitulada “**Sistemas de Segurança para Subestação didática de 13,8kV**” apresentada no dia 31 de outubro de 2023, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientadora:

Assinado eletronicamente por:  
Valéria Loureiro da Silva  
CPF: \*\*\*.244.398-\*\*  
Data: 07/11/2023 15:35:33 -03:00



**Prof.ª Dr.ª Valeria Loureiro da Silva**  
SENAI CIMATEC

Membro Externo:

Assinado eletronicamente por:  
Thamiles Rodrigues de Melo  
CPF: \*\*\*.061.634-\*\*  
Data: 07/11/2023 15:44:45 -03:00



**Prof.ª Dr.ª Thamiles Rodrigues de Melo**  
FIEB

Membro Externo:

Assinado eletronicamente por:  
Kleber Freire da Silva  
CPF: \*\*\*.733.235-\*\*  
Data: 08/11/2023 15:19:06 -03:00



**Prof. Dr. Kleber Freire da Silva**  
UFBA

Sistema FIEB



PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha orientadora, Professora Dr<sup>a</sup>. Valéria Loureiro da Silva, que não mediu esforços para me apoiar na conclusão deste trabalho, seja nas revisões, que prontamente fez a cada envio, ou no incentivo. Registro aqui o meu reconhecimento a essa grande professora, pela oportunidade, pelo apoio e pela paciência com que tão bondosamente conduziu-me.

Expresso meu sincero agradecimento especial à minha companheira Celene Rocha e também aos muitos familiares, colegas e amigos que, demonstrando interesse, animaram-me a alcançar o objetivo de concluir esta pesquisa.

## RESUMO

Existem demandas para subestações elétricas para fins didáticos. Contudo, devido às características dos equipamentos da subestação que não foram projetados para fins didáticos, existem riscos adicionais devido à operação por pessoal ainda não qualificado, requerendo medidas de segurança além das especificadas nas normas técnicas. Esta dissertação tem por objetivo desenvolver medidas de segurança para operação e manutenção de uma subestação didática de 13,8 kV, a fim de que manobras e operações sejam realizadas por discentes com segurança. Para alcançar os resultados desta dissertação foi necessário realizar uma coleta de dados, através de entrevistas e pesquisa documental com docentes e engenheiros, objetivando melhor entendimento do uso da subestação para ajudar na identificação de riscos. Em seguida, foi elaborada uma FMEA (Análise de Modo de Falhas), objetivando indicar controles necessários para a utilização da subestação para fins didáticos. A validação dos procedimentos de segurança desenvolvidos foi avaliada com a realização de aula-teste com a estação não energizada, com a identificação de melhorias. Após a realização da investigação, mostrou-se viável a realização segura de operações e manobras na subestação para fins didáticos, após a implantação de procedimentos de segurança nas instalações da subestação.

Palavras-chave: segurança elétrica; subestação elétrica; riscos elétricos; operação de subestações.

**ABSTRACT**

There are demands for electrical substations for teaching purposes. However, due to the characteristics of the substation equipment that were not designed for teaching purposes, there are additional risks due to operation by unqualified personnel, requiring safety measures beyond those specified in the technical standards. This dissertation aims to develop safety measures for the operation and maintenance of a 13.8 kV teaching substation, so that maneuvers and operations can be carried out safely by students. To achieve the results of this dissertation, it was necessary to collect data, through interviews and documentary research, with teachers and engineers, aiming to better understand the use of the substations to help identify risks. Then, an FMEA (Failure Mode Analysis) was prepared, aiming at identifying the necessary controls for the use of the substation for teaching purposes. The validation of the developed control procedures was evaluated by carrying out trial testing classes with the station not energized. It proved to be feasible to safely carry out operations and maneuvers in the substation for teaching purposes, after the implementation of control systems in the installation and application of developed procedures.

Keywords: electrical safety; electrical substation; electrical risks; operation of substations.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sistema Elétrico de Potência (SEP) .....	15
Figura 2 – Etapas de execução .....	28
Figura 3 – Planta baixa subestação didática 01 e 02 .....	29
Figura 4 – Vista frontal da subestação 01 .....	30
Figura 5 – Vista aérea da subestação 01 .....	30
Figura 6 – Vista frontal da subestação 02 .....	31
Figura 7 – Vista aérea da subestação 02.....	31
Figura 8 – Mapa dos Stakeholders .....	33
Figura 9 – Abordagem metodológica para definição de requisitos .....	34
Figura 10 – Linha do tempo .....	40
Figura 11 – Tempo de experiência em anos .....	42
Figura 12 – Formação acadêmica dos entrevistados .....	43
Figura 13 – Modalidade dos cursos ministrados pelos entrevistados.....	43
Figura 14 – Tarefas mais relevantes em SE .....	44
Figura 15 – Conhecimentos que servirão para outras SEs .....	45
Figura 16 – Quais Riscos são pertinentes evidenciar para realizar atividade na SE .....	46
Figura 17 – Riscos comportamentais .....	47
Figura 18 – Como controlar Riscos na SE didática.....	48
Figura 19 - Número de atividades em cada RPN para os quatro grupos da FMEA da subestação didática. Classificação de Risco: Crítico – Ação dever ser tomada, Mudanças abrangentes são necessárias, equipamento fora de operação; Alto – Ação dever ser tomada, validação, validação seletiva e avaliação detalhada devem ser realizadas a curto prazo; Moderado: Ação deve ser tomada a médio prazo; Menor – Nenhuma ação será tomada (ou tomada a longo prazo com a ótica de melhoria contínua). .....	49
Figura 20 – Operação de chave seccionadora 01 na subestação 02 .....	58
Figura 21 – Sinalização vertical e horizontal de equipamentos e controle de acesso .....	60
Figura 22 – Bloqueio de acesso.....	60
Figura 23 – Operação de chave seccionadora e inspeção de disjuntor.....	62
Figura 24 – Inspeção de TC disjuntor e Medição.....	62



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Publicações relevantes .....	23
Tabela 2 – Atividades mitigadoras de risco propostas no brainstorming.....	41
Tabela 3 – Planilha de treinamento .....	49

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
APR – Análise preliminar de risco  
CAT – Categoria  
COFIC – Comitê de Fomento Industrial de Camaçari  
EPE – Empresa de pesquisa energética  
EPI – Equipamento de Proteção individual  
ESAW – *European Statistics on Accidents at Work*  
FLC – *Fuzzy Logic Controller*  
FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*  
HAZOP – *Hazard and Operability Study*  
IA – Inteligência Artificial  
INDCPM - *Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Protecția Mediului*  
MEC – Ministério da Educação e Cultura  
MME – Ministério de Minas e Energia  
MOSEP – Manutenção e Operação de Sistema Elétrico de Potência  
MT – Média Tensão  
MTB – Ministério do Trabalho  
NBR – Norma Brasileira  
NR – Norma Regulamentadora  
PA – Permissão de Atividade  
PIE – Prontuário de Instalações Elétricas  
PVO – Pequeno volume de óleo  
RPN - *Risk Priority Number*  
SE – Subestação Elétrica  
TAG - *General Activation Technology*  
TC – Transformador de Corrente  
TCL – Termo de Consentimento Esclarecido  
TI – Tecnologia da Informação  
TP – Transformador de Potência

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	<b>Objetivo Geral</b>	12
1.1.2	<b>Objetivos Específicos</b>	13
1.2	LIMITES E LIMITAÇÕES	13
1.3	ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	15
2.1	SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS (SEP)	15
2.2	NORMAS RELEVANTES	16
2.2.1	<b>A Norma Regulamentadora 10</b>	16
2.2.2	<b>Norma Regulamentadora 12</b>	17
2.2.3	<b>ABNT NBR 5410:2008</b>	18
2.2.4	<b>ABNT NBR 14039:2021</b>	18
2.2.5	<b>DIS-NOR-036 de 20-02-22</b>	19
2.3	FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE RISCO	20
2.3.1	<b>Análise Preliminar de Risco – APR</b>	20
2.3.2	<b>Análise de Modo de Falhas – FMEA</b>	21
2.4	REVISÃO DO ESTADO DA ARTE	22
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	28
3.1	DESCRIÇÃO DA SUBESTAÇÃO DIDÁTICA	28
3.2	ADAPTAÇÕES NAS SUBESTAÇÕES	31
3.3	STAKEHOLDERS	32
3.4	COLETA DE INFORMAÇÕES	34
3.5	DEFINIÇÃO DE NECESSIDADES COM BASE NAS INFORMAÇÕES COLETADAS	36
3.6	ANÁLISE DE RISCO (FMEA)	36

3.7	AULA-TESTE	38
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>40</b>
4.1	<i>BRAINSTORMING</i> COM INSTALADORES	40
4.2	ENTREVISTAS COM USUÁRIOS	42
4.3	MERCADO	48
4.4	FMEA (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS)	49
<b>4.4.1</b>	<b>Operações nas Instalações até 380V</b>	<b>50</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Operações nas Instalações de Alta Tensão</b>	<b>52</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Manutenção</b>	<b>53</b>
<b>4.4.4</b>	<b>Atividades Gerais</b>	<b>56</b>
4.5	AULA-TESTE	57
4.6	APLICAÇÕES FUTURAS	62
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>67</b>
	<b>APÊNDICE A – Tabela A1 - Especificação técnica dos equipamentos da SE 01</b>	<b>71</b>
	<b>APÊNDICE B – Tabela B1 - Especificação técnica dos equipamentos da SE 02</b>	<b>72</b>
	<b>APÊNDICE C – Guia de questões para entrevista semiestruturadas para docentes em subestações</b>	<b>74</b>
	<b>APÊNDICE D – Tabela D1 - FMEA 01 - Instalações até 380V</b>	<b>75</b>
	<b>APÊNDICE E – Formulário Análise de Risco na Atividade</b>	<b>84</b>
	<b>APÊNDICE F – Permissão de Atividade</b>	<b>85</b>
	<b>APÊNDICE G – Diagrama elétrico, Planta baixa</b>	<b>87</b>
	<b>APÊNDICE H – Artigo publicado no VIII SIINTEC</b>	<b>88</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica se apresenta como um dos principais elementos da sociedade atual, sendo necessária para garantir acesso ao conforto, segurança, lazer presente na vida das pessoas. Ela está tão inserida no cotidiano que, muitas vezes, passa despercebida. As subestações elétricas são instalações estratégicas, pois realizam conexões em sistemas elétricos com características diferentes, abaixando ou elevando a tensão, como definido por Frontim (2013). A maior parte dos riscos em subestações está associada ao processo tecnológico de produção de energia ou operações, cuja existência de altas tensões e correntes torna a interação com a subestação perigosa para pessoas e equipamentos, conforme Zurakowski (2000). A realização de intervenções relacionadas à operação e manutenção da subestação pode ser feita de forma manual ou remota. Algumas tarefas podem demorar cerca de uma hora até que a subestação seja reconectada à rede sem falhas, como afirmado por Buhler e Balzer (2010).

A construção de toda subestação passa por determinações técnicas e normativas rígidas, devido à complexidade dos equipamentos e suas interações, bem como os riscos existentes. As normas técnicas empregadas para construção de subestação servem para garantir que instalações elétricas de média tensão (1 kV – 36,2 kV) não prejudiquem ou perturbem instalações vizinhas, ou mesmo causem danos às pessoas por qualquer que seja a deficiência existente. Essas são complementadas com as normas editadas pelas concessionárias locais, cujo objetivo é a padronização das construções, facilitando a montagem, construção, segurança de pessoas e medição. As normas regulamentadoras do ministério do Trabalho são aplicadas devido à obrigatoriedade de promover a segurança dos empregados.

Atualmente o desenvolvimento de pesquisas voltadas para subestações elétricas tem sido concentrado no desenvolvimento de tecnologias para automação, buscando formas de realizar operações/manobras que não gerem falhas e otimizem a gestão dos ativos e (HAMDAN; WMN *et al.*, 2022; FOTUHI-FIRUZABAD *et al.*, 2012). Do ponto de vista de segurança, as tecnologias atualmente empregadas conseguem afastar as pessoas dos riscos presentes apenas em algumas situações, já que existem tarefas que necessitam da presença do indivíduo, demandando treinamento para realização de forma segura.

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE – projetou um crescimento médio da carga de 3,4% por ano para o período 2022 a 2026, conforme apresentado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2022). Considerando que no Estado da Bahia existem 6.255.560 unidades consumidoras com carga instalada acima de 75kW, espera-se uma demanda crescente por pessoas que realizam

tarefas em subestações. Dada a complexidade das atividades a serem realizadas nas subestações e os graves acidentes que o erro humano pode causar, a necessidade de treinamento eficiente e eficaz é relevante para garantir que tarefas sejam realizadas de maneira segura, o que se torna um desafio frequente, conforme descrito por Torres filho (2011).

O treinamento de pessoas para operações em subestações de forma segura tem sido tratado na literatura. Uma abordagem é o desenvolvimento de simuladores para a realização de manobras, controle de falhas de sistema, no treinamento de profissionais de operação de subestação, (LI; HUANG, 2022). Para determinadas atividades de manutenção existem pesquisas utilizando realidade virtual ou realidade aumentada, permitindo acesso à realização de tarefas de forma virtual, que em condições reais podem causar prejuízos (WANG; GAO, 2023; PENG; DING *et al.*, 2017; CORDEIRO; PALUDO *et al.*, 2015). Apesar de esses treinamentos trazerem poucos riscos de segurança para os alunos para a realização de tais atividades, eles ainda não conseguem reproduzir o ambiente físico de uma subestação.

Para atender às demandas de treinamento de pessoal, o SENAI CIMATEC está construindo uma subestação (SE) abaixadora de média tensão para baixa tensão, com valores nominais de 13,8kV/380V e 13,8kV/220V para uso didático, localizada no CIMATEC Park. Devido ao uso didático, os critérios de funcionamento devem ser bastante rígidos, porque o público que interagirá com a subestação é inexperiente, não possuindo conhecimento técnico e treinamento suficientes, podendo apresentar comportamentos inadequados e de risco. Além disso, não há legislação específica com objetivo de garantir segurança dos discentes como acontece com os trabalhadores.

É fundamental desenvolver procedimentos de segurança para as operações e manutenções de uma subestação didática, para que sejam realizadas sem que haja riscos de acidentes. Isso se deve ao fato de que as normas existentes não contemplam especificamente o uso didático desse tipo de instalação, e os estudos científicos não abordam suficientemente a segurança em subestações didáticas. A proposta deste estudo é a realização de atividades didáticas em subestações elétricas de 13,8 kV, em condições reais, porém com riscos indiretos controlados, garantindo a segurança dos participantes.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver procedimentos de segurança e mitigação de riscos elétricos e adicionais na subestação didática de 13,8 kV no SENAI Cimatec, com a finalidade de assegurar a integridade

dos usuários e uma formação segura para os estudantes dos cursos de eletricidade.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

1. Identificar riscos elétricos e adicionais na subestação didática de 13,8 kV do Cimatec Park;
2. Propor procedimentos de segurança para operações/manobras e manutenção em subestação de 13,8 kV;
3. Estruturar ferramentas de controle de segurança de pessoas para operações e manobras em subestação de 13,8 kV;
4. Validar os procedimentos e sistemas de controle para segurança propostos.

## 1.2 LIMITES E LIMITAÇÕES

Esta dissertação não abrange estudos sobre os aspectos didáticos e pedagógicos relevantes à formação dos discentes, bem como alterações técnicas no projeto original de construção da subestação elétrica de 13,8 kV. Também não cobre a elaboração dos procedimentos para todas as atividades que serão realizadas na subestação.

## 1.3 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

O restante desta dissertação está organizado da seguinte forma:

**Capítulo 2** – Apresenta o referencial teórico para esta dissertação, iniciando com a apresentação de subestações elétricas, equipamentos fundamentais no sistema elétrico, mas que representam riscos para os trabalhadores. Normas de segurança, como NR10 e NR12, que estabelecem medidas para proteção, são apresentadas. Em seguida, ferramentas para a identificação e mitigação de risco, com ênfase no uso de APR e FMEA, são discutidas. Por fim, é apresentado o estado da arte e discutido como essa literatura se aplica ao tema desta dissertação.

**Capítulo 03** – Nesse capítulo, estão descritos os materiais e a metodologia desenvolvidos na pesquisa. Discutem-se as adaptações realizadas para o uso educacional da subestação, envolvendo ajustes na tensão e nos equipamentos. São identificados os *stakeholders* e suas interações e a forma de coleta de dados utilizada com cada grupo. É descrito o processo de realização da Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA) e de validação dos procedimentos desenvolvidos por meio de aula-teste.

**Capítulo 04** - Nesse capítulo, são apresentados os resultados obtidos neste trabalho, incluindo as informações obtidas no *Brainstorming* e entrevistas com engenheiros e professores para identificar riscos e estabelecer controles. Em seguida, são discutidos os resultados da FMEA realizada, as recomendações para medidas de segurança e ferramentas desenvolvidas. Por fim, são apresentados e discutidos os resultados das aulas-teste realizadas para a validação dos procedimentos desenvolvidos.

**Capítulo 05** - Esse capítulo discute as conclusões e contribuições desta dissertação.

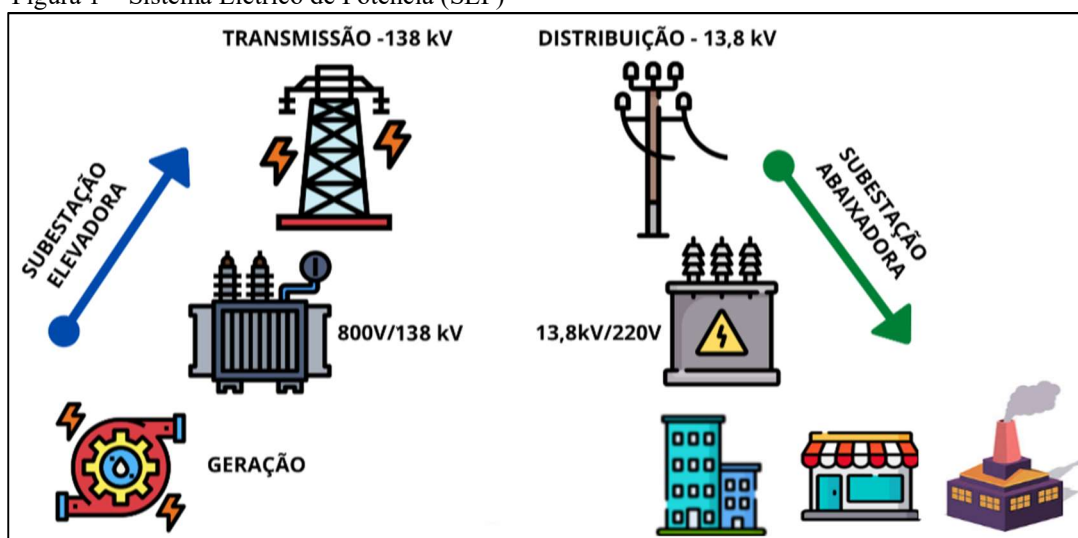


## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS (SEP)

Subestações elétricas são instalações constituídas por vários equipamentos interligados com objetivo de elevar ou reduzir as características da energia elétrica (tensão e corrente), conforme apresentado na figura 01. O principal componente é o transformador, que em conjunto com os demais permite sua distribuição aos consumidores em níveis adequados de utilização, conforme Mamede Filho (2017). São fundamentais, uma vez que servem para orientar o fluxo de energia em um sistema elétrico e permitem sua diversificação por meio de rotas alternativas. Além disso possibilitam a distribuição de energia elétrica para atender consumidores residenciais, comerciais e industriais em nível adequado para uso (MONTEIRO; MIRANDA, 2021).

Figura 1 – Sistema Elétrico de Potência (SEP)



Fonte: Energês. 21 de fevereiro 2021. Formato JPG. Disponível em: <https://energes.com.br/o-que-voce-precisa-saber-sobre-subestacoes-em-media-tensao/>, acesso em: 24 de julho de 2023 (Adaptado).

Ao desenvolver serviços relacionados à manutenção ou operação em subestações, o trabalhador se expõe a vários riscos, e o principal deles é o choque elétrico, viabilizado pelo contato acidental com possíveis partes energizadas. A preocupação com os aspectos relativos à segurança do trabalho, vinculada diretamente às normas de segurança e saúde cada vez mais restritivas, tem causado profundas mudanças na maneira como as instalações elétricas são projetadas, operadas e gerenciadas. Assim, torna-se cada vez mais importante desenvolver formas para conter, com eficácia, os riscos. Além de promover meios de eliminá-los, tornou-se uma etapa fundamental para garantir a integridade das instalações e a segurança dos trabalhadores que

interagem com ela (QUEIROZ; SENGER, 2012).

No Brasil, atualmente, contabilizam-se 90.574.262 consumidores ao todo, dos quais 213.982 são unidades consideradas industriais, com uma tensão de fornecimento superior a 2,3 kV. Segundo a tabela 4.1 do relatório da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) de 2022, há 6.107 milhões de consumidores comerciais e 78.939 milhões de consumidores residenciais.

Os demais consumidores recebem energia com tensão abaixo de 1000V e não necessitam de subestação. No Nordeste, em 2022, observa-se um total de 39.143 unidades consumidoras com carga instalada superior a 75 kW, incluindo os setores residencial, comercial e industrial. Dentro da classificação A4, que compreende consumidores atendidos em tensão de 2,3 a 25 kV, contabilizam-se 36.968 unidades, conforme a tabela 3.52 - Consumidores na rede por região e tensão de fornecimento, referente a dezembro de cada ano, segundo a EPE (2022).

Pressupondo que a demanda por eletricidade é crescente, subestações elétricas serão necessárias para atender às demandas atuais e futuras e cada vez mais recursos humanos para o acompanhamento de construções, operações e manutenção (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

## 2.2 NORMAS RELEVANTES

Seguir normas técnicas e regulamentadoras para instalações de subestação elétrica é importante para garantir a segurança de todos os envolvidos, uma vez que o risco ao qual os trabalhadores são expostos é elevado. As normas também asseguram que a instalação funcione de forma eficiente e eficaz, estabelecendo padrões para a qualidade dos equipamentos e materiais usados, bem como para a instalação e manutenção da subestação. Além disso, as normas técnicas e regulamentadoras ajudam a assegurar que as subestações estejam em conformidade com as leis e regulamentos locais e federais. Existem também padrões normativos gerados pelas concessionárias locais, cujo objetivo é adaptar os aspectos técnicos à geografia e à topografia, além de particularidades sociais locais, que serão abordadas mais adiante.

### 2.2.1 A Norma Regulamentadora 10

A Norma Regulamentadora 10 (NR10), intitulada Segurança em Instalações Elétricas e Serviços com Eletricidade, estabelece as circunstâncias exigidas para assegurar que empregados desenvolvam atividades em instalações elétricas com segurança, considerando todas as etapas que envolvem instalações elétricas, incluindo projeto, execução, operação, manutenção, reforma e ampliação, bem como de usuários e terceiros, conforme MTB (2004). Aplica-se às fases de geração, transmissão, distribuição e consumo, e quaisquer trabalhos realizados nas suas

proximidades. Deve-se seguir as normas técnicas oficiais estabelecidas pelos órgãos competentes e quando essas não existirem ou forem omissas devem ser usadas normas internacionais conforme MTB (2004).

Qualquer atividade relacionada a instalações elétricas requer um planejamento prévio meticuloso e deve estar em conformidade com os procedimentos padronizados. Além disso, é imperativo realizar uma análise de riscos detalhada, priorizando a desenergização, conforme estabelecido no item 10.5 da NR10. Caso a desenergização não seja viável, deve-se aplicar a tensão de segurança para garantir a segurança da intervenção. Isso visa eliminar qualquer possibilidade de risco elétrico na instalação. Na eventualidade em que a desenergização ou a aplicação da tensão de segurança não seja possível, devem ser adotadas as medidas de controle de risco elétrico conforme previstas na norma técnica NBR14039, especialmente no capítulo V, que trata da segurança em instalações elétricas. Essas medidas incluem o isolamento de partes vivas, a implementação de obstáculos e anteparos, o seccionamento automático da alimentação, a equipotencialização, entre outras.

### **2.2.2 Norma Regulamentadora 12**

A Norma Regulamentadora 12 (NR12), intitulada “Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos”, é uma norma regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) que visa assegurar a segurança e a saúde dos trabalhadores que operam máquinas e equipamentos. Ela estabelece medidas de proteção para prevenir acidentes de trabalho e fornece diretrizes para a instalação, operação, manutenção e inspeção desses equipamentos. Essa norma é obrigatória para todas as empresas que incorporam máquinas e equipamentos em seus processos produtivos.

O item 12.1.9.1 orienta a aplicação de medidas de segurança em áreas consideradas como zonas de perigo. Além disso, ele destaca a importância de observar as características técnicas da máquina, o processo de trabalho e os parâmetros de funcionamento, bem como de considerar as opções e métodos disponíveis para garantir o nível necessário de proteção conforme previsto nesta NR MTB, (1978).

Os capítulos 12.3 e 12.4 da NR 12 estabelecem a obrigatoriedade da implantação de sistemas de prevenção de risco relacionados à eletricidade, como choque elétrico, incêndio, explosões e outros tipos de acidentes causados por fontes elétricas. A norma enfatiza a importância da segurança nas instalações elétricas, incluindo a utilização de sistemas de sinalização visual e/ou sonoro, bloqueios de acesso, relés, dispositivos de atuação em situações de emergência ou que evitem a manipulação indevida, tais como dispositivos que evitem acionamento ou desligamentos

involuntários. Adicionalmente, ela preconiza a presença de estruturas redundantes e a capacidade de monitoramento de falhas que possam afetar a segurança (MTB, 1978).

### **2.2.3 ABNT NBR 5410:2008**

A norma ABNT NBR 5410:2008, intitulada “Instalações Elétricas de baixa tensão”, estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão. Seu propósito é garantir a segurança de pessoas e animais, o correto funcionamento da instalação e a preservação dos bens. Isso se aplica principalmente às instalações elétricas em edificações, abrangendo as pré-fabricadas. A norma considera circuitos elétricos com tensão nominal igual ou inferior a 1000V em corrente alternada, com frequências inferiores a 400Hz, ou a 1500V em corrente contínua conforme ABNT (2008).

Tanto as normas que tratam de instalações elétricas de baixa quanto média tensão seguem uma estrutura similar em seus capítulos. Elas levam em conta as particularidades das instalações e dos usuários. No entanto, nos princípios e determinações gerais, a NBR5410 aborda uma ampla gama de tópicos. Isso inclui desde a orientação de proteção contra risco de choque, efeitos térmicos, sobrecorrente, sobretensão, até aspectos como circulação, falta de energia elétrica, serviços de segurança, desligamento de emergência, seccionamentos, independência da instalação elétrica, acessibilidade, seleção e instalação de componentes, prevenção de danos e exigência de qualificação profissional. Ela também trata de determinações e características gerais de uma instalação elétrica.

Nos capítulos subsequentes da norma, que abordam a seleção e instalação de componentes, é enfatizada a obrigação de que esses componentes atendam às normas brasileiras. Em casos de ausência dessas normas, a norma prevê a utilização de normas internacionais. Já na seção dedicada à seleção e instalação de linhas elétricas, são tratados temas como uso de componentes, critérios de escolha, características técnicas e elétricas, bem como a documentação da instalação. Esses temas são seguidos por orientação sobre inspeção, ensaios e manutenção, sendo essa última abordada com ênfase na periodicidade, qualificação do pessoal e verificação de procedimentos de rotinas.

### **2.2.4 ABNT NBR 14039:2021**

A norma ABNT NBR 14039:2021 trata das diretrizes para a construção de subestações elétricas. Ela abrange todos os tipos de subestações de tensão nominal de 1kV a 36,2kV, abrangendo desde a fase de projeto à execução, além de estabelecer as orientações para a

manutenção adequada das subestações elétricas. A norma também especifica os requisitos de segurança, incluindo as medidas para a proteção contra riscos de choques elétricos, incêndios, explosões e outros riscos, além de estabelecer as diretrizes para a manutenção adequada das subestações elétricas, garantindo a segurança e a eficácia de suas operações ABNT (2021). Como tal, a NBR14039 é essencial para garantir a segurança e a eficiência de qualquer subestação elétrica.

A norma inicia considerando instalações que recebem alimentação a partir da concessionária de energia local no ponto de entrega, conforme por legislação vigente e regulamentada pela ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Além disso, também aborda instalações que possuem fonte de alimentação própria em média tensão.

Inicialmente, a NBR14039:2021 oferece orientações gerais que incluem recomendações para promover a segurança de pessoas e de animais, bem como proteger equipamentos e instalações, levando em conta o meio ambiente e considerando os riscos potenciais associados à interação com instalações elétricas ou em situações que podem ser previstas. Considera a potência instalada e sua importância para a formulação econômica e segura dentro dos limites de temperatura e queda de tensão.

No item subsequente, são abordadas as proteções essenciais para garantir segurança nas instalações de alta tensão, incluindo medidas contra risco de choques elétricos, contra efeitos térmicos, sobrecorrentes, sobretensões, mínima e máxima tensões de falta de fase, inversão de fase, vazamento de líquido isolante, proteção de pessoas que trabalham em instalações de média tensão e segurança contra perigos resultantes de falta por arco.

Nos capítulos seguintes a norma trata da seleção de componentes, abrangendo dispositivos, equipamentos e instalações e estabelece critérios para ensaios, inspeções, operações, manutenção e subestações.

### **2.2.5 DIS-NOR-036 de 20-02-22**

Essa norma padroniza as entradas de serviço, medição e proteção geral, estabelecendo as condições para o fornecimento de energia elétrica às unidades consumidoras individuais ou do grupo A que compartilhem a mesma subestação nas tensões de 11,95kV; 13,8kV e 34,5kV COELBA (2022).

Essa norma se aplica a todas as instalações novas, reformadas ou ampliadas, de caráter permanente ou provisório, com média tensão de fornecimento (1kV – 36.2kV). Essas instalações devem cumprir as diretrizes estabelecidas desde o projeto até a execução, abrangendo o ponto de

conexão com a concessionária até a origem da instalação, ou seja, o ponto de medição para dentro. Essa norma é adaptada para seguir as regras estabelecidas pela ANEEL, autarquia em regime especial, vinculada ao MME – Ministério de Minas e Energia, criadas pela Lei 9.427 de 26/12/1996, com a finalidade de fiscalizar as etapas de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.

Essa norma apresenta as definições e termos técnicos, além de definir os parâmetros de construção de uma instalação elétrica em média tensão, considerando toda a estrutura da construção civil, as características técnicas dos equipamentos, dispositivos e proteção usados, bem como testes e ensaios e inspeções necessários. Além disso, aborda a documentação necessária, como os memoriais de cálculo, projeto civil e elétrico, de segurança, permitindo assim a padronização das instalações elétricas. Isso facilita a obtenção de autorização de funcionamento, a realização de fiscalização, manutenções e o cumprimento das normas técnicas oficiais.

## 2.3 FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE RISCO

Para Cai, Li *et al.* (2012), uma subestação é a parte mais importante de um sistema elétrico, pois realiza tarefas importantes como transferência de energia elétrica, alterando os níveis de tensão e/ou corrente, pela relação de transformação definida, e a ligação/ desligamento de cargas. Contudo, essas instalações são suscetíveis a erros de funcionamento acidentais, devido à quantidade de dispositivos existentes. Conforme Pȳsculescu, Fita *et al.* (2022), a avaliação da vulnerabilidade das subestações de energia e o subsequente planejamento para a redução dessa vulnerabilidade são etapas cruciais. É imperativo considerar que o nível de segurança de um local de trabalho deve ser diretamente proporcional ao nível de risco associado.

Com objetivo de atuar nas tarefas a serem realizadas na subestação didática, esta dissertação se propõe a aplicar ferramentas de inspeção antecipada, detalhando todos os possíveis riscos que possam estar presentes no ambiente no qual são realizadas, com o auxílio da equipe de desenvolvimento. As principais metodologias consideradas para a análise de risco são: análise preliminar de risco; análise de modos de falha e efeitos – FMEA (AMFE); *Hazard and Operability Studies* – HAZOP; análise Risco de Tarefa – ART, dentre outras. Dentre elas, as utilizadas nesta dissertação são a APR (Análise Preliminar de Risco) e a FMEA.

### 2.3.1 Análise Preliminar de Risco – APR

A metodologia mais comumente empregada para a análise de risco em atividades operacionais da distribuição de energia elétrica é a APR, conforme prescrito pela NR10. Essa

abordagem consiste em uma visão técnica realizada no local do trabalho antes do início da atividade. Ela visa identificar eventos perigosos, suas causas e consequências, com objetivo de estabelecer medidas de controle (CARDELLA, 2016). A utilização da ferramenta APR possibilita a análise prévia de cada etapa da tarefa. Cada ação é registrada em um formulário, levando em consideração a condição local do ambiente, e relacionando as etapas com um conjunto de riscos e seus respectivos controles (MODARRES; KAMINSKIY *et al.*, 2009). Conforme apontado por Tavares (2016), essa técnica proporciona uma análise consciente e antecipada dos riscos. Isso permite avaliar os eventos de maior periculosidade, a identificação de suas causas e consequências e a elaboração de medidas de controle planejadas.

A APR é bastante utilizada pelas organizações, por identificar os recursos necessários para a execução da atividade, conforme Modarres, Kaminskiy *et al.* (2009). Essa metodologia apresenta duas oportunidades de análise: uma qualitativa de identificação, caracterização e classificação de perigos e outra quantitativa de avaliação de risco, o que permite avaliar a frequência de ocorrência e consequências do perigo. No entanto, conforme destacado por Dias *et al.* (2013), o propósito da análise de risco é adquirir o máximo de informações sobre todos os potenciais fatores que podem influenciar a ocorrência de imprevistos, aumentando a probabilidade de acidentes ou incidentes, e subsequentemente mapear as prováveis causas e efeitos resultantes do incidente. O que se espera como resultado de uma análise de risco são ações de controle que sejam eficientes e contribuam para eliminar ou minimizar o suficiente para que acidentes sejam evitados.

### **2.3.2 Análise de Modo de Falhas – FMEA**

Para Kardec e Nascif (2009), a FMEA (do inglês *Failure Mode and Effects Analysis*) é uma abordagem cujo objetivo é ajudar a identificar e priorizar danos iminentes em sistemas, processos e equipamentos. Apresenta-se como uma estrutura lógica que classifica as falhas possíveis e contribui com recomendações para ações preventivas. A FMEA é definida como um método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falhas que podem existir para cada item e a determinação dos efeitos de cada modo de falha sobre os outros itens e sobre a função específica do conjunto (NBR 5462, 1994).

A FMEA é uma ferramenta que apresenta duas possibilidades básicas, que são garantir a segurança dos usuários e a satisfação do cliente em relação ao produto utilizado, desde as fases iniciais do projeto até as etapas de entrega e utilização do produto/serviço, de acordo com Petrescu, Petrescu *et al.* (2021). A FMEA permite implementar e descrever as causas inerentes a eventos que possam causar falhas, determinando seus efeitos e elaborando métodos para minimizar sua

ocorrência ou recorrência, criando recomendações corretivas conforme Modarres, Kaminskiy *et al.* (2009) e Lafraia (2001).

A FMEA possibilita uma combinação de níveis de abstração, como funções do sistema, subsistemas ou componentes, o que viabiliza prever situações capazes de causar prejuízos e priorizar sua importância. A análise assume que ocorreu uma falha. O efeito potencial da falha é então pressuposto e cada uma das causas potenciais é evidenciada. Uma classificação de criticidade ou número prioritário de risco (RPN) também pode ser determinada para cada modo de falha e seu efeito resultante, o que se torna relevante para o estudo em questão, considerando o público em fase de treinamento que deverá realizar tarefas numa instalação de alta tensão. A classificação é normalmente baseada na probabilidade de ocorrência da falha, na gravidade de seus efeitos e em sua detectabilidade. A hierarquização das falhas com pontuação alta nessa classificação representa áreas de maior risco e suas causas devem ser mitigadas (MODARRES; KAMINSKIY *et al.* 2009).

## 2.4 REVISÃO DO ESTADO DA ARTE

Conforme argumentado por Zhao, Lan *et al.* (2021), as subestações de energia desempenham um papel fundamental na transformação de tensão para atender às necessidades de utilização, bem como na concentração e distribuição de energia para os consumidores subsequentes. O contínuo crescimento dos sistemas de energia resulta na construção de novas subestações, e a operação dessas deve primar pela segurança e estabilidade, fatores cruciais para uma transmissão de energia eficaz.

A maior parte dos perigos existentes em subestações são exposição à eletricidade proveniente dos equipamentos que estão relacionados com o processo tecnológico de produção de energia ou operações de comutação realizadas nas subestações, segundo Yurakowski (2000). Ivanova, Dimitrova *et al.* (2020) e Tavakoli e Nafar (2020) apontam para a importância do fator humano, além de equipamentos defeituosos, na confiabilidade das subestações.

Esses são pontos importantes a serem considerados no estabelecimento de critérios de controle dos riscos de segurança aos quais são expostos os executantes durante as tarefas de operação e manutenção, que podem trazer possíveis prejuízos materiais e humanos (CAI, *et al.*, 2012). Conforme observado por Pasculescu, Fita *et al.* (2022), subestações de energia são consideradas como infraestrutura cuja segurança requer conhecimentos interdisciplinares e multidisciplinares envolvendo as áreas elétrica, médica, inteligência e segurança.

Como foi discutido anteriormente, considerando que a proposta deste estudo é para uma



subestação de 13,8kV/220V, cujo objetivo seja para fins didáticos, com instalações e equipamentos funcionando em condições semelhantes aos reais, há necessidade de maior rigor na aplicação de procedimentos de segurança devido à inexperiência do público que deverá utilizar a subestação. Foram feitas diversas buscas na literatura científica relacionadas aos temas segurança e treinamento em subestações, utilizando-se as bases de dados Scopus, *ScienceDirect*, CAPES CAFé, Google Acadêmico e *IEEE Explorer*. Com relação ao tema treinamento para operação e manutenção de SE (Subestação Elétrica), os artigos encontrados estavam relacionados ao uso de simuladores e em alguns casos com uso de realidade aumentada e/ou realidade virtual. Nenhum artigo abordando a segurança em subestações didáticas foi identificado. No entanto, ao explorar o tema segurança em subestações, observa-se uma ampla variedade de tópicos nos artigos disponíveis. A Tabela 1 apresenta um resumo dos artigos mais pertinentes para o tema central desta dissertação, que trata da segurança em uma subestação didática. Não foram priorizados nessa tabela os artigos que tratam de simuladores para treinamento, com ou sem realidade virtual aumentada, bem como os que abordam aspectos relativos à segurança de informações, novos equipamentos e ferramentas para operação remota e/ou autônoma nem sempre presentes nas instalações brasileiras onde os profissionais treinados atuariam. Também foram excluídos os artigos anteriores a 2010, uma vez que os desafios apresentados nessas publicações estavam desatualizados e as recomendações tiveram tempo suficiente para ser incorporadas às normas regulatórias.

Tabela 1 – Publicações relevantes

Referência	Categoria	Resumo	Pontos relevantes
Hamdan, 2022	Operação Remota	A implementação da operação remota elétrica em instalações offshore com a integração de sistemas baseados em inteligência no ambiente offshore. O artigo descreve os pontos problemáticos, descreve a solução proposta e desafios para concretizar a solução.	Operação remota de Sistemas elétricos requer alto investimento e nem sempre compatível com instalações já existentes que requerem intervenção presencial.
Pasculescu, 2022	Confiabilidade	Examina o risco de saúde e segurança ocupacional em uma subestação conectada à rede elétrica europeia. Os níveis de risco/segurança são estabelecidos através da técnica INCDPM <i>Bucharest</i> . O método proposto ajudou a priorizar as ações preventivas e identificar necessidade de atualização de um dos ativos que era muito antigo.	Método para cálculo de confiabilidade com base na FMEA.
Zhao, 2021	Redução de risco/Erro Humano	Propõe método computacional de aprendizagem profunda para processamento de imagem de vídeo de vigilância com objetivo de detectar trabalhadores sem a EPI recomendada.	Necessidade de fiscalização do uso de EPI para evitar acidentes devido a ser a violação mais comum realizada pelos trabalhadores de SE.

Tavakoli, 2020	Redução de risco/Erro Humano	Análise de interrupções de energia e erros humanos que ocorrem na manutenção das redes de alta e média tensão no Irã e identificação dos fatores humanos que impactam esses erros.	Importância dos fatores humanos para execução segura das tarefas. Maior incidência de erros humanos pelas pessoas experientes e em posição de liderança que ignoravam as instruções dos formulários de plano de proteção e checklists, devido a familiaridade com os mesmos.
Panaro, 2017	Taxa de Acidentes	Apresenta uma estimativa dos acidentes elétricos do trabalho, destacando o tratamento da informação sobre acidentes e utilizando codificação ESAW ( <i>European Statistics on Accidents at Work</i> ) na Itália.	Discute a subestimação dos números de acidentes com eletricidade dependendo dos códigos utilizados na estimativa.
Cai, 2012	Redução de risco/Erro Humano	Propõe sistema de detecção de erro no acesso a baía desejada através da análise de imagens da sinalização e baía com método de IA.	Mostra a necessidade de otimizar o sistema de gerenciamento para evitar que erros humanos causem acidentes.
Fotuhi-Firuzabad, 2012	Confiabilidade	Introduzido processo de avaliação de confiabilidade de subestações equipadas com FCL ( <i>fault current limiter</i> ) utilizando a (FMEA) para avaliar a confiabilidade.	FCLs degradam a confiabilidade das SE, com aumento da taxa média de falha e tempo indisponível devido à adição de novos modos de falha.
Bowen, 2011	Redução de Risco/Equipamentos	Esse documento descreve melhorias de segurança em painel de distribuição de Média Tensão (MT)/Baixa Tensão. O resultado esperado é um projeto de equipamento seguro que requer menor exposição de risco para tarefas normais da subestação.	Segurança em painéis de alta tensão e melhorias na segurança.
Bühler e Balzer, 2010	Confiabilidade	O artigo apresenta uma abordagem para otimizar a manutenção e renovação de subestações de Média Tensão/Baixa Tensão, utilizando o modelo de lógica fuzzy. Para isso, analisa-se o risco que cada ativo carrega numa subestação, a fim de determinar o risco total para a subestação. O modo de operação do modelo apresentado é demonstrado.	Possibilidade de otimização do agendamento de manutenção e renovação das atividades após inspeção. Método para obter risco total a partir da análise de risco de cada ativo existente na SE.

Fonte: autoria própria (2023)

Os estudos que abrangem a realidade virtual, realidade aumentada e simuladores permitem uma interação com a subestação sem a necessidade de contato físico, reduzindo o risco de choque elétrico e danos aos equipamentos. Embora sejam ferramentas valiosas para o desenvolvimento de competências operacionais, ainda não conseguem substituir completamente a presença humana nesses ambientes. Portanto, não há impedimentos para que ocorra uma complementação de treinamentos entre as ferramentas de realidade aumentada e realidade virtual, antes da realização de atividades em subestações elétricas. Com o avanço cada vez maior da tecnologia e o desenvolvimento de equipamentos novos, as atividades realizadas presencialmente pelas pessoas estão cada vez mais sendo evitadas, ganhando com isso maior confiabilidade e também a segurança dos envolvidos em determinados processos. Para Hamdan, Wmn *et al.* (2022), a

necessidade de reduzir o aumento do custo operacional e otimizar a produção, juntamente à necessidade de aprimorar o trabalho em operações de alto risco, justifica a comunicação remota entre os dispositivos, possibilita melhores resultados e conseqüentemente tomadas de decisão mais precisas e confiáveis.

A viabilidade de utilizar computadores para operacionalizar tarefas em subestações tem se tornado cada vez mais comum. Contudo, há necessidade de preparar pessoas para utilizar automação de sistemas e controles remotos como ferramenta eficaz para quem desenvolve tarefas direta ou indiretamente em subestações. Para Frank (1999), essa ferramenta utilizada no setor de energia elétrica pode produzir um ambiente realista e virtual, além de proporcionar aos indivíduos que não apresentam familiaridade com instalações de subestação a realização de algumas operações simples, e àqueles que apenas inspecionam ambientes de SEs ou realizam atividades diretamente nas instalações, proporciona o desenvolvimento de atividades sem maiores exposições a perigos da eletricidade. Comparado à formação tradicional, apesar de oferecer boas interações com o instrutor, tem custo elevado, não é simples para a empresa implementar. Os calendários de formação podem não estar em sincronia com as necessidades da empresa, é de difícil repetitividade, beneficia poucos alunos/empregados, não disponível de imediato. Essas são algumas comparações realizadas pelo autor.

A evolução da tecnologia tem permitido construir instalações cada vez mais seguras através de projetos inerentemente mais seguros, assim como pela adoção de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) como proteção primária, para garantir a segurança do pessoal quando tarefas de risco são executadas (BOWEN; WEBER, 2011). Subestações modernas e inteligentes atualmente aproveitam muitos dos novos avanços em segurança, permitindo a eliminação de comportamentos de risco associados à operação, através da automação de um local de risco, assim como o monitoramento e sinalização de pontos de teste indicando perigo. Entretanto, a maioria dos equipamentos disponíveis e instalados foi projetada para operações manuais, sendo executadas localmente na presença do equipamento. Isso se deve às peculiaridades dos sistemas elétricos cujo tempo de vida dos ativos é longo, chegando a 40-50 anos para ativos de média tensão, dificultando a automatização. Além disso, os usos de equipamentos antigos apresentam maior nível de falhas e requerem manutenção mais frequente e exposição do operador e sistema a riscos (BUEHLER; BALZER, 2010). A necessidade da presença de operadores no local para coletar parâmetros de manobra e realizar análises “in loco” dos equipamentos reforça a necessidade de treinamento em condições as mais próximas possíveis das condições de operação e a importância da subestação didática.

Segundo Pasculescu, Fita *et al.* (2022), instalações elétricas de alta tensão, incluindo subestações, são consideradas infraestruturas críticas devido à sua natureza interdisciplinar e multidisciplinar, abrangendo áreas como eletricidade, medicina, inteligência e segurança. Dada a diversidade de fontes de riscos e ameaças para o pessoal envolvido, garantir a saúde e a segurança ocupacional das pessoas que trabalham em subestações passa pela possibilidade de desenergização, destacando-se que o controle mais eficaz ocorre nas fases de projeto e construção do sistema de trabalho. No entanto, é igualmente crucial estabelecer uma metodologia para analisar e determinar como lidar com essas fontes de perigo posteriormente. O estudo apresentado por Fotuhi-Firuzabad, Aminifa *et al.* (2012) apresenta a possibilidade de utilizar tecnologia de limitador de corrente de falta de energia para aumentar a confiabilidade do sistema elétrico em subestações e assim evitar falhas, mesmo abordando conflitos na implantação entre custo e confiabilidade. Contudo, consegue garantir a operacionalidade de equipamentos sem eventos indesejáveis, o que garante a segurança de pessoas indiretamente, quando a atuação do sistema interfere na operação com falha,

Para Zhao, Lan *et al.* (2021) e Cai, Li *et al.* (2012), que abordam falhas humanas, é fundamental assegurar que as operações em subestações sejam isentas de erros. Isso pode ser alcançado por meio do controle de uso de equipamentos de proteção e a supervisão visual dos acessos locais e operações respectivamente. No entanto, Tavakoli e Nafar (2020) conduziram um estudo sobre falhas em redes elétricas no Irã, identificando interrupções causadas por equívocos cometidos por operadores.

Ao comparar o número de acidentes de origem elétrica entre empresas de grande e pequeno porte na Itália, Panaro e Amatucci (2017) identificaram uma incidência mais elevada nas empresas de menor porte. As causas dessa observação não foram identificadas, mas os autores especulam que devem ser investigadas em possíveis lacunas em áreas como treinamento, informação, disponibilidade de estrutura adequada, instalações, equipamentos de trabalho e EPIs. Esses estudos convergem no tema erro humano, o que é central ao objetivo deste estudo. Para operações didáticas em subestação, a prevenção de erros é crucial para garantir a segurança. Todavia, os estudos divergem de maneira a abordar a possibilidade de falhas. Enquanto Zhao, Lan *et al.* (2021) e Cai, Li *et al.* (2012) desenvolvem tecnologias para a detecção de erros humanos, Tavakoli e Nafar (2020) abordam os fatores humanos por trás dos equívocos e Panaro e Amatucci analisam o impacto do sistema de classificação de erros na identificação das causas dos acidentes.

Tavakoli e Nafar (2020) relataram uma maior incidência de erros humanos entre pessoas experientes e em posição de liderança, que ignoravam as instruções dos formulários de plano de

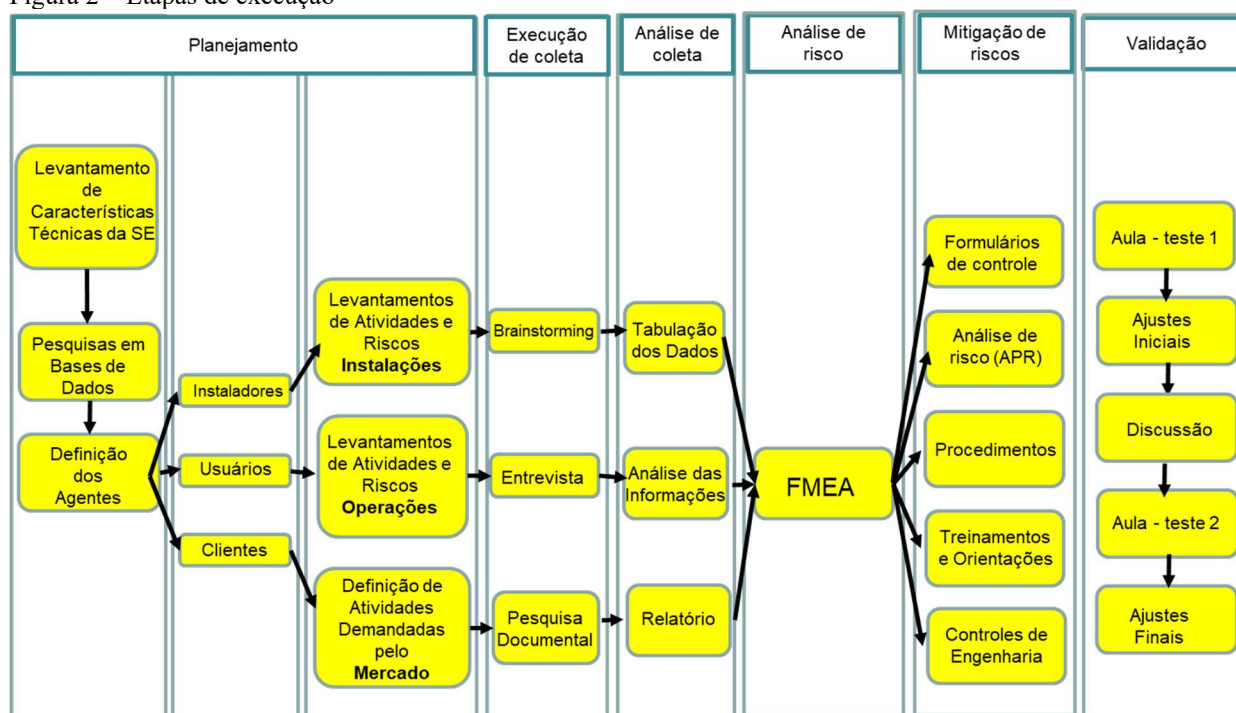
proteção e checklists devido à familiaridade dos mesmos com as ferramentas de controle. Portanto, é essencial avaliar se o preenchimento de formulários e a utilização de checklists pelos professores que frequentemente usariam a SE didática representariam um risco.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os resultados apresentados na seção 4 desta dissertação, o trabalho desenvolvido seguiu o fluxo apresentado na Figura 2. No primeiro momento, considerado planejamento, foram realizados o levantamento das características técnicas da subestação, pesquisas em bases de dados e identificação dos principais *stakeholders*. Com a definição dos *stakeholders* foi possível realizar a investigação dos riscos nas atividades das instalações e operações complementadas com verificação das demandas do mercado. Nas etapas seguintes, execução e análise de coleta, foram aplicadas ferramentas de investigação, como *brainstorming*, entrevistas e pesquisa documental, com o objetivo de obter e tabular dados referentes às atividades a serem executadas na subestação. Com o conjunto de informações adquiridas tornou-se realizável elaborar uma FMEA para indicar controles necessários para a utilização da subestação didática.

Por fim, na fase de validação, foram realizadas aulas-testes para avaliar as medidas de mitigação de risco e identificar a necessidade de medidas adicionais e quaisquer ajustes necessários.

Figura 2 – Etapas de execução



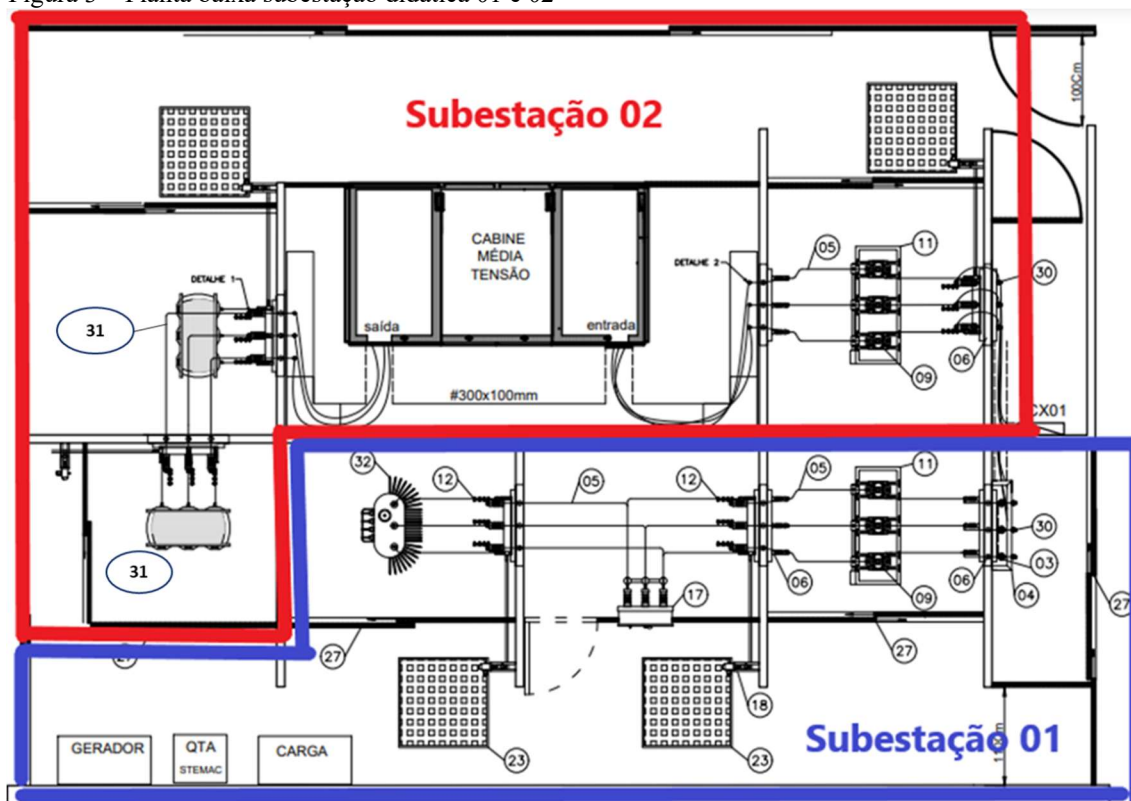
Fonte: autoria própria (2023)

#### 3.1 DESCRIÇÃO DA SUBESTAÇÃO DIDÁTICA

Este trabalho se refere a duas subestações didáticas que se encontram no CIMATEC Park, Via

Atlântica, BA 530, km 2,5, Camaçari - BA, 42810-440, cuja planta baixa é apresentada na Figura 03. São subestações do tipo abrigadas com entradas independentes, possuindo tensão primária de entrada de 13,8kV e tensão secundária em 220/380V para a subestação 01 e 127/220V para a subestação 02. Foram instaladas numa área construída de 102m<sup>2</sup>, com projetos elaborados seguindo orientações técnicas contidas na NBR14039:2021 e NBR5410:2008.

Figura 3 – Planta baixa subestação didática 01 e 02



Fonte: Cimatic (2022)

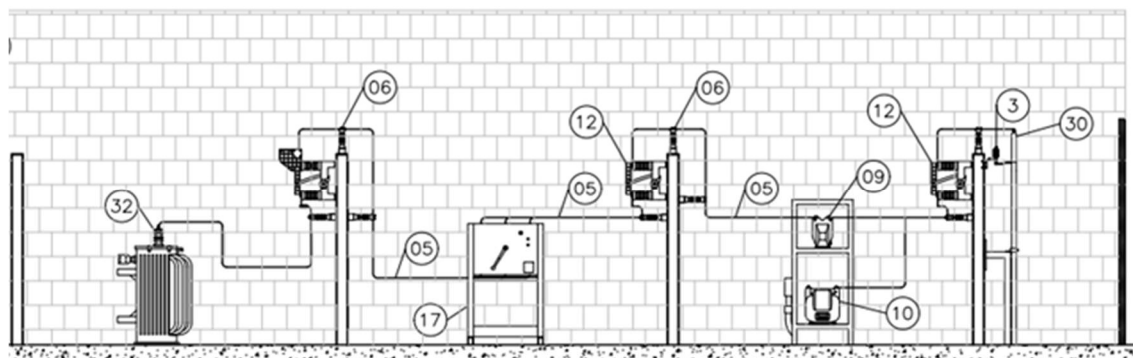
Legenda:

Item	Descrição	Item	Descrição
03	Para-raio polimérico 15kV	12	Chave seccionadora tripolar comando simultâneo 15kV
04	Suporte para fixação das muflas	17	Disjuntor a vácuo 15kV
30	Terminal termocontrátil para cabo	18	Punho de acionamento da chave seccionadora
06	Isolador de pedestal 15kV	23	Tapete de borracha classe 15kV
09	Transformador de corrente	05	Vergalhão de cobre maciço 3/8"
11	Suporte para transformadores de medição	31	Transformador a seco 30 kVA, 13,8kV/380-220V
27	Grade de proteção	32	Transformador a óleo 112,5kVA, 13.8 kV/380-220V

A visão frontal da subestação 01, mais comum instalação com potência instalada acima de 75kW,

como residências, comércio ou pequenas indústrias, com área construída de 23m<sup>2</sup>, é apresentada na Figura 04 e vista aérea conforme figura 05. As especificações dos equipamentos utilizados na subestação estão descritas no Apêndice A.

Figura 4 – Vista frontal da subestação 01



Fonte: Cimatec (2022)

Legenda:

Item	Descrição	Item	Descrição
03	Para-raio polimérico 15kV	12	Chave seccionadora tripolar comando simultâneo 15kV
30	Terminal termocontrátil para cabo	17	Disjuntor a vácuo 15kV
06	Isolador de pedestal 15kV	05	Vergalhão de cobre maciço 3/8"
09	Transformador de corrente	32	Transformador a óleo 112,5kVA, 13.800/380-220V
10	Transformador de potencial 15kV		

Figura 5 – Vista aérea da subestação 01

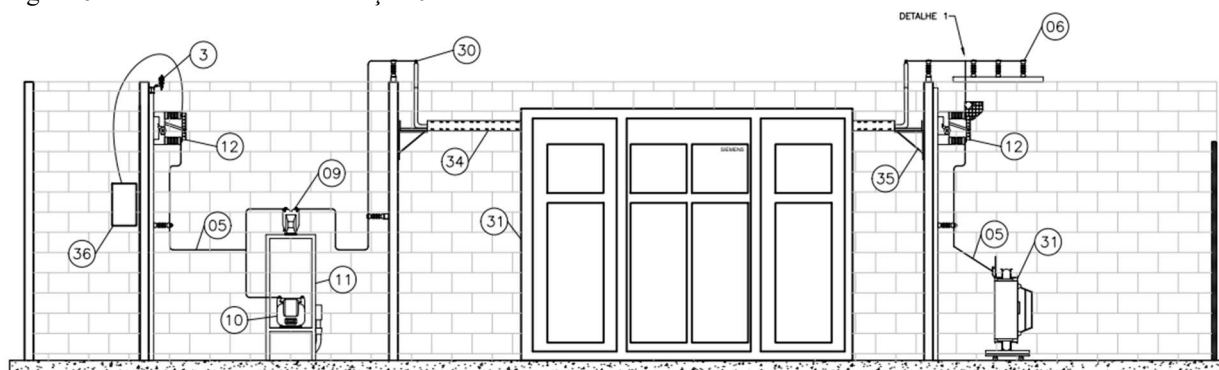


Fonte: autoria própria (2023)

A subestação 02 é para aplicações industriais e tem uma área construída de 52,5m<sup>2</sup>, tensão primária de 13,8 kV e secundária de 127/220V, com equipamentos instalados conforme apresentado nas figuras 06 e 07. Observando que o outro transformador a seco, item 31, não é visto nessa imagem por se encontrar por trás do muro, conforme visto na figura 03. As especificações dos equipamentos utilizados na subestação estão descritas no Apêndice B.



Figura 6 – Vista frontal da subestação 02



Fonte: Cimatic (2022)

Legenda:

Item	Descrição	Item	Descrição
03	Para-raio polimérico 15kV	05	Vergalhão de cobre maciço 3/8"
30	Terminal termocontrátil para cabo	31	Transformador a seco 30 kVA, 13.800/380-220V
06	Isolador de pedestal 15kV	33	Cabine de média tensão Siemens
09	Transformador de corrente	34	Leito para condutores de cabo isolado de alta tensão
10	Transformador de potencial 15kV	35	Mão francesa em aço para suporte do leito
11	Mesa de suporte dos TCs e TPs	36	Caixa de conexão de condutores
12	Chave seccionadora tripolar comando simultâneo 15kV		

Figura 7 – Vista aérea da subestação 02



Fonte: autoria própria (2023)

### 3.2 ADAPTAÇÕES NAS SUBESTAÇÕES

Foi reduzida a tensão de alimentação de entrada das SEs de 13,8 kV para 0,38 kV e a altura, apenas na subestação 01, de alguns equipamentos como para-raios, seccionadoras que

originalmente deveriam ser instaladas a 2,2 metros e 1,7 metro da base do equipamento para o piso, sendo alterado para 1,7 e 1,4 metro respectivamente, conforme orientação da Coelba (2022). O suporte para TC e TP (transformador de corrente e transformador de potencial, respectivamente) e cavalete para montagem, que de acordo com o original deve ter 1,4 metro de altura, sendo reduzida para 1,0 metro, com o objetivo de evitar risco de queda por diferença de nível.

No transformador trifásico de 112,5 kVA, com relação de transformação de 13,8/0,38 – 0,22 kV e sistema de resfriamento a óleo mineral, ocorreu uma instalação em desacordo com a recomendação normativa DIS-NOR-36 da Coelba (2022). Essa normativa determina a utilização exclusiva de transformadores do tipo seco para SE abrigadas; já na SE 02, os transformadores já foram em atendimento à norma. No entanto, procedeu-se à desmontagem do transformador, remoção do óleo isolante e dos núcleos originais. Em seu lugar, foram instalados três transformadores monofásicos refrigerados a ar, cada um com uma potência de 2,0 kVA. Isso resultou em uma potência trifásica total de 6,0 kVA, ligados em configuração delta/estrela, com uma nova tensão primária de 0,38 kV e secundária de 0,22 kV.

No disjuntor Areva, manual e automático com pequeno volume de óleo (PVO de 630 A, 15kV), foi necessário instalar internamente um autotransformador de baixa potência para alimentar o sistema de comando interno e garantir o funcionamento automático do sistema de atuação. A redução de altura nas instalações das chaves seccionadoras impactou a alimentação de entrada do disjuntor, que deveria ser realizado por cima para melhor conexão do barramento com o primário do disjuntor. Conseqüentemente, a saída do polo secundário do disjuntor precisou ser rebaixada, mas foram respeitadas as outras distâncias normativas.

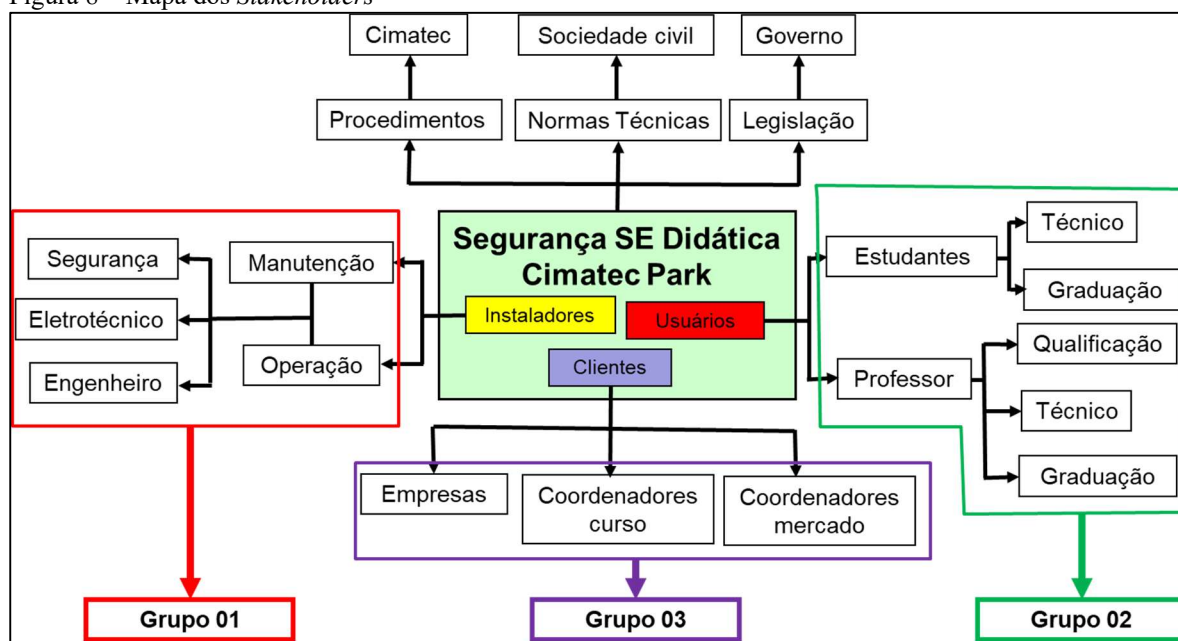
As orientações das normas de instalações elétricas em alta tensão como NBR14039 e DIS-NOR-36 nos itens 4.3.2.1 e 7.9.11, respectivamente, restringem acesso a instalações de subestações apenas às pessoas classificadas como qualificadas ou habilitadas, ou seja, BA4 e BA5, conforme apresentado na tabela 12 de Competência de pessoas, apresentada na NBR14039. Devido à inexperiência dos discentes, houve maior controle do acesso aos ambientes, tanto energizados como os não-energizados, com a instalação de bloqueios com cadeado, controles sonoros e sinalizadores luminosos.

### 3.3 STAKEHOLDERS

Para melhor entendimento dos usuários, manobras a serem executadas nas subestações, identificação de possíveis riscos e medidas de controle de segurança, foi feita inicialmente uma análise dos agentes envolvidos, que foram categorizados como instaladores, usuários e clientes,

conforme apresentado na figura 8.

Figura 8 – Mapa dos Stakeholders



Fonte: autoria própria (2022)

Os instaladores, classificados como grupo 01, são os agentes envolvidos com a montagem e configuração da subestação didática, garantindo os aspectos normativos legais e técnicos, a manutenção das instalações e equipamentos, além do funcionamento operacional. A atribuição dos instaladores é definir as condições operativas da subestação, considerando riscos e possíveis falhas e seus respectivos controles. Essa equipe foi composta por profissionais das áreas de Engenharia Elétrica, Mecânica e Segurança do Trabalho, cujo objetivo é avaliar e estabelecer as condições operativas da subestação adaptada às características do usuário. São seus integrantes: 01 Engenheiro Eletricista e Segurança, 03 Engenheiros Eletricistas, 01 Engenheiro Mecânico, 01 Engenheiro de Segurança, 02 Eletrotécnicos e 01 Técnico de Segurança. A existência dessa equipe é fundamentada em uma ampla gama de conhecimentos que abrangem atividades em instalações de alta tensão. Isso inclui desde a realização de manobras até a definição de parâmetros elétricos e mecânicos de equipamentos, bem como a implementação de controles de riscos.

Os usuários, grupo 02, incluem o público-alvo que utilizará a subestação didática. Dessa forma, incluem-se os professores e estudantes dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Elétrica, os alunos dos cursos técnicos em Eletricidade e os participantes de cursos de qualificação na área de Eletricidade Industrial.

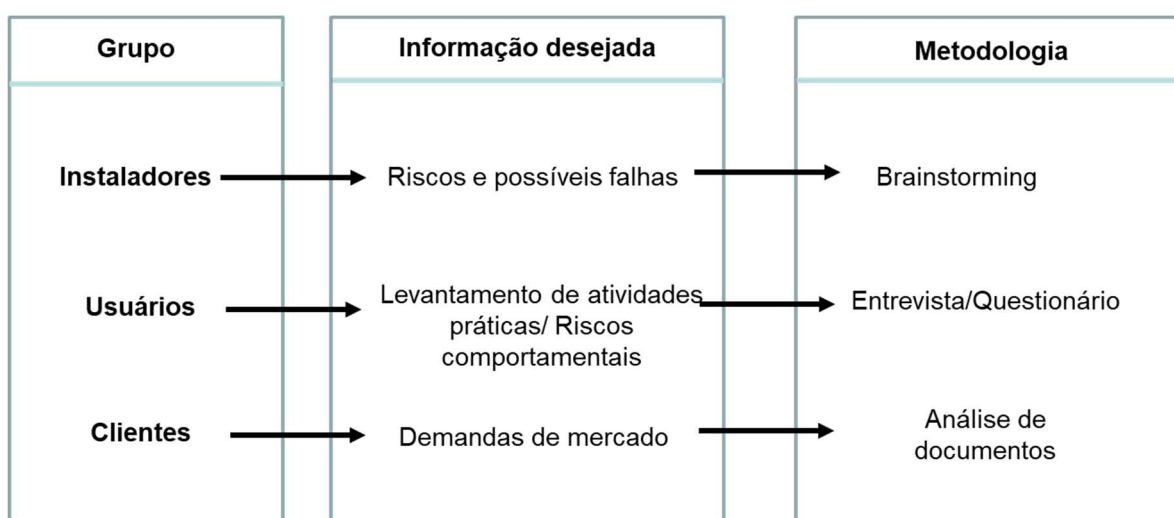
Os coordenadores de cursos e de mercado foram associados ao grupo 03, denominado de

clientes devido à interlocução com empresas, que são os requisitantes das necessidades de mercado, e que serão traduzidos considerando os objetivos didáticos e pedagógicos dos respectivos coordenadores.

### 3.4 COLETA DE INFORMAÇÕES

A coleta de informações foi realizada em três frentes diferentes, utilizando-se ferramentas diversas para os grupos de instaladores, usuários, conforme apresentado na figura 9.

Figura 9 – Abordagem metodológica para definição de requisitos



Fonte: autoria própria (2023)

Os instaladores possuem conhecimento dos diagramas elétricos e dos procedimentos de execução pertinentes à subestação e experiência relevante com relação à segurança de trabalho. São pessoas qualificadas para levantar questionamentos cruciais sobre a necessidade de controles de segurança eficazes para mitigar os riscos elétricos, além dos riscos adicionais essenciais para o funcionamento seguro de uma subestação didática abrigada de 13,8 kV. A coleta de informações com essa equipe foi realizada num *brainstorming*.

O “*brainstorming*”, também denominado de “tempestade de ideias”, é um método que pode ser utilizado para caracterizar o risco advindo dos perigos presentes num sistema, fazendo uso da capacidade criativa de indivíduos ou grupos, conforme abordado por Dias *et al.* (2013). Foi utilizado para o mapeamento preliminar dos riscos existentes na subestação elétrica, respeitando as experiências individuais da equipe multidisciplinar dos instaladores. A escolha dessa ferramenta na modalidade não-estruturada foi devido à possibilidade de gerar maior quantidade de ideias a serem produzidas e também por existir uma equipe reduzida de componentes.

A etapa seguinte consistiu em mapear as atividades a serem desenvolvidas durante as aulas ministradas pelos professores. Nesse processo, foram identificados riscos e seus componentes, estabelecendo correlações entre atividades práticas e as responsabilidades dos usuários. Optou-se, então, por conduzir entrevistas com profissionais da área de eletricidade que possuam experiência em subestações de alta tensão, assim como experiência pedagógica no ensino de disciplinas relacionadas à eletricidade em alta tensão e/ou subestações elétricas. Foi feito um levantamento de profissionais na cidade de Salvador e região metropolitana que trabalham em instituições de ensino e/ou empresas que possuem subestações em suas instalações elétricas e incluem essas atividades em suas rotinas de trabalho.

Foram identificadas 13 pessoas que atendiam ao perfil delineado para o estudo, sendo profissionais que atuam ou já atuaram em atividades nas áreas de energia elétrica ou industrial, e que trabalham ou já trabalharam como docentes em instituições de ensino profissional ou graduação devidamente reconhecidas pelo MEC.

A entrevista dos profissionais com experiência prática em subestações elétricas no contexto educacional proporcionou uma compreensão mais holística dos desafios, a partir da perspectiva dos próprios participantes da pesquisa. Dessa forma, foi possível obter uma visão abrangente e contextualizada sobre a interpretação de determinados eventos. A escolha dessa abordagem se deveu à escassez e às dificuldades associadas à disponibilidade de documentos sobre o tema.

A opção pela entrevista semiestruturada para o levantamento de atividades práticas e riscos possibilitou uma coleta de dados na qual o pesquisador estabeleceu um contato mais próximo com o grupo estudado. Isso propiciou a obtenção de informações mais consistentes, devido às experiências pessoais dos entrevistados, além de permitir a condução espontânea da pesquisa, o que contribuiu para a maior coesão do objeto de estudo. Para guiar as entrevistas foi elaborado um questionário, conforme Apêndice C, contendo 13 perguntas abertas, conforme Apêndice A, sendo inicialmente de ordem pessoal, seguidas de questionamentos quanto à experiência profissional e depois sobre riscos diversos em subestações de eletricidade, finalizando com indagações sobre subestação didática. Um Termo de Consentimento Esclarecido (TCL) foi assinado por cada um dos entrevistados no início de cada entrevista.

Objetivando avaliar a qualidade do questionário elaborado foi feita uma entrevista-teste, no dia 23-02-2022, com indivíduos, obedecendo ao perfil profissional estabelecido, o que permitiu observar a consistência das perguntas, previsão de duração e possíveis necessidade de ajustes. Com a validação e ajustes feitos no questionário, iniciaram-se as entrevistas que ocorreram no período de 11-04-22 até 25-04-22. Onze das entrevistas aconteceram remotamente usando o

Google Meet como ferramenta e 02 entrevistas foram presenciais. Todas as entrevistas que foram gravadas utilizando o recurso do Meet e o gravador de voz do Motorola G8, totalizando 300 minutos de gravação de áudio e vídeo na plataforma YouTube, obedeceram a critérios de sigilo. Todas as entrevistas foram legendadas usando a ferramenta do YouTube, e depois transcritas para tabela na ferramenta Excel da Microsoft, sendo tabuladas e gerando gráficos.

Para a validação da demanda do mercado, quanto à utilização didática de subestação elétrica de alta tensão, foram pesquisados documentos internos do SENAI – Cimatec, conforme anexo VII. Sendo analisados documentos de solicitações, via e-mail e planilhas eletrônicas, gerados por empresas sediadas no Polo Petroquímico de Camaçari e região metropolitana de Salvador, onde as referidas solicitaram treinamentos envolvendo subestações elétricas nos anos de 2020 até 2022, ressaltando que nesse período havia restrições quanto a treinamentos presenciais devido à pandemia de COVID-19.

### 3.5 DEFINIÇÃO DE NECESSIDADES COM BASE NAS INFORMAÇÕES COLETADAS

Com o intuito de proporcionar uma visão realista das atividades realizadas em subestações elétricas de alta tensão, priorizou-se a análise dos riscos envolvidos em operações e manobras, incluindo desligamento e restabelecimento de energia, bem como intervenções de manutenção. É crucial observar as condições para a realização dessas tarefas, considerando a exposição a riscos elétricos e riscos adicionais, inerentes à instalação e a possíveis falhas de equipamento e humanas.

É importante destacar que os equipamentos instalados na subestação didática foram adquiridos no mercado convencional, sem adaptações ou ajustes, para fins educacionais, com exceção das realizadas pela equipe de instaladores descrita na seção. Portanto, tornou-se essencial mapear todos os riscos existentes e adaptar esse ambiente para atender aos objetivos didáticos, às características reais de funcionamento e à operação dos equipamentos. Isso possibilitará o pleno aproveitamento por parte do corpo acadêmico da instituição.

### 3.6 ANÁLISE DE RISCO (FMEA)

Optou-se por utilizar a Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*) para análise de risco, porque essa ferramenta possibilita aumentar a confiabilidade e evitar falhas num determinado processo. A ferramenta basicamente consiste em estruturar um conjunto de tarefas para identificar prováveis erros e analisar as decorrências durante a execução. A partir desses potenciais erros é possível detectar ações que devem ser observadas para se atuar

na eliminação ou redução de possibilidades de ocorrência. Essas ações servem também para expandir a possibilidade, visando o aumento da detecção de falhas, para que as atividades realizadas fora do padrão de segurança não exponham o executante a riscos de acidentes ou prejuízos materiais (MODARRES; KAMINSKIY *et al.*, 2009).

Dessa maneira, é possível estabelecer uma correlação entre um conjunto de potenciais falhas, organizadas por prioridade de riscos, e as intervenções correspondentes que devem ser implementadas para mitigá-las. Isso assegura que todas as possíveis falhas ao longo dos processos sejam devidamente consideradas, reduzindo assim as perspectivas de incidentes.

Para a construção da FMEA, a subestação didática foi segmentada de acordo com suas características: ambientes de alta tensão e baixa tensão. Isso facilitou a definição dos componentes, sistemas e subsistemas, considerando os diferentes tipos de equipamentos presentes em cada ambiente. Além disso, foi subdividida com base nos tipos de atividades realizadas: gerais e de manutenção, levando em conta as distintas atividades envolvidas e sua interação com os equipamentos instalados. Como resultado, obtivemos uma FMEA subdividida em quatro seções: Instalação de Baixa Tensão, Instalação de Alta Tensão, Atividades Gerais e Manutenção na SE.

A elaboração da FMEA para as atividades planejadas na subestação didática envolveu principalmente a identificação e categorização de todos os modos de falha. Esses foram classificados em categorias como alta tensão, baixa tensão, inspeção e intervenção para a manutenção de equipamentos, juntamente a suas respectivas probabilidades de ocorrência, tudo disposto em uma tabela para facilitar a interpretação.

Inicialmente, foram levantados os modos de falha para cada uma das seções e organizados numa tabela, que foram então minuciosamente analisados e estruturados por professores especializados em eletricidade, levando em consideração os critérios de severidade, detectabilidade e probabilidade. Ao multiplicar esses três índices, obtivemos os modos de falha devidamente ordenados de acordo com sua importância. Isso culminou na criação de uma tabela que serve como um guia valioso para a tomada de decisões.

Ao se empregar a FMEA para adquirir informações sobre os riscos na subestação didática, almejou-se aprimorar o entendimento dos riscos aos quais os estudantes poderiam estar expostos durante a execução das atividades. Essa ferramenta proporcionou, de forma sistemática, a priorização das informações sobre as possíveis falhas nos processos, resultando, assim, em uma classificação de prioridades para melhorias. Além disso, gerou documentos que servirão como guia para futuras atualizações, aprimoramento de técnicas e documentação de falhas anteriores.

### 3.7 AULA-TESTE

Para avaliar a efetividade das ações sugeridas e mapeadas pela FMEA, e com o objetivo de validar e verificar a consistência dos controles dos riscos elétricos e adicionais, foi realizada uma primeira aula-teste com as instalações desenergizadas. A aula compreendeu 4 horas para o curso de Eletrotécnica, na disciplina Manutenção e Operação de Sistemas Elétricos de Potência (MOSEP), no dia 12 de novembro de 2022. Essa disciplina foi escolhida por abordar instalações elétricas de alta tensão, incluindo equipamentos e operações de uma subestação elétrica, conforme apresentado na figura 07. A proposta da aula prática ocorreu no nono dia, com mais de 70% da disciplina já ministrada em teoria. Foram abordados os seguintes temas em sala de aula: aspectos técnicos e classificação de subestações, Normas Técnicas e Regulamentadoras, riscos elétricos, adicionais e comportamentais, bem como o controle de riscos.

Para a realização da aula prática na subestação didática, foi necessária uma preparação prévia do ambiente, garantindo que a instalação estivesse adequada para receber os estudantes e assegurando que não houvesse energização. A proposta da aula prática consistiu na intervenção de manutenção em equipamentos como chaves seccionadoras, disjuntores, transformadores de potência, para-raios e transformadores de corrente e potencial (TC e TP), visto que estavam desenergizados, não afetando o objetivo da aula. O desenvolvimento da aula exigiu a divisão da turma em grupos menores, com quatro estudantes em cada, devido ao espaço limitado e ao número total de 23 alunos na turma.

Seguindo os procedimentos propostos, foram preenchidos os formulários de Permissão de Atividade (PA) e elaboração da Análise de Risco na Atividade (ARA) antes de qualquer interação com as instalações. Após a execução das etapas mencionadas, procedeu-se à identificação das características dos equipamentos individualmente para cada subgrupo, com uma duração média de 30 minutos.

As observações feitas durante a realização da aula-teste foram posteriormente discutidas com os coordenadores dos cursos de Graduação e Técnicos, bem como com os professores. Propostas para ajustes no plano de segurança e nos procedimentos foram realizadas com o objetivo de garantir um melhor controle de segurança em relação à exposição aos riscos.

Uma segunda aula-teste foi realizada em 10 de outubro de 2023, na disciplina Operação de subestação para Empresa Baiana de Águas e Saneamento S/A, sendo contempladas 4 horas de atividades em operação de subestações elétricas. O objetivo dessa segunda aula-teste foi avaliar a eficiência dos controles de riscos e procedimentos operacionais sugeridos diante dos ajustes realizados após a primeira aula-teste. A escolha dessa turma foi devido às características técnicas



do público, especificamente de operadores.

A sequência de atividades desenvolvidas e os procedimentos foram os mesmos utilizados na aula-teste 01, seguindo as etapas de análise prévia das atividades de manobras e inspeções a serem realizadas, apresentação dos equipamentos existentes na subestação e as devidas intervenções, seguindo procedimentos padrão. Na comparação entre a primeira e a segunda aula-teste no curso de subestações elétricas, destaca-se uma distinção notável, especialmente em dois aspectos cruciais: a quantidade de alunos e a experiência dos discentes. A primeira sessão contou com um número mais expressivo de participantes, enquanto a segunda foi mais seletiva, com apenas 16 alunos, todos provenientes de empresas. A mudança no perfil dos alunos também se revelou marcante. Na segunda aula, todos os participantes já possuíam uma base de familiaridade com o ambiente das subestações. Essa característica distingue-os significativamente dos alunos da primeira aula, que ingressaram no curso com menos exposição prévia a esse contexto técnico específico.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados das coletas obtidas com profissionais ligados a subestações elétricas e educação que são pontos centrais de análise nesse contexto. A pesquisa realizada com profissionais especializados destaca suas características demográficas, formação e experiência pedagógica, além de ressaltar a importância de tópicos como procedimentos de segurança e conhecimento operacional. Paralelamente, a necessidade de treinamento específico na área se torna evidente, dada a alta idade média dos participantes. Adicionalmente, a análise das instalações elétricas da subestação revela a importância da aplicação da FMEA para mapear atividades com potenciais riscos. A aula-teste emerge como um elemento crucial, ao identificar ajustes essenciais para reforçar a segurança. Propostas como demarcação de limites, sinalizações sonoras e luminosas, entre outras, são destacadas como medidas cruciais para promover um ambiente de aprendizado seguro e eficiente. Além disso, a subestação proporciona não apenas noções básicas, mas um aprofundamento teórico e prático, fornecendo informações atualizadas sobre proteção, operação e manutenção. Esses elementos combinados reforçam a importância crítica da subestação didática no contexto da formação e atuação profissional em subestações elétricas. Essa jornada contou com diversas etapas, conforme apresentado na figura 10.

Figura 10 – Linha do tempo



Fonte: autoria própria (2023)

### 4.1 BRAINSTORMING COM INSTALADORES

Tomando como tema central para a análise do problema, foi feita a seguinte pergunta na realização do “*brainstorming*”, no dia 19 do mês de dezembro de 2021: Quais os principais riscos e controles de riscos (elétricos e adicionais) necessários para o funcionamento de uma subestação didática abrigada de 13,8kV?

Os riscos apontados no *brainstorming* puderam ser agrupados nas categorias utilizadas pelas NBR1439 e NBR5410: choque por contato direto, choque por contato indireto, arco elétrico, falha no isolamento, falha na operação, falta de aterramento, esbarrão/queda/lesão. Apesar de esse último ser considerado decorrência de choque por contato direto e indireto, ele é tratado separadamente nas normas pelo fato de os agentes diretos da lesão serem o esbarrão ou queda. Além desses riscos, adicionou-se o comportamental, que não é definido diretamente nas NBRs acima, mas é importante para nossa análise e identificação de medidas mitigadoras.

Uma lista das principais atividades mitigadoras desses riscos é apresentada na Tabela 2. Os 06 primeiros itens são preconizados nas normas que precisam ser atendidas, mas os demais são adicionais pertinentes à condição de subestação didática e foram levados em consideração na instalação e desenvolvimento dos procedimentos de controle que serão implementados.

Tabela 2 – Atividades mitigadoras de risco propostas no *brainstorming*

Atividades Mitigadoras	Risco							
	Choque Direto	Choque Indireto	Falha de aterramento	Falha de operação	Falha de isolamento	Arco elétrico	Esbarrão/queda	Comportamental
Aterramento Sobredimensionado	X	X						
Redução de altura dos componentes	X	X					X	
Maiores espaços para acesso de pessoas	X	X						
Redução de tensão	X	X						
Limitação de corrente	X				X			
Utilizar tensão de segurança	X				X			
Utilização de tapete de borracha nas operações				X	X	X		
Instruções para operações e manobras				X	X	X		
Simulações de carga com baixa tensão				X	X	X		
Adaptação do Trafo para garantir segurança		X	X			X		
Utilizar EPIs	X			X	X	X		
Seguir procedimento de segurança	X			X	X	X		
Treinamento dos professores para manusear a SE				X			X	
Treinar e orientar aluno antes do acesso				X			X	X
Apresentar diagramas elétricos aos alunos antes				X				
Limitação de alunos durante as operações	X			X				
Indicação dos riscos existentes na instalação	X		X	X	X			X
Fazer mapa de risco	X		X	X	X			
Controle de acesso de terceiros	X	X						X

Equipamentos e dispositivos adaptados aos alunos	X	X		X				
Facilidade de acesso aos equipamentos durante o funcionamento	X			X				
Visualização interna dos equipamentos em funcionamento				X				
Cumprimento das NRs relacionadas	X	X						
Atividades devem ser realizadas com instalação sem energia	X		X		X			

Fonte: autoria própria (2021)

## 4.2 ENTREVISTAS COM USUÁRIOS

Foram entrevistados 13 profissionais que atendiam ao perfil definido, sendo 85% homens, com média de idade de 57 anos e tempo médio de experiência profissional de 27 anos, conforme apresentado na Figura 11. A alta idade média dos participantes é reflexo da falta de treinamento específico nessa área na maioria dos cursos técnicos e de graduação, que se está tentando corrigir. No passado, esse treinamento ocorria apenas nas concessionárias adaptadas às instalações delas.

Figura 11 – Tempo de experiência em anos



Fonte: autoria própria (2023)

Quanto à formação e à experiência pedagógica dos entrevistados, o perfil apresenta-se bem diversificado, com formação acadêmica consistente com o perfil desejado de profissionais de educação com experiência profissional em subestações elétricas, conforme apresentado na figura 12. Note que a soma dos indivíduos para cada tipo de formação é superior ao número de entrevistados, porque muitos deles tinham mais de uma formação.

Figura 12 – Formação acadêmica dos entrevistados



Fonte: autoria própria (2023)

Pode-se afirmar que 60% dos entrevistados têm formação em Eletrotécnica e/ou Engenharia elétrica, seguidos de outros que se enquadram nas formações como Arquitetura, Engenharia de automação, TI, eletrônicas, áreas afins que desenvolvem atividades em SE e que 56% dos entrevistados ministram aulas em cursos Técnicos ou de Qualificação e 44% atuam em aulas em cursos de graduação como mostrado na Figura 13.

Figura 13 – Modalidade dos cursos ministrados pelos entrevistados



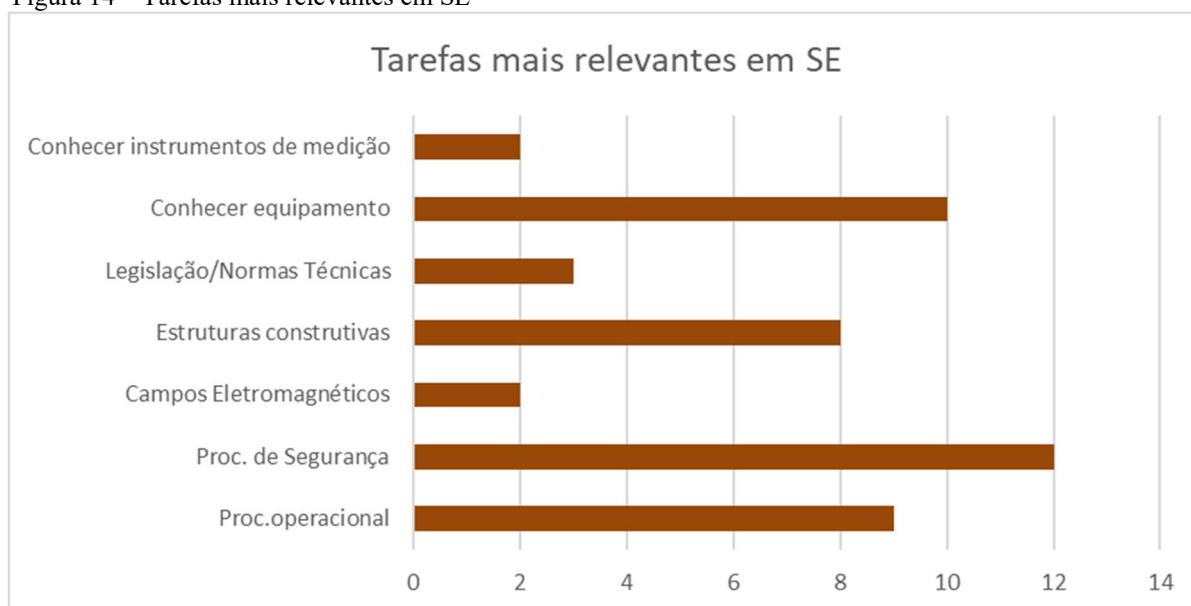
Fonte: autoria própria (2023)

Na primeira etapa de perguntas do questionário percebe-se que a definição do público-alvo para responder a entrevista apresenta bastante consistência, pois o tempo de experiência dos entrevistados é de 25,7 anos de vivência em subestações elétricas e sala de aula, e têm formação acadêmica em Eletrotécnica e/ou graduação em Engenharia Elétrica.

As tarefas que os entrevistados consideram mais relevantes para serem incluídas nos planos

de aula são apresentadas na Figura 14. Os três itens mais citados foram procedimentos de segurança, conhecimento dos equipamentos e procedimentos operacionais, podendo ser considerados os mais importantes para garantir a segurança das pessoas. Note que os Procedimentos de Segurança foram citados por todos os entrevistados.

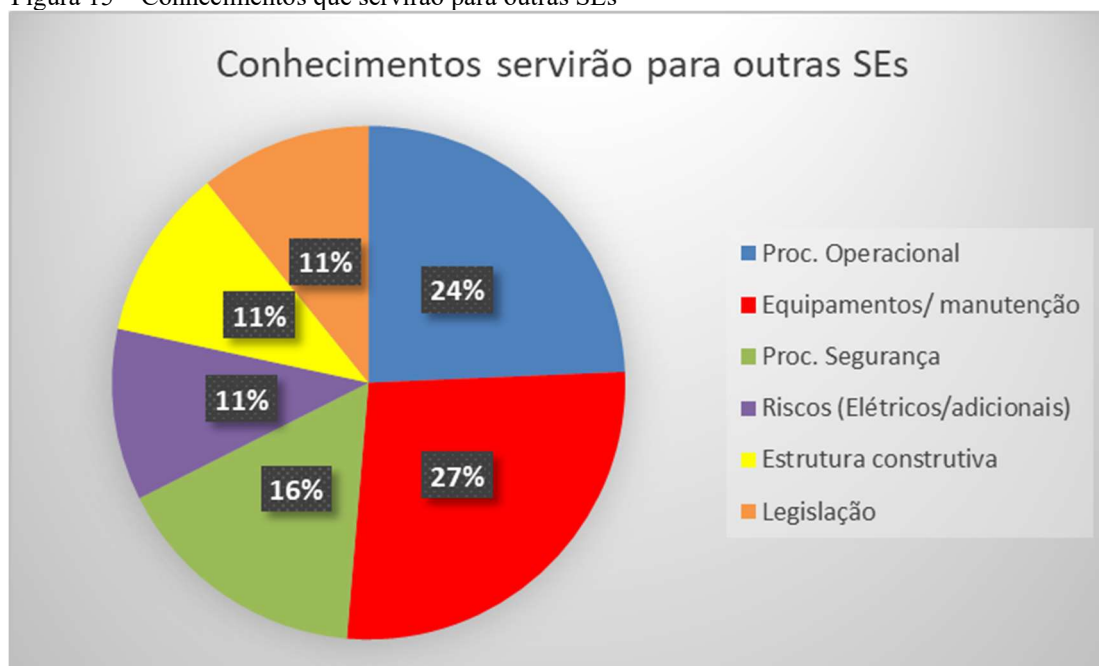
Figura 14 – Tarefas mais relevantes em SE



Fonte: autoria própria (2023)

Foi perguntado aos entrevistados sobre quais conhecimentos são relevantes nessa subestação didática e que podem ser úteis para outras instalações não-didáticas. As respostas são apresentadas na Figura 15. Os equipamentos, procedimentos operacionais e de segurança se apresentam com 67% de relevância quanto às necessidades gerais de conhecimento para atuação em outras subestações elétricas. As respostas apresentadas nessa figura mostram que o conhecimento proporcionado na instalação da subestação didática pode servir de modelo para as demais instalações existentes.

Figura 15 – Conhecimentos que servirão para outras SEs

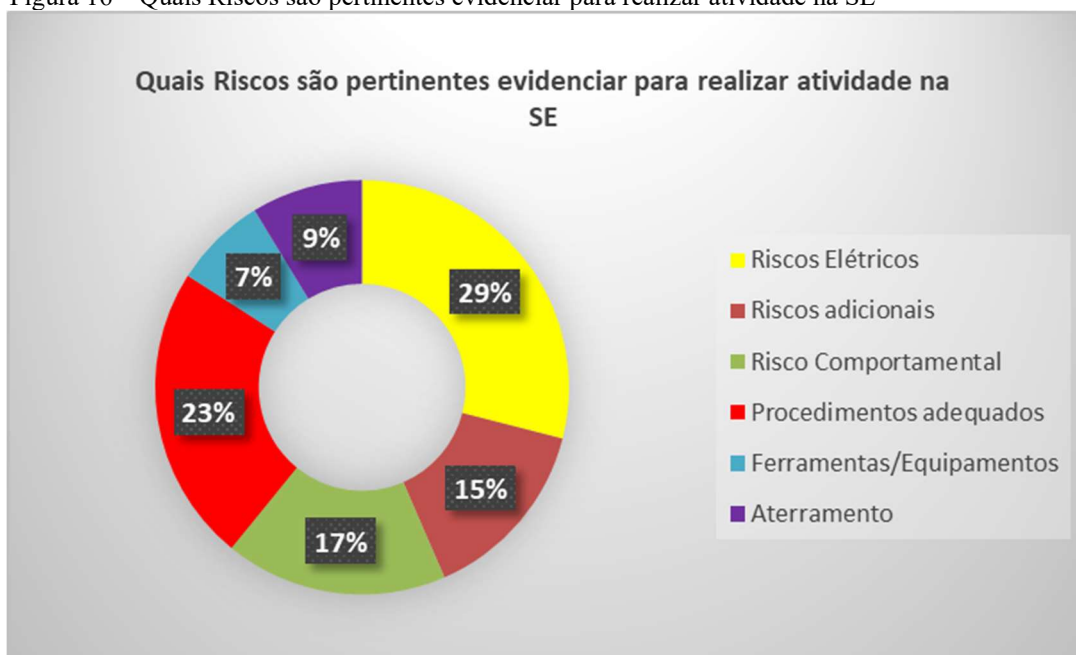


Fonte: autoria própria (2023)

Devido às características singulares do público-alvo, foi formulada a seguinte pergunta, conforme apresentado na Figura 16: 'Quais são os principais riscos relevantes ao realizar atividades na Subestação (SE)?' Os entrevistados enumeraram os riscos elétricos, com base em suas experiências profissionais, de forma espontânea.

A partir das sugestões coletadas e de um processo de categorização, as ideias foram agrupadas em diferentes categorias de riscos. Os resultados destacaram a eletricidade como o elemento primário de controle em relação à exposição, seguido pelos procedimentos de segurança. Termos como 'procedimentos de segurança', 'familiaridade com os equipamentos' e 'procedimentos operacionais', todos associados aos riscos elétricos e práticas operacionais adequadas, foram mencionados repetidamente durante as entrevistas.

Figura 16 – Quais Riscos são pertinentes evidenciar para realizar atividade na SE



Fonte: autoria própria (2023)

Em terceiro lugar, com 17%, ficaram os riscos comportamentais, que são os riscos associados à conduta dos indivíduos e foram discriminados no gráfico da figura 17. Esse gráfico reforça o alto grau de importância de estabelecer e seguir procedimentos rigorosos e evitar distrações para reduzir a exposição a riscos elétricos ou adicionais. Embora sejam importantes para o manuseio de qualquer subestação, são mais importantes para uma subestação educacional, onde estão presentes alunos com diferentes níveis de maturidade e conhecimento incompleto dos equipamentos, conforme também foi apontado na Figura 17. A liderança do professor foi considerada o elemento mais crucial, alinhando-se com os resultados apresentados por Tavakoli (2020) sobre a relevância do comportamento do líder, conforme discutido na seção 2.4.



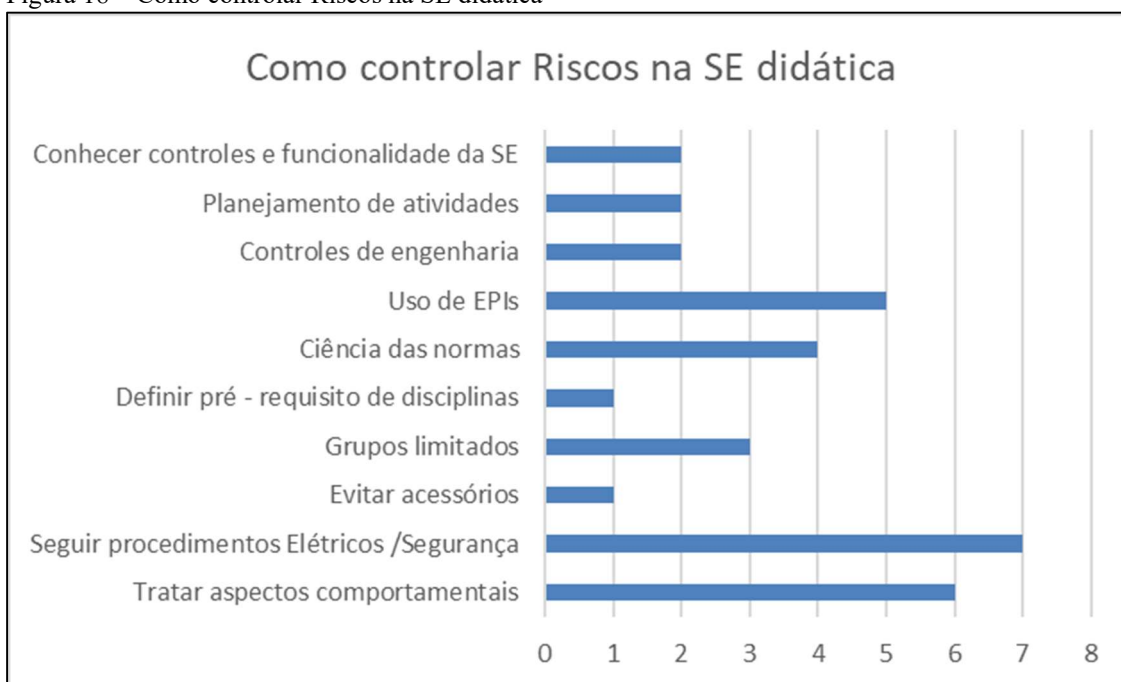
Figura 17 – Riscos comportamentais



Fonte: autoria própria (2023)

As respostas à pergunta “Como controlar riscos na subestação didática?”, tabuladas na Figura 18, evidenciam a importância de haver investimento nos tópicos relacionados a cumprimento dos procedimentos, questões comportamentais e uso de EPIs. Os itens relacionados ao conhecimento das funcionalidades da SE, planejamento de atividades e controles de engenharia apareceram de forma secundária, mostrando que os aspectos comportamentais devem ser priorizados na implementação dos controles. Essas respostas refletem o fato de que esses itens não são a preocupação principal dos professores, possivelmente por serem de responsabilidade de outro grupo de *stakeholders*, os instaladores.

Figura 18 – Como controlar Riscos na SE didática



Fonte: autoria própria (2023)

### 4.3 MERCADO

Como resultado da análise de documentos ficou evidenciado que as solicitações das empresas têm como objetivo treinamento corporativo para profissionais da área de eletricidade com atuação em subestações elétricas, em que as solicitações totalizaram necessidade de aperfeiçoamento de 43 profissionais, conforme Tabela 3. O objetivo do treinamento era a formação e capacitação de profissionais nas áreas de alta tensão e manutenção de subestação das referidas empresas, tanto para funcionários diretos como prestadores de serviço. O treinamento para a empresa Braskem, representada pelo COFIC – Comitê de Fomento Industrial de Camaçari, seria turma-piloto com perspectivas de ampliação de atendimento às demais empresas. Além do treinamento por demanda direta das empresas, existem demandas para os cursos técnicos e de engenharia, na forma das disciplinas ofertadas, envolvendo cerca de 150 alunos por ano, de acordo com os coordenadores desses cursos.

Tabela 3 – Planilha de treinamento

Empresa	Público - Alvo	Quantidade Treinandos	Carga horária	Conteúdo
Embasa S/A	Empregados e contratadas	20	40	Proteção de Transformadores
				Instalações até 230kV
Braskem Bahia/COFIC	Empregados e contratadas	12	40	Equipamento de SE
				Conceito de SE e GIS ( <i>Gas Insulated Substation</i> )
				Manutenção preditiva em SE
TRONOX Pigmentos do Brasil S/A	Empregados	11	40	Preparação para SEP
				Atividades de rotina na área de elétrica

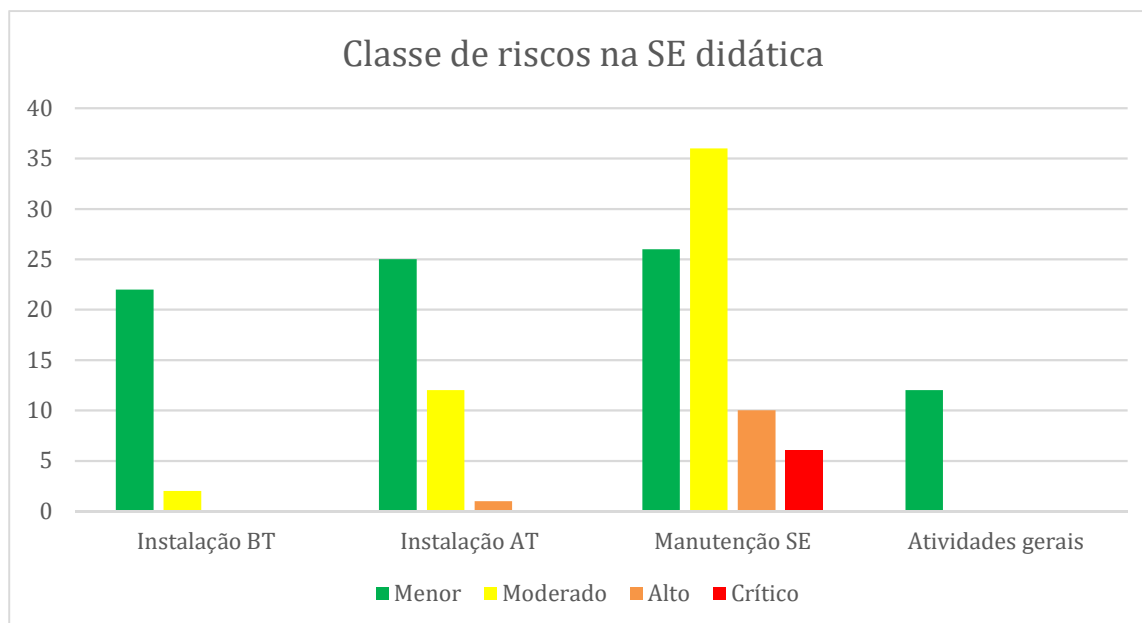
Fonte: Senai – Cimatec (2023)

#### 4.4 FMEA (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS)

A FMEA levou em consideração as instalações elétricas nas quais se encontra a subestação didática, incluindo desde o quadro geral de alimentação, os equipamentos da SE, até os quadros parciais de carga. Como discutido anteriormente, a FMEA foi dividida em 4 grupos para facilitar a análise: operação nas instalações de baixa tensão até 380V, operação nas instalações de alta tensão, atividades de manutenção e atividades gerais. A FMEA completa é apresentada no Apêndice D. Para cada um desses grupos foram mapeadas as atividades a serem executadas e os riscos associados. A Figura 16 mostra o número de atividades encontradas para cada RPN (Número de Prioridade de Risco – *Risk Priority Number*) em cada um dos grupos. As atividades de manutenção são as que apresentam maior número de atividades com risco alto e crítico devido à existência de manobras com maior risco de toque em partes energizadas. As atividades relacionadas às atividades de operação apresentam menor risco que as de manutenção, como esperado, porque não há menor interação entre os indivíduos com as instalações e quando essa interação ocorre é apenas em painéis que já são projetados para permitir a interação com o operador de forma segura. Como esperado, o grupo de atividades relacionadas às atividades nas instalações de alta tensão apresentam atividades com maior prioridade que nas de baixa tensão.

Figura 19 - Número de atividades em cada RPN para os quatro grupos da FMEA da subestação didática. Classificação de Risco: Crítico – Ação dever ser tomada, Mudanças abrangentes são necessárias, equipamento fora de operação; Alto – Ação dever ser tomada, validação, validação seletiva e avaliação

detalhada devem ser realizadas a curto prazo; Moderado: Ação deve ser tomada a médio prazo; Menor – Nenhuma ação será tomada (ou tomada a longo prazo com a ótica de melhoria contínua).



Fonte: autoria própria (2023)

A seguir, é apresentado, para cada grupo da FMEA, o detalhamento das atividades incluídas, as ações propostas e seus mecanismos de controle propostos.

#### 4.4.1 Operações nas Instalações até 380V

Há uma parte da subestação onde existem apenas equipamentos de baixa tensão, tais como painéis, quadros e equipamentos elétricos até 380V, e os riscos elétricos presentes assumem menor proporção devido aos controles de engenharia existentes. Nesse ambiente, as atividades a serem executadas são:

- Operação de ligar/desligar painel ou quadro;
- Operação de disjuntor com obstáculo de proteção (tampa do painel travada);
- Conexão de equipamentos à instalação através de tomadas;
- Execução de atividade com partes energizadas desprotegidas (incluindo medição de tensão);
- Remoção ou instalação de disjuntores ou fusíveis;
- Remoção do obstáculo de proteção fixado por parafusos ou encaixadas (partes energizadas acessíveis);
- Operação de ligar/desligar quadro elétrico;

A maior parte dos riscos identificados nessa FMEA foram classificados como baixos, com

apenas dois riscos considerados moderados. Foram recomendadas as seguintes ações para mitigar o risco de execução das atividades propostas nas instalações até 380V:

- Inspeccionar sistema de aterramento periodicamente, conforme padrão normativo técnico;
- Conferir TAG dos equipamentos e circuitos conforme solicitação de atividade;
- Inspeccionar os quadros periodicamente conforme padrão normativo técnico;
- Conferir a compatibilidade das grandezas elétricas antes de realizar atividades;
- Observar o funcionamento do circuito após energizado e conferir as grandezas elétricas conforme o recomendado pelo fabricante;
- Utilizar EPIs básicos recomendados conforme procedimentos;
- Conferir compatibilidade do instrumento com a instalação, utilizar apenas instrumentos com categoria acima de IV;
- Verificar proteções e obstáculos existentes na instalação;
- Verificar semelhança e/ou compatibilidade das grandezas dos dispositivos antes de substituir dispositivos, conferir dispositivos com definições de projeto;
- Conferir ferramentas recomendadas em procedimento;
- Verificar conexão do painel com a rede;
- Inspeccionar painel antes de energizar.

Foram desenvolvidos dois formulários para controle dos riscos identificados que devem ser preenchidos antes de execução de qualquer tarefa pelos usuários - Permissão de Atividade (PA) e Análise de Risco na Atividade (APR), apresentados nos Apêndices E e F. O formulário para Permissão da Atividade ajuda no planejamento da atividade, identificando o responsável, a (s) atividade (s) a ser (em) executada (s), equipe participante, EPI requerido, equipamentos necessários à execução da atividade e documentos de apoio necessários. O formulário de Análise de Risco deve ser preenchido pelo docente junto aos discentes antes de cada atividade prática, assegurando a realização de uma análise de risco, considerando cada passo da tarefa a ser executada, listando os riscos e recomendando procedimentos para mitigar cada risco.

Esses formulários explicitam recomendações de segurança e execução das atividades recomendadas, mitigando a exposição dos riscos apresentados e reduzindo o RPN das atividades executadas nas instalações até 380V para a menor categoria. São elas:

- Incluir sinalização para não tocar nas estruturas metálicas;
- Realizar inspeção periódica conforme NR10 item 10.3.6 subitem (g);

- Identificar o quadro de distribuição e dos circuitos conforme normativo técnico;
- Obter autorização de realização de atividade/Controlar acesso;
- Garantir que os equipamentos e ferramentas utilizados sejam padronizados como estabelecido no CAT IV (PA);
- Padronizar no procedimento que sejam conferidas as medições elétricas;
- Indicar pontos para realização de medição na APR;
- Verificar possibilidade de desenergização do quadro/ Instalar proteção isolante em partes energizadas;
- Conferir especificação dos dispositivos conforme projeto na documentação dos procedimentos;
- Incluir procedimentos operacionais na APR;
- Padronizar e especificar ferramentas e equipamentos utilizados na instalação;
- Inserir sinalização de tensão no transformador de entrada.

#### **4.4.2 Operações nas Instalações de Alta Tensão**

As instalações em alta tensão, conforme diagrama no apêndice G englobam apenas a chegada dos cabos de energia no para-raios até a entrada dos condutores no transformador de potência de 112,5 kVA, na SE 01 e nos transformadores A e B de 15 kVA, na SE 02. As operações relevantes para essas instalações são:

- Energização;
- Desenergização.

Essas operações são realizadas toda vez que há necessidade de intervenções numa subestação de energia; por isso, a escolha dessas para a realização da FMEA. Apesar de a maior parte dos riscos serem classificados como baixos, foram identificados alguns riscos moderados e altos que necessitam de mitigação.

As seguintes ações foram recomendadas:

- Conferir posicionamento do disjuntor no quadro de alimentação;
- Conferir energização com detector de tensão;
- Verificar procedimento de manobra da chave seccionadora;
- Realizar inspeção periódica;
- Verificar o status do disjuntor (mola carregada);
- Verificar indicador visual do disjuntor;

- Verificar procedimento de operação;
- Treinar antecipadamente;
- Postar sinalização de segurança;
- Inspeccionar o painel periodicamente;
- Conferir posicionamento do disjuntor no quadro de alimentação;
- Realizar inspeção periódica conforme recomendação normativa;
- Realizar treinamento/instrução para operação de chaves;
- Conferir procedimento de manobra da seccionadora do painel;

Como forma de controle de exposição a riscos de acidentes envolvendo alta tensão, as ações que devem ser realizadas são:

- Elaborar o procedimento de operação conforme NR10
  - Incluir atividade de verificação;
  - Testar antecipadamente o disjuntor;
  - Incluir informação sobre manuseio da chave seccionadora;
  - Treinar previamente os executantes e docentes;
  - Incluir treinamento no procedimento de manobra como pré-requisito.
- Elaborar plano de manutenção
- Inserir sinalização sonora para cada manobra nas chaves seccionadoras e disjuntores.

Nessa etapa da instalação, as atividades realizadas não expõem o executante ao risco de contato com partes energizadas diretamente, sendo os mais comuns os riscos provenientes de falhas operacionais ou de falhas de isolamento de equipamentos; por isso, as ações recomendadas residiram em treinamentos e inspeções. Nessa situação, os cumprimentos das Normas Técnicas e Regulamentadoras complementadas com procedimentos e inspeções mais rigorosas atendem aos níveis de segurança.

#### **4.4.3 Manutenção**

A terceira FMEA está relacionada com as atividades de manutenção, pois envolve a intervenção nos equipamentos da subestação, objetivando garantir o perfeito funcionamento do sistema. Assim, foram consideradas como funções requeridas as seguintes ações básicas de manutenção:

- Avaliar conexões;

- Substituir dispositivos;
- Inspeccionar chaves seccionadoras;
- Aplicar lubrificante na superfície do contato;
- Limpar os contatos;
- Substituir contatos danificados ou corroídos;
- Verificar os cabos de baixa tensão e de aterramento;
- Verificar o aperto dos parafusos;
- Medir resistência de contato;
- Medir a resistência ôhmica de isolamento;
- Medir a resistência ôhmica do enrolamento;
- Limpar e reapertar os contatos;
- Inspeccionar o estado geral de conservação;
- Verificar o aterramento;
- Verificar as vedações, conexões e nível do líquido isolante;
- Limpar buchas, carcaça;
- Reapertar conexões;
- Executar manobras de abertura e fechamento do disjuntor;
- Verificar existência de vazamentos de óleo;
- Verificar vedações, conexões, nível do ruído, nível do líquido isolante, temperatura;
- Verificar vibração do tanque e das aletas dos radiadores;
- Limpar buchas, radiadores, tanques;
- Apertar corretamente os parafusos das conexões;
- Relatar o número de espiras;
- Verificar as entradas e saídas de ar;
- Limpar o transformador;
- Verificar as junções elétricas;
- Verificar se as cargas das linhas estão de acordo com a corrente esperada para o barramento;

A classificação de riscos nessa etapa de atividades realizadas em manutenção de SE apresentadas pela FMEA mostrou que os riscos presentes estão, na maior parte, entre moderado e crítico, devido à possibilidade de acesso a partes energizadas em alta tensão, merecendo assim maior controle nas ações de segurança. As ações recomendadas foram:



- Postar sinalização de indicação de energizado;
- Instalar sensor de acesso com indicação sonora;
- Usar detector de tensão;
- Instalar aterramento temporário;
- Proporcionar e exigir treinamento prévio de riscos na SE;
- Preencher análise de risco de atividade e Permissão de atividade;
- Inserir definição de características técnicas (Categorias) para uso de ferramentas e equipamentos;
- Instruir quanto ao uso do produto;
- Executar inspeção rotineira/ Programação de manutenção preventiva;
- Proporcionar e exigir treinamento de operação de equipamentos;
- Seguir orientação do manual do fabricante;
- Instruir no uso e operação de instrumento de medidas;
- Instruir na realização de medição de contato.

Dessa forma, as seguintes medidas de controle de risco foram implementadas ou planejadas:

- Preencher formulários de análise de risco e permissão de realização de atividade;
- Elaborar procedimento de desenergização conforme NR10 e NR 12, redução da tensão da SE;
- Incluir nos procedimentos de atividades as recomendações e definições das ferramentas e equipamentos conforme NR10;
- Implementar controle de treinamento dos docentes na NR10 normativa;
- Elaborar plano de manutenção preventiva;
- Inserir manual do fabricante da chave seccionadora aos documentos do P.I.E, Prontuário de Instalações Elétricas;
- Postar sinalização para não tocar nas estruturas metálicas.

As ações tomadas para o controle dos possíveis riscos aos quais estão expostos os estudantes residem basicamente nos cumprimentos da NR 10, item 10.2. Medidas de Controle, no item 4, determinam que:

*Os estabelecimentos com carga instalada superior a 75kW devem constituir e manter o Prontuário de Instalações Elétricas, contendo, além do disposto no*

*subitem 10.2.3, no mínimo:*

- a) conjunto de procedimentos e instruções técnicas e administrativas de segurança e saúde, implantadas e relacionadas a esta NR e descrição das medidas de controle existentes;*
- b) documentação das inspeções e medições do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e aterramentos elétricos;*
- c) especificação dos equipamentos de proteção coletiva e individual e o ferramental, aplicáveis conforme determina esta NR;*
- d) documentação comprobatória da qualificação, habilitação, capacitação, autorização dos trabalhadores e dos treinamentos realizados;*
- e) resultados dos testes de isolamento elétrica realizados em equipamentos de proteção individual e coletiva;*
- f) certificações dos equipamentos e materiais elétricos em áreas classificadas;*
- g) relatório técnico das inspeções atualizadas com recomendações, cronogramas de adequações, contemplando as alíneas de “a” a “f”.*

Os cumprimentos desses itens garantem que intervenções realizadas nas instalações sejam documentadas e rastreadas para análises, quando necessárias, evidenciando apenas que o rigor nos procedimentos deva considerar a especificidade do público.

#### **4.4.4 Atividades Gerais**

A quarta FMEA feita tem o objetivo de avaliar os riscos para as atividades consideradas indiretas, onde as funções requeridas foram:

- Serviços Gerais (varrição, limpeza geral);
- Manutenção geral (Civil, predial, climatização, mecânica e outros);
- Ligar/desligar equipamentos/dispositivos e visitação.

Como a necessidade de acesso no ambiente da subestação didática não apresenta interação direta com equipamentos ou a instalação elétrica, apenas observação com determinado distanciamento, os riscos apresentados são de menor consequência.

As ações recomendadas nesse caso são:

- Instrução formal;
- Usar EPIs e obter Permissão de atividade;
- Obter autorização;
- Postar Sinalização;

- Executar Procedimento de desenergização;
- Inspeccionar sistema de aterramento periodicamente conforme padrão normativo técnico;
- Conferir TAG dos equipamentos e circuitos conforme solicitação de atividade;
- Assistir a *Briefing* de Segurança;
- Bloquear acesso às áreas de risco;
- Orientar quanto a evitar toque em estruturas metálicas.

As ações implementadas para os itens relacionado acima foram:

- Preparar orientação;
- Controlar acesso;
- Autorização prévia;
- Sinalizar;
- Desenergizar antes da realização das atividades;
- Não tocar nas estruturas metálicas;
- Identificar o quadro de distribuição e dos circuitos conforme normativo técnico;
- Travar o acesso.

A atuação dos itens listados reside em instruções e/ou orientações às pessoas que deverão acessar o ambiente, complementando com sinalização, bloqueio de acesso em determinados locais e autorização, ou mesmo desenergização da instalação, pois não é previsto nenhum tipo de contato com partes ou equipamentos energizados pelo público.

#### 4.5 AULA-TESTE

A primeira aula-teste realizada na subestação ocorreu após uma preparação prévia do ambiente, garantindo que a instalação estivesse adequada para receber os estudantes e assegurando que não houvesse energização. Essa aula prática consistiu na intervenção de manutenção em equipamentos como chaves seccionadoras, disjuntores, transformadores de potência, para-raios e transformadores de corrente e potencial (TC e TP). O desenvolvimento da aula exigiu a divisão da turma em grupos menores, com quatro a cinco estudantes em cada, devido ao espaço limitado e ao número total de 23 alunos na turma. A Figura 20 mostra uma foto dos alunos no ambiente durante a demonstração de operação da chave seccionadora na subestação 02.

Figura 20 – Operação de chave seccionadora 01 na subestação 02



Fonte: autoria própria (2023)

Durante a primeira aula-teste, a identificação de lacunas nas medidas de segurança revelou a necessidade de ajustes. Isso culminou na formulação de propostas adicionais, visando aprimorar e fortalecer os protocolos de segurança em subestações elétricas. Uma das situações específicas que demandaram atenção foi a observação de alunos se apoiando na grade e na parede da subestação (Figura 20). Essa prática, potencialmente perigosa, levou à inclusão de medidas específicas para desencorajar tais comportamentos e reforçar a conscientização sobre os riscos associados, contribuindo assim para um ambiente mais seguro e controlado, resultando nas seguintes propostas adicionais:

1. Implementar sinalização horizontal para complementar as informações de controle de acesso aos espaços específicos (demarcação no chão determinando limites), garantindo melhor visualização quanto à permissão de acesso;
2. Realizar uma sessão de *briefing* de segurança para todo o público que deverá acessar a SE, com objetivo de informar as características do ambiente e os riscos existentes e comportamentos adequados;
3. Assegurar um ambiente alternativo para a permanência dos estudantes para a apresentação dos procedimentos de segurança, a análise dos diagramas e procedimentos de atividades, preenchimento dos formulários, devido ao espaço limitado para a realização das atividades na subestação;
4. Assegurar tempo para o professor preparar o ambiente para a aula, verificando as condições dos equipamentos, os bloqueios de acesso, e adaptar a subestação à proposta de aula antes da sua realização;
5. Bloquear acesso não permitido de indivíduos através de cadeado nas baias de

equipamentos;

6. Fornecer local para armazenagem adequados com tranca para ferramentas e EPIs;
7. Alocar monitor durante a realização das aulas;
8. Complementar a sinalização visual com instalação de sinalização sonora e luminosa para controle de acesso, com objetivo de alertar quando ultrapassados os limites permitidos de acesso.

A segunda aula-teste foi realizada após a implementação das sugestões, com exceção do item 8. Não foi possível implementar a sinalização sonora e luminosa nos locais onde as tarefas seriam realizadas dentro do prazo previsto. O novo grupo destacou a importância desse aspecto durante a execução da aula. A sinalização visual e sonora é crucial para identificar áreas potencialmente energizadas, mesmo que não se tenha acesso direto a elas. Com relação aos demais itens, observou-se que:

- A Sinalização horizontal e vertical, conforme figura 21, apresentou efetividade na limitação de acesso aos ambientes e definiu, com clareza, a limitação de pessoas nos espaços estabelecidos como seguros; a preparação prévia da subestação pelo professor, incluindo testes e inspeções nos equipamentos a serem utilizados, resultou em maior fluidez durante a aula. Não houve perda de tempo com ajustes ou ensaios antes da realização das tarefas pelos grupos de alunos.

Figura 21 – Sinalização vertical e horizontal de equipamentos e controle de acesso



Fonte: autoria própria (2023)

- A aplicação de bloqueios utilizados nos ambientes, conforme visto na figura 22, mostrou-se efetiva em impedir acesso dos discentes a esses ambientes.

Figura 22 – Bloqueio de acesso



Fonte: autoria própria (2023)

- Nessa aula, não se fez necessária a disponibilização de guarda-volumes, uma vez que o grupo foi previamente informado de que não seria exigido o uso de materiais além dos EPIs básicos. Isso não implica sua dispensabilidade, visto que o comportamento e a experiência do grupo observado são condizentes com um ambiente de maior escala.
- No entanto, nesse grupo, o monitor não contribuiu com orientações sobre a execução de tarefas relacionadas à segurança, como a elaboração de APR, compreensão dos diagramas elétricos e supervisão do controle de acesso. Contudo, isso não afetou o andamento da aula, uma vez que o grupo era menor. Isso demonstra que a restrição de pessoas pode ser benéfica para a segurança.

Em geral, a segunda aula-teste ocorreu de forma mais fluida, confirmando a recomendação do uso de sinalização sonora e luminosa e validando os demais ajustes implementados. As figuras 23 e 24 mostram fotos dos discentes realizando operação da chave seccionadora 02 e inspeção do disjuntor, Inspeção em TC do disjuntor e Inspeção de TC e TP respectivamente na subestação 01.

Notou-se que apesar dos estudantes da aula-teste 2 serem mais experientes, eles nem sempre seguem de forma rigorosa as normas de segurança durante essas operações. É crucial que os docentes reforcem as orientações que regulamentam o uso de adornos, e garantam o cumprimento das normas de modo que não haja interferência com equipamentos e minimizando os riscos associados.

A figura 24 mostra uma postura inadequada, onde o equipamento é tocado sem o uso de EPI. Apesar de os equipamentos estarem desenergizados durante a aula, é importante que a necessidade do uso de EPI durante a realização das manobras seja enfatizada, para evitar comportamentos que possam comprometer a integridade física do operador ou interferir nas estruturas metálicas adjacentes.

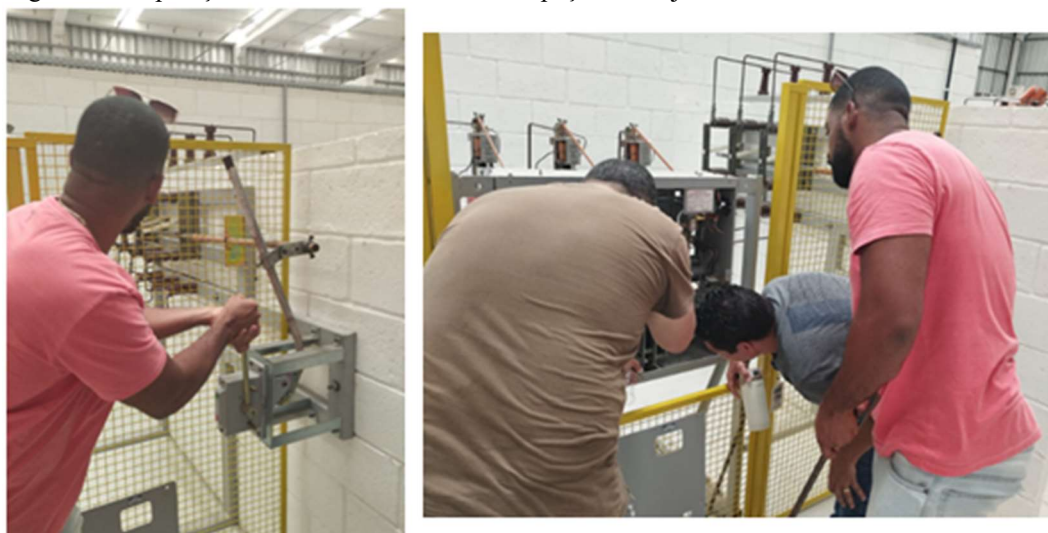
É imperativo destacar que comportamentos inconvenientes durante as operações, como posturas inadequadas, são inaceitáveis e representam riscos significativos. Tais práticas não podem ser toleradas em uma subestação e podem comprometer não apenas a segurança do operador, mas também a integridade do ambiente de trabalho, o que deve ser sempre observado pelo professor antes e durante a realização de tarefas.

Além disso, a realização de *briefing* de segurança, a leitura do procedimento operacional a ser realizado, o preenchimento de formulários de análise de riscos e a permissão de atividades antes de cada operação são fundamentais. Esses procedimentos garantem que todos os envolvidos



estejam cientes dos riscos específicos associados à tarefa em questão e estejam alinhados com as melhores práticas do setor elétrico. Destaca-se que o compromisso com um processo de melhoria contínua é essencial para fortalecer ainda mais a cultura de segurança, assegurando um ambiente de aprendizagem protegido e em conformidade com os mais altos padrões do setor.

Figura 23 – Operação de chave seccionadora e inspeção de disjuntor



Fonte: autoria própria (2023)

Figura 24 – Inspeção de TC disjuntor e Medição



Fonte: autoria própria (2023)

#### 4.6 APLICAÇÕES FUTURAS

Considerando a estrutura física da subestação didática, há suporte para a realização de diversas tarefas de manutenção, incluindo a parametrização de proteção, ensaios e testes de rotina. Este trabalho concentra-se principalmente em identificar e desenvolver os procedimentos necessários para assegurar a segurança durante as atividades de operação e manobras, que precedem a maioria das intervenções em uma subestação.



Procedimentos em ambiente energizado precisarão ser validados no futuro. Outras atividades didáticas que podem ser desenvolvidas e validadas no futuro incluem:

1. Inspeção dos equipamentos.
2. Testes e ensaios para detectar falhas antecipadamente e verificar se estão operando em condições ideais.
3. Procedimentos de limpeza e lubrificação dos equipamentos e seus componentes.

Para uma manutenção, é possível realizar uma inspeção detalhada dos principais componentes da subestação, como os transformadores de tensão e corrente. Isso envolve verificar vazamentos de óleo isolante, avaliar as condições e o desempenho das buchas, assim como o sistema de resfriamento.

Os disjuntores, que são equipamentos que exigem atenção especial, há possibilidade em incluir e verificar o nível de corrosão, o estado das porcelanas e a avaliação do sistema de acionamento e das caixas de interligações.

No caso dos capacitores, medir a capacitância e a corrente de desbalanço, além de realizar verificações básicas, como identificação de vazamentos, deformações e desgastes dos componentes.

A possibilidade de uso da subestação didática não se restringe à ilustração dos conceitos básicos, mas proporciona um aprofundamento nos conhecimentos teóricos e práticos. Ela permite abordar as características fundamentais dos equipamentos e subestações, e oferece informações atualizadas sobre proteção, operação e manutenção de transformadores e instalações.

## 5 CONCLUSÃO

Com mais de 6 milhões de unidades consumidoras no Estado da Bahia com carga acima de 75kW, a demanda por profissionais qualificados para tarefas em subestações está em constante crescimento. O treinamento eficaz é crucial para garantir a segurança nesse ambiente complexo. A literatura científica tem abordado o uso de simuladores para treinar operadores de subestação, e há pesquisas explorando tecnologias como realidade virtual e aumentada para atividades de manutenção, proporcionando prática virtual para prevenir danos em situações reais. Contudo, ainda há a necessidade de intervenção presencial para algumas operações, o que justifica a existência de uma subestação para fins didáticos.

Esta dissertação teve por objetivo o desenvolvimento de procedimentos de segurança e mitigação de riscos elétricos e adicionais para a operação segura de duas subestações didáticas instaladas no Cimatec Park, Bahia. Essas subestações foram concebidas em conformidade com as rigorosas normas técnicas do setor. Para garantir a segurança e mitigar os riscos na operação das subestações didáticas, foram realizadas etapas fundamentais. Inicialmente, uma abordagem abrangente envolveu a identificação dos *stakeholders* e a coleta de dados com os mesmos. As subestações foram adaptadas para propósitos educacionais, com ajustes na tensão de alimentação e nos equipamentos, tendo os instaladores, usuários e clientes desempenhado papéis cruciais nesse processo. A coleta de informações foi conduzida por meio de entrevistas e análise documental, proporcionando uma visão completa das operações. Essa etapa da pesquisa permitiu o levantamento das atividades a serem realizadas e riscos preliminares.

As informações coletadas serviram de base para a realização de uma análise minuciosa de riscos, utilizando a técnica FMEA para identificar possíveis falhas e propor ações corretivas eficazes.

Com base nos resultados da análise de risco (FMEA), uma série de medidas de segurança foram implementadas. Isso incluiu a indicação de sinalização sonora e visual, o estabelecimento de protocolos de controle de acesso e a criação de formulários de análise de risco a serem preenchidos pelos usuários antes de cada aula. Além disso, foram desenvolvidos *briefings* de segurança e procedimentos operacionais específicos para cada tarefa, visando garantir a execução segura das operações na subestação didática. Essas ações representam um conjunto abrangente de estratégias adotadas para promover um ambiente de aprendizado seguro e eficaz.

Para validar essas medidas de segurança, foram realizadas duas aulas-teste com a subestação desenergizada. Durante o processo, identificou-se a necessidade de ajustes que foram

implementados entre a primeira e a segunda aula-teste. Essas aulas foram importantes para a identificação de comportamentos e infraestrutura necessária para garantir a segurança dos estudantes e docentes durante o uso da subestação:

- Sinalização adequada
- Controle de acesso
- Controle do número de alunos e espaço para realização de atividades de planejamento das atividades
- Necessidade de monitor para turmas maiores que 5-6 alunos
- Importância de briefing de segurança, realização da análise de risco e documentação para permissão de realização da atividade
- Importância da atitude do docente e necessidade de enfatizar e fiscalizar o uso de EPI e eliminação de adornos e acessórios no ambiente
- Importância de avisar aos alunos para não trazerem material de aula para o ambiente
- Importância de reservar tempo para que o professor prepare o ambiente antes da aula, verificando os equipamentos e bloqueios de acesso, e adaptando a subestação à disciplina

Propõe-se a elaboração de um manual abrangente de utilização da subestação, servindo como fonte central de informações sobre equipamentos, procedimentos e medidas de segurança, tanto para professores quanto para estudantes durante as atividades práticas.

Sob a perspectiva científica, este estudo enfatiza a importância da segurança em subestações didáticas, ultrapassando as preconizadas pelas normas convencionais. Os resultados das entrevistas realizadas com especialistas na área foram apresentados no VIII SIINTEC e reforçam a influência significativa do exemplo do professor, alinhando-se à literatura que destaca a liderança na redução de riscos em ambientes educacionais. Os achados não apenas validam, mas também ampliam a compreensão de que o professor tem um papel crucial na adesão aos protocolos de segurança.

Considerando as transformações velozes na educação e o avanço tecnológico, as futuras pesquisas estão voltadas para a aplicação de realidade aumentada e virtual na simulação de aulas. Essa nova tecnologia não substitui a subestação didática, mas pode ser utilizada de forma complementar. Isso poderia tornar o aprendizado mais envolvente, e preparar o aluno para interagir com a subestação de forma mais segura, minimizando riscos desnecessários.

A expansão das práticas em subestações elétricas reais busca uma integração mais eficaz entre a teoria lecionada em sala de aula e sua aplicação prática. Essa abordagem, alinhada aos

princípios científicos, contribuirá para formar profissionais mais conscientes das complexidades operacionais e de segurança em ambientes elétricos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR14039**: Instalações Elétricas em Média tensão. 5 ed. São Paulo: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5410**: Instalações Elétricas em Baixa tensão. 5 ed. São Paulo: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5462**: Confiabilidade e Manutenibilidade. 5 ed. São Paulo: ABNT, 1994.

BOWEN, James E.; WEBER, Nicholas. Future trends in electrical substations from the end-users perspective - Near future safety features. **Record Of Conference Papers Industry Applications Society 58Th Annual IEEE Petroleum And Chemical Industry Conference (Pcic)**, Toronto, On, Canada, p. 1-11, set. 2011. IEEE. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/pcicon.2011.6085876>. Acesso em: 24 nov. 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR 10**: Segurança em Instalações e Serviços com Eletricidade. 2 ed. Brasília: DF, 2004. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acao-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-10-nr-10>. Acesso em: 24 nov. 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR 12**: Segurança em Máquinas e Equipamentos. 2 ed. Brasília: DF, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acao-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-12-nr-12>. Acesso em: 24 nov. 2022

BÜHLER, Jochen; BALZER, Gerd. Fuzzy Risk Assessment of MV/LV Substations for Maintenance and Renewal Purposes. **Modern Electric Power Systems**, Wroclaw, Poland, p. 13-17, 22 set. 2010.

CAI, Wei; LE, Jian; JIN, Chao; LIU, Kaipei. Real-Time Image-Identification-Based Anti-Manmade Misoperation System for Substations. **IEEE Transactions On Power Delivery**, v. 27, n. 4, p. 1748-1754, out. 2012. **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2012.2190428>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6301808>. Acesso em: 10 abr. 2023.

CARDELLA, Benedito, **Segurança no Trabalho e Prevenção de Acidentes**. São Paulo: Atlas, 2016.

COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO ESTADO DA BAHIA. **DIS-NOR-036**: Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão de Distribuição à Edificação Individual. 2 ed. Salvador: Coelba, 2022. Disponível em: <https://servicos.neoenergiacoelba.com.br/residencial-rural/Pages/Informa%C3%A7%C3%B5es/normas-e-padres.aspx>. Acesso em: 4 out. 2022.

CORDEIRO, Carlucio; PALUDO, Juliana; TANAKA, Eduardo; DOMINGUES, Leonardo; GADBEM, Edgar; EUFLAUSINO, Adriana. Development of Immersive Virtual Reality Environment to Train Electricians to Work on Substations. **2015 XVII Symposium On Virtual**

**And Augmented Reality**, Campinas, p. 142-146, maio 2015. Mensal. IEEE.  
<http://dx.doi.org/10.1109/svr.2015.28>.

DIAS, Acires *et al.* **Metodologia para análise de risco: mitigação de perda de SF6 em disjuntores**. Florianópolis: [S/n], 2013.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS - EPE, 2020, Brasília. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica: 2021 Statistical Yearbook of electricity 2020 baseline year**. Brasília: Ministério das Minas e Energia, 2020.

FOTUHI-FIRUZABAD, Mahmud; AMINIFAR, Farrokh; RAHMATI, Iman. Reliability Study of HV Substations Equipped With the Fault Current Limiter. **IEEE Transactions On Power Delivery**, v. 27, n. 2, p. 610-617, abr. 2012. Mensal. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tpwr.2011.2179122>.

FRANK, P. Using simulations to provide safety and operations training in the electric power industry. **IEEE Power Engineering Society. 1999 Winter Meeting (Cat. No.99Ch36233)**, New York, Ny, USA, v. 2, p. 986-988, 1999. IEEE.  
<http://dx.doi.org/10.1109/pesw.1999.747333>.

FRONTIN, Sergio de Oliveira (org.). **Equipamentos de alta tensão: prospecção e hierarquização de inovações tecnológicas**. Brasília, DF: Goya, 2013.

GUIMARÃES, Frederico Gadelha. Automated Monitoring of Construction Sites of Electric Power Substations Using Deep Learning. **IEEE Access**, v. 9, p. 19195-19207, 2021. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2021.3054468>.

HAMDAN, M Faizal; WMN, W Umikalthum; MONZAID, Azam Syah; HAKIM, W Sadik. Adopting Electrical Remote Operation and Intelligent-based System at Offshore Installation. **2022 International Conference On Future Trends In Smart Communities (Icftsc)**, Kuching, Sarawak, Malaysia, p. 1-5, 1 dez. 2022. IEEE.  
<http://dx.doi.org/10.1109/icftsc57269.2022.10039931>.

HEINISCH, Astrid; LEITE, Leonardo; SPYER, Bárbara; RABELLO, Marcos. Segurança Cibernética para Processos Operativos em Sistemas de Energia Elétrica. **CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 6.**, Fortaleza, p. 1-9, 19 ago. 2011. Semestral.

IVANOVA, Milena; DIMITROVA, Rositsa; FILIPOV, Anton. Analysis of power outages and human errors in the operation of equipment in power grids. *In: 2020 12th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF)*. IEEE, 2020. p. 1-5. DOI: 10.1109/BulEF51036.2020.9326058. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6301808>. Acesso em: 17 abr. 2023.

KARDEC, Alan., NASCIF, Júlio. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

KRASTEV, Georgi; GEORGIEV, Tsvetozar. Human Errors Simulator in Substations of Power Supply Systems. **2020 7Th International Conference On Energy Efficiency And Agricultural Engineering (Ee&Ae)**, Ruse, Bulgária, p. 1-3, 12 nov. 2020. IEEE.  
<http://dx.doi.org/10.1109/eeae49144.2020.9279015>.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

LI, Tianran; HUANG, Sheng; DING, Yuxin; CAI, Mingxuan. Development of a Virtual Simulation Experiment Platform for Intelligent Substation to Promote the Integration between Industry and Education. **International Conference Ointelligent Education And Intelligent Research**: IEEE, China, p. 272-275, dez. 2022. Semestral.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**: de acordo com a norma brasileira NBR 5419:2015. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MODARRES, Mohammad; KAMINSKIY, Mark; KRIVTSOV, Vasily. **Reliability Engineering and Risk Analysis**: A Practical Guide. CRC Press, 2009.

MONTEIRO, Paulo Roberto Duailibe; MIRANDA, Jullia Mercedes. Arranjo de subestação: um estudo de revisão bibliográfica. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e287101421805-e287101421805, 2021.

OLIVEIRA, Bruno Alberto Soares; FARIA NETO, Abilio Pereira de; FERNANDINO, Roberto Marcio Arruda; CARVALHO, Rogerio Fernandes; FERNANDES, Amanda Lopes; PANARO, Paolo; AMATUCCI, Silvia. Analysis of work accidents with electrical origin. **2017 IEEE International Conference On Environment And Electrical Engineering And 2017 IEEE Industrial And Commercial Power Systems Europe (Eeeic / I&Cps Europe)**, Milan, Italy, p. 1-4, jun. 2017. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/eeeic.2017.7977879>.

PASCULESCU, Dragos; FITA, Daniel N.; POPESCU, Florin G.; GRIGORIE, Emilia; LAZAR, Teodora; PUPAZA, Cristina. Risks Assessment in Terms of Electrical Safety for Power Substation from National Power Grid. **Research Developments In Science And Technology**, v. 4, p. 1-28, 17 maio 2022. Book Publisher International (a part of SCIENCEDOMAIN International). <http://dx.doi.org/10.9734/bpi/rdst/v4/15954d>.

PENG, Yong; DING, Leiqing; XU, Zhenhuan; JIANG, Yuliang; CHEN, Jing. Design and realization of augmented reality based operation training system for operation and maintenance personnel of intelligent transformer substation. **2017 IEEE 2Nd Information Technology, Networking, Electronic And Automation Control Conference (It nec)**, Shanghai, p. 1076-1079, dez. 2017. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/itnec.2017.8285087>

PETRESCU, Lucian; PETRESCU, Maria-Catalina; CAZACU, Emil; IONITA, Valentin. Risk Priority Number vs Action Priority in Electrical Systems. **2021 12Th International Symposium On Advanced Topics In Electrical Engineering (Atee)**, Bucharest, Romania, p. 1-6, 25 mar. 2021. Semestral. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/atee52255.2021.9425178>.

QUEIROZ, Alan Rómulo Silva; SENGER, Eduardo Cesar. A natureza e os riscos do arco elétrico. **O Setor Elétrico-Atitude Editorial, São Paulo**, 2012. p. 46-51. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/fasciculos.html#catid72>. Acesso em: 24 jun. 2023.

SAKURADA, Eduardo Yuji. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológicos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

TAVAKOLI, Mehdi; NAFAR, Mehdi. Human reliability analysis in maintenance team of power transmission system protection. **Protection And Control Of Modern Power Systems**, v. 5, n. 1, p. 1-13, 25 nov. 2020. Semestral. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s41601-020-00176-6>.

TAVARES, José da Cunha. **Noções de prevenção e controle de perdas em segurança do trabalho**. São Paulo: Senac, 2016.

TAYLOR, Carol; KRINGS, Axel; ALVES-FOSS, Jim. Risk Analysis and Probabilistic Survivability Assessment (RAPSA): an assessment approach for power substation hardening. In: NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY, U.S. DEPT. OF COMMERCE, 1., 2002, Moscow. **Computer Science Department**: Washington DC: University Of Idaho, Moscow, v. 1, p. 1-9, 2002. Disponível em: [https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as\\_sdt=0%2C5&q=Risk+Analysis+and+Probabilistic+Survivability+Assessment+%28RAPSA%29%3A+An+Assessment+Approach+for+Power+Substation+Hardening1&btnG=](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Risk+Analysis+and+Probabilistic+Survivability+Assessment+%28RAPSA%29%3A+An+Assessment+Approach+for+Power+Substation+Hardening1&btnG=). Acesso em: 1 jul. 2023.

TORRES FILHO, Flávio. **Desenvolvimento de um módulo supervisor para um ambiente de treinamento de operadores**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Curso de Engenharia Elétrica, Engenharia da Computação, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

WALEED, Aashir; VIRK, Umar Siddique; RIAZ, Muhammad Tanveer; MEHMOOD, Shaikh Bilal; AHMAD, Saeed; JAVED, Muhammad Rameez; RAZA, Ali. Effectiveness and Comparison of Digital Substations Over Conventional Substations. **Advances In Science, Technology And Engineering Systems Journal**, v. 4, n. 4, p. 431-439, 2019. Mensal. ASTES Journal. <http://dx.doi.org/10.25046/aj040452>.

ZHAO, Baining; LAN, Haijuan; NIU, Zhewen; ZHU, Huiling; QIAN, Tong; TANG, Wenhui. Detection and Location of Safety Protective Wear in Power Substation Operation Using Wear-Enhanced YOLOv3 Algorithm. **IEEE Access**, v. 9, p. 125540-125549, 2021. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2021.3104731>.

ZURAKOWSKI, Zdzisław. Safety and Security Issues in Electric Power Industry. **Computer Safety, Reliability And Security**, p. 151-164, jun. 2001. Semestral. Springer Berlin Heidelberg. [http://dx.doi.org/10.1007/3-540-40891-6\\_14](http://dx.doi.org/10.1007/3-540-40891-6_14).



**APÊNDICE A – TABELA A1 - ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DOS EQUIPAMENTOS DA SE 01**

<b>Quantidade</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Especificação técnica</b>
3 pç	Chaves seccionadoras (12)	Tripolar abrigada (uso interno) classe 15kV - 400 A, manobra com carga, com punho de acionamento com bloqueio mecânico (1,5 metro de comprimento) para uso de cadeado, sendo a primeira instalada;
3 pç	Para-raios (03)	Tensão nominal de 12kV, tensão de operação contínua $U_c$ de 10,2kV rms com máxima tensão residual para impulso de corrente íngreme de 43,9kV pico e máxima tensão residual para corrente de impulso de manobra 500A de 32,0kV pico, corrente nominal de descarga de 10 kA, máximas tensões residuais 10kA de 39,6kV pico, sendo de óxido de zinco, com corpo polimérico com suporte fixação em parede;
1 pç	Disjuntor (17)	Areva, manual e automático com pequeno volume de óleo – PVO de 630A, 15kV, equipado com Relés de Sobrecorrente de 150A e bobina de abertura de 220V;
3 pç	Transformadores de corrente – TC (09)	Medição de energia do tipo barra para uso interno de classe de tensão 15kV, tensão nominal de serviço 13,8kV e relação nominal de transformação 50:5A;
3 pç	Transformadores de potencial (10)	Medição de energia para uso interno com tensão nominal primária 13,8kV (máx. 15kV); tensão nominal secundária 220/380V, com primário em delta e secundário em estrela com impedância de 5,35%;
01 pç	Transformador de potência (32)	Transformador de potência trifásico, refrigerado à óleo, 112,5kVA, 13,8/0,38 – 0,22kV;
80 m	Condutores (05)	Cabo EPR/ XLPR 25mm <sup>2</sup> e classe 15kV e cabo de aterramento em cobre nu de 25mm <sup>2</sup> classe 15kV no primário, e cabo EPR 0,6/1kV de 25mm <sup>2</sup> , 15kV cabo de cobre no secundário as demais interligações feitas com vergalhão de cobre de 3/8”.

Fonte: Cimatec, 2022

**APÊNDICE B – TABELA B1 - ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DOS EQUIPAMENTOS DA SE 02**

<b>Quantidade</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Especificação técnica</b>
3 pç	Chaves seccionadoras (12)	Tripolar abrigada (uso interno) classe 15kV - 400A, manobra com carga, com punho de acionamento com bloqueio mecânico (1,5 metro de comprimento) para uso de cadeado, sendo a primeira instalada a montante do centro de medição da concessionária, o segundo também a montante do disjuntor pequeno volume de óleo – PVO, e na sequência a terceira seccionadora se encontra a montante do transformador de potência trifásico 112,5kVA, 13,8/0,38 – 0,22kV;
3 pç	Para-raios (03)	Tensão nominal de 12kV, tensão de operação contínua $U_c$ de 10,2kV rms com máxima tensão residual para impulso de corrente íngreme de 43,9kV pico e máxima tensão residual para corrente de impulso de manobra 500A de 32,0kV pico, corrente nominal de descarga de 10kA, máximas tensões residuais 10kA de 39,6kV pico, sendo de óxido de zinco, com corpo polimérico com suporte fixação em parede, instalados a jusante a seccionadora 01;
3 pç	Transformadores de corrente – TC (09)	Medição de energia do tipo barra para uso interno de classe de tensão 15kV, tensão nominal de serviço 13,8kV e relação nominal de transformação 50:5A;
3 pç	Transformador de potencial – TP (10)	Medição de energia para uso interno com tensão nominal primária 13,8kV (máx. 15kV); tensão nominal secundária 220/380V, com primário em delta e secundário em estrela com impedância de 5,35%;
01 pç	Cabine de média tensão (33)	Painel de média tensão isolado a ar com blindagem e compartimentação metálica com tensão nominal de 15kV, tensão suportável nominal a frequência industrial de 35kV, Tensão Suportável nominal de impulso atmosférico de 95kV, corrente nominal de interrupção de curto-circuito e corrente suportável nominal de curta duração, 3s com 40kA máx., corrente nominal

		de fechamento em curto-circuito, corrente suportável nominal de pico com 100kA máx., corrente nominal das barras, corrente nominal dos alimentadores com 3600A máx., classificação e acessibilidade dos compartimentos em acordo com a IEC 62271-200;
02 pç	Transformador de potência (31)	Trifásico a seco de 30kVA, 15kV tensão primária e secundária de 0,22/0,38kV, grupo de ligação Dny1, NBI (AT): 95.0kV, nível de Isolação de 15 – 0,6Kv;
50 m	Leito para condutores	Cabo EPR/ XLPR 25mm <sup>2</sup> e classe 15kV no primário, e cabo EPR 0,6/1kV de 25mm <sup>2</sup> , 15kV cabo de cobre no secundário conforme anexo VIII.

Fonte: Cimatec, 2022

**APÊNDICE C – GUIA DE QUESTÕES PARA ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA PARA DOCENTES  
EM SUBESTAÇÕES**

**Guia de questões para entrevista semiestruturada para docentes em subestações**

**Levantamento de atividades e práticas será realizado através de entrevista semiestruturada**

**Questões a serem abordadas:**

01 – Qual o Nome? Qual a sua Idade? Sexo?

02 - Qual a sua formação?

03 – Qual a sua vivência e experiências com subestações elétricas?

04 – Quanto tempo você tem de experiência neste tipo de instalação elétrica?

05 – Comente um pouco sobre sua relação com subestações elétricas e aulas.

06 – Qual a modalidade de cursos que você ministra nas aulas?

07 - Quais as tarefas mais relevantes que devem ser realizadas pelos estudantes numa SE de forma a contribuir com conhecimento para sua construção profissional?

08 – Quais conhecimentos serão possíveis ao estudante após realizar tarefa na SE, aplicar em outras instalações semelhantes?

09 – Quais os pré-requisitos de segurança necessários para que os estudantes desenvolvam atividades na SE?

10 - Quais riscos (elétrico e adicional) são pertinentes evidenciar para possível realização de atividades na SE?

11 - Quais riscos comportamentais devem ser evidenciados?

## APÊNDICE D – TABELA D1 - FMEA 01 - INSTALAÇÕES ATÉ 380V

Continuação...

SENAI CIMATEC PARK																
Projeto: Cliente(s)/Parceiro(s): Gerente do Projeto: Líder Técnico do Proj	Subestação didática Cimatic Park			Processo			Equipe executora:									
	Tipo de FMEA:			Informacional												
	Fase de Aplicação:															
	Data da primeira versão:															
Data desta revisão:																
Componente / Subistema / Sistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Observabilidade	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	Detectabilidade	Risco (RPN)	Ações recomendadas	Ações Tomadas	Severidade Ajustada	Probabilidade Ajustada	Detectabilidade Ajustada	Risco (RPN) Ajustado com ponderação
	Remoção ou instalação de disjuntores ou fusíveis	Soltura do dispositivo	Choque	4	Falta de atenção ao realizar atividade	3	Controle visual do executante	Visualmente	1	12	Verificar proteções e obstáculos existente na instalação/ Verificar semelhança das grandezas dos dispositivos antes de substituir/ Utilizar EPI's recomendados.	Verificar possibilidade de desenergização do quadro/ Instalar proteção isolante em partes energizadas	2	1	1	2
		Instalar fusível ou disjuntor com corrente nominal inferior ao especificado	Desarme ou queima do dispositivo	2	Dados a equipamento e/ou instalação	3	Conferir com projeto	Visualmente	1	6	Verificar semelhança e/ou compatibilidade das grandezas dos dispositivos antes de substituir dispositivos	Conferir especificação dos dispositivos conforme projeto.	1	1	2	2
		Instalar fusível ou disjuntor com corrente nominal superior ao especificado	Risco de incêndio	3	Falta de atenção ao realizar atividade/ não verificação da especificação técnica	3	Conferir com projeto	Visualmente	1	9	Verificar semelhança e/ou compatibilidade das grandezas dos dispositivos antes de substituir dispositivos. Conferir especificação do projeto.	Conferir especificação dos dispositivos conforme projeto.	1	1	2	2
			Aquecimento do circuito (condutores) da instalação	2	Falta de atenção ao realizar atividade/ não verificação da especificação técnica	3	Conferir com projeto	Visualmente	1	6	Conferir funcionamento do circuito após energizado e verificando compatibilidade das grandezas com definições do circuito.	Padronizar no procedimento que sejam conferidos as medições elétricas	1	1	1	1
	Remoção do obstáculo de proteção fixado por parafusos ou encaixadas (partes energizadas acessíveis)	Toque em partes vivas	Choque	3	Falta de atenção ao realizar atividade/ não verificação da especificação de segurança	2	Autorização de realização de atividade	Visualmente	1	6	Verificar proteções e obstáculos existente na instalação/ Utilizar EPI's recomendados.	Verificar possibilidade de desenergização do quadro/ Instalar proteção isolante em partes energizadas	2	1	1	2
		Manuseio de ferramenta inadequado	Ferramenta escorregando no ponto de acesso	2	Falta de atenção ao realizar atividade/ não verificação da especificação de segurança	2	Autorização de realização de atividade	Visualmente	1	4	Verificar proteções e obstáculos existente na instalação/ Proibir o uso de ferramentas não recomendadas em procedimento.	Verificar especificação de ferramentas e equipamentos utilizados na instalação.	1	1	1	1
Quadro de controle de motores até 380 V	Operação de ligar/desligar quadro elétrico	Panel não liga	Não houve ligação completa (duas entradas de alimentação)	2	Informações deficientes	2	Verificar antecipadamente o manual do painel	Visualmente	1	6	Verificar conexão do painel com a rede	Seguir procedimentos estabelecidos	1	1	1	1
			Chave de emergência acionada	2	Falta alimentação dos circuitos	2	Verificar as condições das chaves no painel	Visualmente	1	18	Inspeccionar painel antes de energizar	Verificar antecipadamente posicionamento dos dispositivos de acionamento e controle do painel	1	1	1	1
		Ligar quadro com tensão diferente da rede	Panel acende ficando energizado mas não funciona	3	Liga apenas o Comando e Força não	2	Realizar medição de tensão na entrada	Conferir com instrumentos de medição	3	18	Observar o funcionamento do circuito após energizado e conferir as grandezas elétricas conforme o informado no painel	Padronizar e especificar ferramentas e equipamentos utilizados na instalação.	1	1	3	3
				2	Disjuntor geral desligado	2	Verificar parte interna do painel a posição do disjuntor	Visualmente	1	4	Inspeccionar painel antes de energizar	Seguir procedimentos estabelecidos	1	1	1	1
			Panel não indica energização	3	Equipamentos não funcionam	2	Verificar indicação de alimentação de entrada e saída no trafo de entrada	Visualmente	1	6	Conferir a compatibilidade das grandezas verificadas ao realizar atividades.	Conferir especificação de ferramentas e equipamentos utilizados na instalação/ Inserir sinalização de tensão no trafo de entrada	1	1	1	1

Tabela D2 - FMEA 02 – Instalação de AT

Projeto:		Subestação didática Cimatec Park				SENAI CIMATEC PARK										
Cliente(s)/Parceiro(s):	Gerente do Projeto:	Líder Técnico do Proj	Tipo de FMEA:			Equipe executora:										
			Processo													
			Informacional													
			Fase de aplicação:													
			Data da primeira versão:													
			Data desta revisão:													
Componente / Subsistema / Sistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Probabilidade	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	Detectabilidade	Risco (RPN)	Ações recomendadas	Ações Tomadas	Severidade Ajustada	Probabilidade Ajustada	Detectabilidade Ajustada	Risco (RPN) Ajustado
Subestação 01	Energizar subestação 01	Não tem tensão na rede primária	Disjuntor do quadro de alimentação desligado	1	Falha verificação prévia dos componentes	3	Inspeccionar a rede geral de alimentação da SE	Visualmente	1	3	Conferir posicionamento do disjuntor no quadro de alimentação	Inserir no procedimento de atividades a verificação	1	1	1	1
			Disjuntor de alimentação ligado mas sem energia na SE	2	Falha verificação prévia dos componentes	3	Inspeccionar posicionamento da chave seccionadora 01	Medição com instrumento de medida	3	18	Conferir energização com detector de tensão	Inserir no procedimento de operação conforme NR10	1	1	2	2
			Não há energia na entrada do disjuntor	3	Falha de manutenção preventiva nas chaves	2	Verificar a fixação/ encaixe da chave seccionadora	Visualmente	1	6	Verificar procedimento de manobra da chave seccionadora	Inserir no procedimento da atividade observação quanto ao manuseio da chave	1	1	1	1
			Seccionadora 01, 02 ou 03 com falha no fechamento	3	Falha de manobra	4	Manutenção preventiva da chave	Visualmente	1	12	Orientação prévia de manobra executantes	Treinamento prévio aos executantes	2	2	1	4
				3	Falha de ajuste mecânico na chave	3	Manutenção preventiva da chave	Visualmente	1	9	Realização periódica de inspeção	Inserir no plano de manutenção	2	2	1	4
				3	Falha de ajuste mecânico da manopla	2	Manutenção preventiva da chave	Visualmente	1	6	Realização periódica de inspeção	Inserir no plano de manutenção	3	1	1	3
			Não há energia na saída do disjuntor	3	Disjuntor aberto	2	Verificar o status do disjuntor (mola carregada)	Visualmente	1	6	Verificar o status do disjuntor (mola carregada)	Inserir no procedimento de operação conforme NR10	3	1	1	3
				3	Falha de verificação de tensão antes e após operação	2	Inspeccionar posicionamento da chave seccionadora 01	Medição com instrumento de medida	3	18	Conferir energização com detector de tensão	Inserir no procedimento de operação conforme NR10	3	1	3	9
			Não há tensão de comando no disjuntor	3	Falha de indicação de energização do circuito	3	Verificar alimentação de tensão de comando do disjuntor	Medição com instrumento de medida	3	27	Conferir energização com medidor de tensão	Testar antecipadamente o disjuntor	3	1	3	9
			Disjuntor não carrega a mola	3	Falha na parte mecânica do disjuntor	3	Testar antecipadamente o funcionamento	Visualmente	1	9	Verificar indicador visual do disjuntor	Testar antecipadamente o disjuntor	3	1	3	9
			Falha na conexão do painel de cargas	2	Alimentação do quadro geral da carga desligado	2	Inserir no procedimento de operação a verificação da carga	Visualmente	2	8	Verificar procedimento de operação	Inserir no procedimento da atividade observação quanto ao manuseio do painel de cargas	2	1	2	4

Projeto:		Subestação didática Cimaterc Park			Processo			Equipe executora:			SENAI CIMATERC PARK				
Cliente/Parceiro(s):		Fase de Aplicação:			Informacional										
Gerente do Projeto:		Data da primeira versão:													
Lider Técnico do Proj:		Data desta revisão:													
Componente / Subsistema / Sistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Probabilidade	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	Risco (RPN)	Ações recomendadas	Ações Tomadas	Severidade Ajustada	Probabilidade Ajustada	Detectabilidade Ajustada	Risco Ajustado com o comando se
	Desenergizar subestação 02	Não desenergizar as cargas conectadas antecipadamente	Geração de arco elétrico durante abertura da seccionadora	4	Falta de treinamento na operação	5	Orientar antecipadamente	Visualmente	40	Treinar antecipadamente	Inserir como pré requisito de treinamento no procedimento de manobra	4	3	1	12
		Chave seccionadora 03 não abre totalmente	Manobra realizada errada	4	Falta de treinamento na operação	4	Orientar antecipadamente	Visualmente	32	Treinar antecipadamente	Inserir como pré requisito de treinamento no procedimento	4	3	1	12
		Chave seccionadora 03 não abre todas as fases	Falha na parte móvel da seccionadora	4	Manutenção ineficiente	4	Verificar desconexão das fases na chave após manobra	Visualmente	32	Realizar inspeções periodicamente	Inserir realizações periodicamente conforme NR10	4	2	2	16
		Chave seccionadora 02 não abre todas as fases	Falha na parte móvel da seccionadora	4	Manutenção ineficiente	4	Verificar desconexão das fases na chave após manobra	Visualmente	32	Realizar inspeções periodicamente	Inserir realizações periodicamente conforme NR10	4	2	2	16
		Chave seccionadora 01 não abre todas as fases	Falha na parte móvel da seccionadora	4	Manutenção ineficiente	4	Verificar desconexão das fases na chave após manobra	Visualmente	32	Realizar inspeções periodicamente	Inserir realizações periodicamente conforme NR10	4	2	2	16
		Não desenergizar o disjuntor de alimentação da SE	Entrada SE energizada	3	Riscos de choque elétrico	4	Redução de tensão da SE	Detector de Tensão	24	Sinalização de segurança	Inserir no procedimento de manobra indicação de sinalização	3	2	2	12
Subestação 02	Energizar subestação 02	Não tem tensão na rede primária	Queima de lâmpada de sinalização do painel	2	Vida útil da lâmpada	2	Verificar lampada de sinalização do painel previamente	Teste de tensão de comando do painel	8	Inspeção periódica do painel	Inserir no procedimento data das inspeções realizadas conforme legislação	2	1	1	2
			Disjuntor do quadro de alimentação desligado	3	Falta verificação do quadro de alimentação antes de realizar operação	2	Inspeccionar a rede geral de alimentação da SE	Visualmente	6	Conferir posicionamento do disjuntor no quadro de alimentação	Inserir no procedimento as atividades a serem realizadas	3	1	1	3
			Disjuntor de alimentação ligado na SE	3	Falta de verificação antes da operação	2	Inspeccionar posicionamento da chave seccionadora 01	Medição com instrumento de medida	18	Conferir energização com detector de tensão NR10	Inserir no procedimento de operação conforme NR10	3	1	3	9
		Rede primária energizada mas não tem tensão no Painel	Não há energia na entrada do disjuntor	3	Manopla da chave seccionadora desregulada	3	Verificar a fixação/ encaixe da chave seccionadora	Visualmente	9	Inspeção periódica conforme recomendação normativa	Inserir no procedimento da atividade observação quanto ao manual da chave	3	1	1	3
				3	Molas da chave da seccionadora cansada	3	Verificar a fixação/ encaixe da chave seccionadora no painel	Visualmente	9	Inspeção periódica conforme recomendação normativa	Inserir no procedimento observação quanto ao manual da chave	3	1	1	3
				3	Operação realizada errada	2	Instaurar previamente o operador	Visualmente	6	Treinar/ instrução para operação de chaves	Inserir nos procedimentos treinamento de operação de chaves	3	1	1	3
				2	Seccionadora de entrada do painel aberta	2	Verificar indicação luminosa do painel	Visualmente	4	Conferir procedimento de manobra da seccionadora do painel	Inserir observação de procedimento de manobra	2	1	1	2
		Rede primária energizada mas não tem tensão na bucha de alta do trafo 01	Não há energia na entrada do barramento A	3	Seccionador da saída do painel aberta	2	Verificar indicação luminosa do painel	Visualmente	6	Conferir procedimento de manobra da seccionadora do painel	Inserir observação de procedimento de manobra	3	1	1	3

Projeto:		Subestação cidadã Cimatec Park			Tipo de FMEA:			Processo			Equipe executora:			SENAI CIMATEC PARK		
Cliente(s)/Arco(s):		Fase de Aplicação:			Informacional											
Gerente do Projeto:		Data da primeira versão:														
Líder Técnico do Proj:		Data desta revisão:														
Componente / Substância / Sistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Incapacidade	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	Risco (RPN) e	Detecibilidade	Ações recomendadas	Ações Tomadas	Severidade Ajustada	Probabilidade Ajustada	Detecibilidade Ajustada	Risco (RPN) Ajustado com o ajuste
				3	Mód. da chave fica da seccionadora cansada	3	Verificar a fixação/ encaixe da chave seccionadora no painel	Visualmente	1	9	Inspeção periódica conforme recomendação normativa	Inserir no procedimento da atividade observação quanto ao manuseio da chave	3	1	1	3
				3	Operação realizada errada	2	Instalar corretamente o operador	Visualmente	1	6	Treinamento/ instrução para operação de chaves	Inserir nos procedimentos treinamento de operação de chaves	3	1	1	3
				2	Seccionadora de entrada do painel aberta	2	Verificar indicação luminosa do painel	Visualmente	1	4	Conferir procedimento de manobra da seccionadora do painel	Inserir observação de operação do painel no procedimento de manobra	2	1	1	2
		Rede primária energizada mas não tem tensão na bucha de saída do traf. 01	Não há energia na entrada do barramento A	3	Seccionadora da saída do painel aberta	2	Verificar indicação luminosa do painel	Visualmente	1	6	Conferir procedimento de manobra da seccionadora do painel	Inserir observação de operação do painel no procedimento de manobra	3	1	1	3
				3	Falha de manobra	3	Manutenção preventiva da chave	Visualmente	1	9	Orientação prévia de manobra executantes	Treinamento prévio aos executantes	3	1	1	3
				3	Falha de ajuste mecânico na chave	3	Manutenção preventiva da chave	Visualmente	1	9	Realização periódica de inspeção	Inserir no plano de manutenção	3	1	1	3
				3	Falha de ajuste mecânico da manopla	3	Manutenção preventiva da chave	Visualmente	1	9	Realização periódica de inspeção	Inserir no plano de manutenção	3	1	1	3
		Rede primária energizada mas não tem tensão na bucha de saída do traf. 02	Não há energia na entrada do barramento B	3	Seccionadora da saída do painel aberta	3	Verificar indicação luminosa do painel	Visualmente	1	9	Conferir procedimento de manobra da seccionadora do painel	Inserir observação de operação do painel no procedimento de manobra	3	1	1	3
				3	Falha de manobra	2	Manutenção preventiva da chave	Visualmente	1	6	Orientação prévia de manobra executantes	Treinamento prévio aos executantes	3	1	1	3
				3	Falha de ajuste mecânico na chave	3	Manutenção preventiva da chave	Visualmente	1	9	Realização periódica de inspeção	Inserir no plano de manutenção	3	1	1	3
				3	Falha de ajuste mecânico da manopla	3	Manutenção preventiva da chave	Visualmente	1	9	Realização periódica de inspeção	Inserir no plano de manutenção	3	1	1	3
		Carga alimentada pelo traf. não funciona	Falha na conexão do painel de cargas	2	Alimentação do quadro geral da carga desligado	3	Inserir no procedimento operação a verificação da carga	Visualmente	1	6	Verificar procedimento de operação	Inserir no procedimento da atividade observação quanto ao manuseio do painel de cargas	2	1	1	2
	Desenergizar subestação 01	Não desenergizar as cargas conectadas antecipadamente	Geração de arco elétrico durante abertura da seccionadora	4	Falta de treinamento na operação	4	Orientar antecipadamente	Visualmente	2	32	Treinar antecipadamente	Inserir como pré requisito de treinamento no procedimento de manobra	4	2	2	16
		Chave seccionadora 05 não abre totalmente	Manobra realizada errada	4	Falta de treinamento na operação	4	Orientar antecipadamente	Visualmente	2	32	Treinar antecipadamente	Inserir como pré requisito de treinamento no procedimento de manobra	4	2	2	16
		Chave seccionadora 04 não abre todas as fases	Falha na parte móvel da seccionadora	4	Manutenção ineficiente	4	Verificar desconexão das fases na chave após manobra	Visualmente	2	32	Realizar inspeções periodicamente	Inserir realização de inspeções periodicamente conforme NRT0	4	2	2	16
		Chave seccionadora 03 não abre todas as fases	Falha na parte móvel da seccionadora	4	Manutenção ineficiente	4	Verificar desconexão das fases na chave após manobra	Visualmente	2	32	Realizar inspeções periodicamente	Inserir realização de inspeções periodicamente conforme NRT0	4	2	2	16
		Chave seccionadora 02 não abre todas as fases	Falha na parte móvel da seccionadora	4	Manutenção ineficiente	4	Verificar desconexão das fases na chave após manobra	Visualmente	2	32	Realizar inspeções periodicamente	Inserir realização de inspeções periodicamente conforme NRT0	4	2	2	16
		Chave seccionadora 01 não abre todas as fases	Falha na parte móvel da seccionadora	4	Manutenção ineficiente	4	Verificar desconexão das fases na chave após manobra	Visualmente	2	32	Realizar inspeções periodicamente	Inserir realização de inspeções periodicamente conforme NRT0	4	2	2	16
		Não desenergizar o disjuntor de alimentação da SE	Entrada SE energizada	3	Riscos de choque elétrico	3	redução de tensão da SE	Detector de Tensão	2	18	Sinalização de segurança	Inserir no procedimento de manobra indicação de sinalização	3	1	2	6



Tabela D3 - FMEA 03 – Manutenção

SENAI CIMATEC PARK													
Projeto: Cliente(Parceiro): Gerente do Projeto: Lider Técnico do Projeto	Subestação didática Cimatec Park			Processo Informacional			Tipe de FMEA:						
	Fase de Aplicação:			Grupo e executor			Risco (RPN)						
	Data da primeira versão:			Modo de prevenção atual			Detectabilidade						
	Data da segunda versão:			Modo de detecção atual			Severidade						
Componente / Subsistema / Sistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Probabilidade	Modo de prevenção atual	Detectabilidade	Risco (RPN)				
Inspeção e/ou manutenção do Parafuso	Aviatar conexões	Toque em partes energizadas	Choque elétrico	4	Falha no controle de acesso	4	Mantém acesso fechado	2	32	Ativas recomendadas Sinalização de indicação de energização/ Sensor de acesso com indicação sonora	Ações Tomadas Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade	1	4
				4	Não cumprir procedimento de desenergização	3	Inspeção antecipada do circuito	2	24	Uso de detector de tensão/ Instalação de aterramento temporário.	Inserir procedimento de desenergização conforme NR10 e NR 12, redução da tensão da SE.	1	4
				4	Disjuntor de alimentação do circuito alimentado inadvertidamente	3	Inspeção antecipada do circuito	2	24	Uso de detector de tensão/ Sinalização de segurança	Inserir procedimento de desenergização conforme NR10 e NR 12, Redução da tensão da SE.	1	6
				4	Ausência do uso de EPIs	3	Recomendação do uso	2	24	Treinamento prévio de riscos na SE	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade	1	6
	Substituir dispositivos	Toque em partes energizadas	Choque elétrico	4	Falha no controle de acesso	4	Mantém acesso fechado	3	48	Sinalização de indicação de energização/ Sensor de acesso com indicação sonora	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade	1	4
				4	Não testes adequados de tensão na instalação	4	Uso de detector de tensão	4	64	Sinalização de segurança	Inserir nos procedimentos de atividade as recomendações e definições das ferramentas e equipamentos conforme NR10	1	8
		Queda de material	Corte/ queda/ esbaroto	3	Planejamento inadequado da atividade	3	Planejamento realizado no momento da execução	2	18	Preenchimento da análise de risco de atividade e Permissão de atividade, Redução de altura normativa dos equipamentos.	Treinamento de NR10 conforme recomendação	2	12
				3	Uso de ferramentas e/ou equipamentos inadequados	3	Seleção definida pelo executante da atividade	2	18	Inserir definição características técnicas (Categorias) para uso de ferramentas e equipamentos.	Inserir nos procedimentos de atividade as recomendações e definições das ferramentas e equipamentos conforme NR10	2	12
				3	Postura inadequada	3	Realizada pelo executante	2	18	Preenchimento da análise de risco de atividade e Permissão de atividade	Treinamento de NR10 conforme recomendação	2	12
Inspeção e/ou manutenção do Seccionador	Inspeccionar chaves seccionadoras	Toque em partes energizadas	Choque elétrico	4	Falha no controle de acesso	4	Mantém acesso fechado	2	32	Sinalização de indicação de energização/ Sensor de acesso com indicação sonora	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade, Redução da tensão da SE.	2	8
				4	Não testes adequados de tensão na instalação	4	Uso de detector de tensão	4	64	Sinalização de segurança	Inserir nos procedimentos de atividade as recomendações e definições das ferramentas e equipamentos conforme NR10	2	16
	Aplicação de lubrificante na superfície de contato	Toque em partes energizadas	Choque elétrico	4	Falha no controle de acesso	4	Mantém acesso fechado	4	64	Sinalização de indicação de energização/ Sensor de acesso com indicação sonora	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade, Redução da tensão da SE.	2	16
		Contato com produto químico	Contaminação	3	Não testes adequados de tensão na instalação	4	Uso de detector de tensão	4	64	Sinalização de indicação de energização/ Sensor de acesso com indicação sonora	Inserir nos procedimentos de atividade as recomendações e definições das ferramentas e equipamentos conforme NR10	2	6
	Limpeza dos contatos	Acúmulo de poeira	Contaminação	3	Dano aos equívocos/ reflexo na peça/ instalação	4	Uso de EPIs	2	24	Inspeção quanto ao uso do produto	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade	3	6
			Longo tempo em repouso	2	Longo tempo sem usar/ instalação	3	Opção quando solicitado	2	12	Inspeção rotineira/ Programação de manutenção preventiva	Inserir no plano de manutenção preventiva	2	4
			Área com excesso de poeira em suspensão	2	Proximidade com área de construção civil	3	Proteção física	2	12	Inspeção rotineira/ Programação de manutenção preventiva	Inserir no plano de manutenção preventiva	2	4
		Fadiga das molas	Acúmulo de sujeira	2	Longo tempo sem manutenção	3	Opção quando solicitado	2	12	Inspeção rotineira/ Programação de manutenção preventiva	Inserir no plano de manutenção preventiva	2	4
			Excesso número de operações	3	Falta de treinamento para operação	3	Orientação prévia	2	18	Treinamento de operação de equipamentos	Inserir treinamento específico como requisito no procedimento de atividades em anexo a Normas	3	12

Projeto:		Subestação didática Cimaterc Park		Tipo de FMEA:		Processo		Informacional		Tipo de execução		SENAI CIMATEC PARK						
Cliente(s)/Parceiro(s):	Gerente do Projeto:	Líder Técnico do Projeto:	Fase de Aplicação:	Data da primeira versão:	Data desta revisão:	Potenciais causas	Probabilidade	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	Risco (RPN)	Severidade	Ações recomendadas	Risco (RPN)	Severidade	Probabilidade	Detectabilidade	Ajustes com base nas ações	
						Trava na conexão tipos contatos	3	Orientação realizar atividade	Visualmente	2	16	Tratamento de manutenção de chave seccionadora	16	2	3	2	12	Inserir no plano de manutenção de chave seccionadora
						Longo tempo sem manutenção	3	Inspeção rotineira	Visualmente	2	16	Inspeção criterial/Programação de manutenção preventiva	16	3	2	2	12	Inserir no plano de manutenção preventiva
						Falta de treinamento de manutenção	3	Verificar antecipadamente posicionamento	Visualmente	2	18	Seguir orientação do manual do fabricante	18	3	2	2	12	Inserir manual do fabricante da chave seccionadora aos documentos do P.L.E.
						Falta de treinamento de manutenção	3	Observar aperto antes de substituir	toque/ou desconectar	3	27	Seguir orientação do manual do fabricante	27	3	2	3	18	Inserir manual do fabricante da chave seccionadora aos documentos do P.L.E.
						Choque elétrico por contato indireto	4	Inspeção	Visualmente	3	48	Inspeção periódica conforme Norma	48	2	4	2	16	Inserir no plano de manutenção preventiva
						Quantidade elevada de operações	3	Verificar antecipadamente posicionamento	Visualmente	2	18	Seguir orientação do manual do fabricante	18	2	4	2	16	Inserir manual do fabricante da chave seccionadora aos documentos do P.L.E.
						Falta de treinamento do profissional	3	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Instrumento de medida	3	27	Instrução de uso e operação de instrumento de medidas	27	2	2	3	12	Inserir treinamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas
						Falta de treinamento do profissional	3	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Instrumento de medida	3	27	Instrução de uso e operação de instrumento de medidas	27	2	2	3	12	Inserir treinamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas
						Falha no controle de acesso	3	Manter acesso fechado	Visualmente	2	24	Sinalização de indicação de energizado/ Sensor de acesso com indicação sonora	24	4	2	1	8	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade
						Não testou ausência de tensão na instalação	4	Uso de detector de tensão	Instrumento de medida	3	48	Sinalização de indicação de energizado/ Sensor de acesso com indicação sonora	48	4	2	1	8	Inserir nos procedimentos de atividade as recomendações e definições das ferramentas e equipamentos conforme NR10
						Falta de treinamento do profissional	4	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Instrumento de medida	3	36	Instrução de uso e operação de instrumento de medidas	36	3	2	3	18	Inserir treinamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas
						Falta de treinamento do profissional	3	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Instrumento de medida	3	27	Instrução de uso e operação de instrumento de medidas	27	3	2	3	18	Inserir treinamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas
						Queimadura/Choque elétrico	5	Orientação quanto ao manuseio para manutenção	Visualmente	2	40	Instrução de uso e operação de instrumento de medidas	40	4	2	2	16	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade e treinamento de manutenção em SE, Reserpa da tensão da SE.
						Falta de treinamento de manutenção	3	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Instrumento de medida	3	18	Tratamento em manutenção de equipamentos	18	3	2	2	12	Inserir treinamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas
						Falta de treinamento de manutenção	3	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Instrumento de medida	3	27	Tratamento em manutenção de equipamentos	27	3	2	3	18	Inserir treinamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas
						Danos oculares/ irritação na pele/ reação	3	Uso de EPIs	Visualmente	2	18	Instrução quanto ao uso do produto	18	2	2	2	8	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade
						Falha no controle de acesso	4	Manter acesso fechado	Visualmente	3	48	Sinalização de indicação de energizado/ Sensor de acesso com indicação sonora	48	4	2	1	8	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade, Reserpa de tensão da SE.
						Falta de atenção ao acessar espaço	3	Controle de acesso	Visualmente	2	24	Preenchimento da análise de risco de atividade e Permissão de atividade	24	3	3	2	18	Treinamento de NR10 conforme recomendação
						Falta de atenção ao acessar espaço	3	Controle de acesso	Visualmente	2	24	Preenchimento da análise de risco de atividade e Permissão de atividade	24	3	2	2	12	Treinamento de NR10 conforme recomendação
						Choque	4	Autorização de realização de atividade e controle de acesso	Visualmente	3	48	Inspeção sistema de aterramento periodicamente conforme especificação do fabricante (Ø)	48	4	2	2	16	Não tocar nas estruturas metálicas expostas periodicamente conforme especificação do fabricante (Ø)

Projeto:		Subestação didática Cimtec Park				Tipo de FMEA:		Processo		Líder executor		SENAI CIMATEC PARK					
Cliente/Parceiro/órgão:		Fase de Aplicação:		Data da primeira versão:		Data desta versão:		Informacional		Líder executor							
Gerente do Projeto:																	
Líder Técnico do Projeto																	
Componente / Subsistema / Sistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Probabilidade	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	Risco (RPN)	Ações recomendadas	Ações Tomadas	Severidade Ajustada	Probabilidade Ajustada	Descritores Ajustada	Risco (RPN) Ajustada	Indicadores de risco com ações	
	Verificação de vedações, conexões, nível do líquido isolante.	Vazamento de óleo isolante	Contaminação	3	Imitação cutânea	3	Uso de EPI's	Visualmente	18	Instrução quanto ao uso do produto	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade	3	2	2	2	12	
	Limpeza de buchas, carcaça.	Acúmulo de poeira	Área com excesso de poeira em suspensão	2	Proximidade com área de manutenção e ensaio de construção civil	3	Proteção física	Visualmente	12	Inspeção rotineira/ Programação de manutenção preventiva	Inserir no plano de manutenção preventiva	2	2	2	2	8	
	Respeito de conexões	Torque insuficiente	Vibração e/ou desconexão	3	Falta de treinamento de manutenção	3	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Instrumento de medição	27	Treinamento em manutenção de equipamentos	Inserir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	3	2	2	2	12	
		Torque excessivo	Deformação de terminais e conexões	3	Falta de treinamento de manutenção	3	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Instrumento de medição	27	Treinamento em manutenção de equipamentos	Inserir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	3	2	2	2	12	
		Reflexão da tampa frontal	queda de material	3	Falta de atenção	3	Orientação prévia	Visualmente	18	Preenchimento da análise de risco de atividades e Permissão de atividade	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade	3	2	2	2	12	
		Aciomamento acidental da mola	Não observar mola acionada	3	esmagamento de mãos, corte,	3	Orientação prévia	Visualmente	18	Treinamento em manutenção de equipamentos	Inserir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	2	1	2	4	4	
		Circuito de comando do disjuntor energizado	Choque elétrico	4	Não houve teste de tensão	4	Indicação visual do disjuntor	Visualmente	48	Treinamento em manutenção de equipamentos/ teste de ausência de tensão/ Inserir no procedimento de atividade	Treinamento em manutenção de equipamentos/ teste de ausência de tensão/ Inserir no procedimento de atividade	4	2	2	2	16	
	Manobras de abertura e fechamento do disjuntor	Acionamento automático da mola não funciona	Circuito do acionamento desligado	4	Proteção desarmada	3	Indicação visual da proteção	Visualmente	24	Treinamento em manutenção de equipamentos	Inserir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	4	2	2	2	16	
	Medição da resistência de contato	Torque em parafusos energizados	Choque elétrico	4	Falha no procedimento de acesso	4	Manter acesso fechado	Visualmente	48	Sinalização de indicação de energizado/ Sensor de acesso com indicação sonora	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade	4	2	1	8	8	
		Posicionamento do medidor errada (ponto de medição)	Leitura errada	4	Falha de treinamento	4	Orientação prévia	Visualmente	32	Instrução para realização de medição de contato	Inserir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	4	2	2	2	16	
	Medição da resistência de isolamento	Torque em parafusos energizados	Choque elétrico	4	Falha no procedimento de controle de acesso	4	Manter acesso fechado	Visualmente	32	Sinalização de indicação de energizado/ Sensor de acesso com indicação sonora	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade	4	2	1	8	8	
		Posicionamento do medidor errada (ponto de medição)	Choque elétrico gerado pelo instrumento	4	Falha quanto ao manuseio do instrumento	4	Orientação prévia para o manuseio do instrumento	Visualmente	48	Instrução para realização de medição de contato	Inserir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	4	2	2	2	16	
		Posicionamento do medidor errada (ponto de medição)	Leitura errada	2	Falha de treinamento	3	Orientação prévia	Visualmente	12	Instrução para realização de medição de contato	Inserir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	4	2	1	8	8	
Inspeção e/ou manutenção Transformador 4 óleo	Inspeção do estado geral de conservação	Toque em parafusos energizados	Choque elétrico	4	Falha no controle de acesso	4	Manter acesso fechado	Visualmente	32	Sinalização de indicação de energizado/ Sensor de acesso com indicação sonora	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade, redução de tensão da SE	4	2	1	8	8	
	Verificação da existência de vazamentos de óleo	Vazamento de óleo isolante	Contaminação	3	Imitação cutânea	3	Uso de EPI's	Visualmente	18	Instrução quanto ao uso do produto	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade	3	2	2	2	12	
	Verificação de aterramento	Estrabismo/ queda/ escorregão	Falha de atenção ao acessar espaço	3	Falha de orientação antecipada para para realização da tarefa	3	Controle de acesso	Visualmente	18	Preenchimento da análise de risco de atividades	Treinamento de NR10 conforme recomendação	3	2	2	2	12	
	Verificação das vedações, conexões, nível do líquido isolante, temperatura	Vazamento de óleo isolante	Contaminação	3	Imitação cutânea	3	Uso de EPI's	Visualmente	18	Instrução quanto ao uso do produto	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade	2	2	2	2	8	
	Verificação da abração do tanque e das alças dos redutores	Vibração no transformador	Falta nos mancais do transformador	3	fração insuficiente do transformador	3	Inspeção prévia	Visualmente	27	Inspeção rotineira/ Programação de manutenção preventiva	Inserir no plano de manutenção preventiva	3	2	2	2	12	
	Limpeza de buchas, soldaduras, lâmpadas	Acúmulo de poeira	Área com excesso de poeira em suspensão	3	Proximidade com área de manutenção e ensaio de construção civil	2	Proteção física	Visualmente	12	Inspeção rotineira/ Programação de manutenção preventiva	Inserir no procedimento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	3	2	2	2	12	
	Aperto correto dos parafusos das conexões.	Torque insuficiente	Vibração e/ou desconexão	3	Falta de treinamento de manutenção	3	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Instrumento de medição	27	Treinamento em manutenção de equipamentos	Inserir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	3	2	3	3	18	

Subestação didática Cimatec Park		Processo Informativo		Equipe executora		SENAI CIMATEC PARK											
Tipo de FMEA:		Fase de Aplicação:		Data de primeira versão:		Data desta revisão:											
Função requerida	Provável modo de falha	Provável efeito	Severidade	Potenciais causas	Probabilidade	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	Risco (RPN)	Ações recomendadas	Ações Tomadas	Severidade Ajustada	Probabilidade Ajustada	Detectabilidade Ajustada	Risco (RPN) Ajustado			
	Torque excessivo	Deformação de barramentos e conexões	3	Falta de treinamento de manutenção	3	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Instrumento de medição	3	27	Tratamento em manutenção de equipamentos	Isseir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	3	2	3	18		
Relação do número de espiras	Conexão errada do instrumento	Leitura errada	3	Falta de treinamento em ensaios de transformadores	2	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Visualmente	12	Tratamento em manutenção de equipamentos	Isseir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	3	1	2	6			
Medição da resistência de isolamento	Toque em partes energizadas	Choque elétrico	4	Falha no procedimento de controle de acesso	4	Manter acesso fechado	Visualmente	32	Signalização de indicação de energizador/ Sensor de acesso com indicação sonora	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade	4	2	1	8			
		Choque elétrico gerado pelo instrumento	4	Falha quanto ao manuseio do instrumento	4	Orientação prévia para o manuseio do instrumento	Visualmente	32	Instrução para realização de medição de contato	Isseir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	4	2	2	16			
Inspeção do estado geral de conservação	Toque em partes energizadas	Choque elétrico	4	Falha no controle de acesso	4	Manter acesso fechado	Visualmente	32	Signalização de indicação de energizador/ Sensor de acesso com indicação sonora	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade. Redução de tensão da SE	4	2	1	8			
Verificação do aterramento e nível do ruído	Estalar/ queda/ escorrego	Falha de aterramento ao acessar espaço	3	Falta de orientação antecipada para para realização da tarefa	3	Controle de acesso	Visualmente	18	Preenchimento de análise de risco de atividade e Permissão de atividade	Tratamento de NR10 conforme recomendação	2	2	2	8			
Verificação das entradas e saídas de ar	Verificação superficial	Vazamentos	3	Falta de treinamento	2	Instrução prévia	Visualmente	12	Instrução para realização de medição de contato	Isseir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	2	2	2	8			
Limpeza do transformador	Acúmulo de poeira	Área com excesso de poeira em suspenso	2	Proximidade com área de construção civil	3	Proteção física	Visualmente	12	Inspeção rotineira/ Programação de manutenção preventiva	Isseir no plano de manutenção preventiva	2	2	2	8			
Aparto correto dos parafusos das conexões.	Torque insuficiente	Vibração e/ou desconexão	3	Falta de treinamento de manutenção	3	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Instrumento de medição	27	Tratamento em manutenção de equipamentos	Isseir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	3	2	3	18			
	Torque excessivo	Deformação de barramentos e conexões	3	Falta de treinamento de manutenção	3	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Instrumento de medição	27	Tratamento em manutenção de equipamentos	Isseir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	3	2	3	18			
Inspeção do estado geral de conservação	Toque em partes energizadas	Choque elétrico	4	Falha no controle de acesso	4	Manter acesso fechado	Visualmente	32	Signalização de indicação de energizador/ Sensor de acesso com indicação sonora/ Redução de altura dos equipamentos	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade. Redução de tensão da SE	4	3	1	12			
Verificação das junções elétricas	Folga nas conexões	Aquecimento	4	Falta de inspeção periódica	3	Inspeção prévia	Instrumento de medição	36	Inspeção rotineira/ Programação de manutenção preventiva	Isseir no plano de manutenção preventiva	4	3	1	12			
			4	Sobrecorrente no circuito	4	Controle de carga	Instrumento de medição	64	Inspeção rotineira/ Programação de manutenção preventiva	Isseir no plano de manutenção preventiva	4	2	3	24			
			3	Falta de treinamento de manutenção	3	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Instrumento de medição	27	Inspeção rotineira/ Programação de manutenção preventiva	Isseir no plano de manutenção preventiva	3	2	3	18			
Verifica se as cargas das linhas estão de acordo com a corrente esperada para o barramento	Folga nas conexões	Aquecimento	4	Falta de inspeção periódica	4	Inspeção prévia	Instrumento de medição	48	Inspeção rotineira/ Programação de manutenção preventiva	Isseir no plano de manutenção preventiva	4	2	3	24			
	Sobrecorrente no circuito	Aquecimento	4	Sobrecarga na rede	4	Controle de carga	Instrumento de medição	64	Inspeção rotineira/ Programação de manutenção preventiva	Isseir no plano de manutenção preventiva	4	2	3	24			
Limpeza de barramentos e de isoladores		Vibração e/ou desconexão	3	Falta de treinamento de manutenção	3	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Instrumento de medição	27	Inspeção rotineira/ Programação de manutenção preventiva	Isseir no plano de manutenção preventiva	3	2	3	18			
Verificação do aperto correto dos parafusos das conexões	Torque insuficiente	Vibração e/ou desconexão	3	Falta de treinamento de manutenção	3	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Instrumento de medição	27	Tratamento em manutenção de equipamentos	Isseir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	3	2	3	18			
	Torque excessivo	Deformação de barramentos e conexões	3	Falta de treinamento de manutenção	3	Orientação quanto ao uso do instrumento de medida	Instrumento de medição	27	Tratamento em manutenção de equipamentos	Isseir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	3	2	3	18			
Medição da resistência de isolamento	Toque em partes energizadas	Choque elétrico	4	Falha no procedimento de controle de acesso	4	Manter acesso fechado	Visualmente	32	Signalização de indicação de energizador/ Sensor de acesso com indicação sonora	Preenchimento de análise de risco e permissão de realização de atividade	4	3	1	12			
		Choque elétrico gerado pelo instrumento	4	Falha quanto ao manuseio do instrumento	4	Orientação prévia para o manuseio do instrumento	Visualmente	32	Instrução para realização de medição de contato	Isseir tratamento específico como requisito no procedimento de atividade em atendimento a Normas	4	2	2	16			

Tabela D4 - FMEA 04 – Atividades gerais

Projeto: Subestação didática Cimatec Park		Tipo de FMEA: Processo		Equipe executora:										
Cliente(S)/Pa		Fase de Aplicação: Informacional												
Gerente do PA		Data da primeira versão:												
Líder Técnico		Data desta revisão:												
Componente / Sub-sistema / Sistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	RPN	Ações recomendadas	Ações Tomadas	Severidade	Probabilidade	Detectabilidade	Risco (RPN) atual
Subestação	Serviços Gerais (variação, limpeza)	Acesso a área de manobra	Falha de aterramento Quebra/ esbarão	2 1	Choque indireto Escorregor batida contra	2 2	2 2	2 2	Instrução formal Uso de EPI's e Permissão de atividade	Treinamento e instrução formal Controle de Acesso/ Autorização prévia/ Sinalização	2 1	1 1	2 1	4 1
		Acesso a área de equipamentos	Choque	4	Falha de controle de acesso	2	2	2	Autorização / sinalização	Instrução formal/ Treinamento	4	1	2	8
				4	Falha de sinalização	2	2	2	Autorização / sinalização	Instrução formal/ Treinamento	4	1	2	8
				4	Instalação desenergizada	2	2	2	Procedimento de desenergização	Instrução formal/ Treinamento	4	1	1	4
	Manutenção geral (Civil, predial, climatização, mecânica e outros)	Falha no Sistema de aterramento	Choque	4	Umidade no quadro/ oxidação na conexões	2	2	2	Inspeccionar sistema de aterramento periodicamente conforme padrão normativo técnico	Mão tocar nas estruturas metálicas/ Inspeção periódica conforme NRE0 item 10.3.6 subitem (g)	4	1	2	8
			Aterramento interrompido em algum ponto (Sistema)	2	Dilatação nas conexões/ passagem de pessoas e/ou veículos	3	2	2	Inspeccionar sistema de aterramento periodicamente conforme padrão normativo técnico	Mão tocar nas estruturas metálicas/ Inspeção periódica conforme NRE0 item 10.3.6 subitem (g)	2	1	2	4
		Conexão errada	Curtos circuito	4	Falha de identificação de circuitos	2	2	2	Conferir tag dos equipamentos e circuitos conforme solicitação de atividade	Identificação do quadro de distribuição e dos circuitos conforme normativo técnico	4	1	2	8
			Ligar dispositivos/eq. equipamentos em diferente circuito	3	Falha de identificação de circuitos	3	2	2	Conferir tag dos equipamentos e circuitos conforme solicitação de atividade	Identificação do quadro de distribuição e dos circuitos conforme normativo técnico	3	1	2	6
	Visitação	Acesso a área de manobra	Falha de aterramento	3	Choque indireto	2	2	2	Briefing de Segurança	Controle de Acesso/ Autorização prévia/ Sinalização/ controle de quantidade de pessoas	3	1	1	3
			Quebra/ esbarão	2	Escorregor batida contra	2	2	2	Briefing de Segurança	Controle de Acesso/ Autorização prévia/ Sinalização/ controle de quantidade de pessoas	2	1	1	2
		Acesso a área de equipamentos	Choque	4	Falha de controle de acesso	2	2	2	Bloqueio de acesso/ Orientação quanto evitar toque em estruturas metálicas	Travamento de acesso/ Sinalização luminosa e/ ou sonora	4	1	2	8

## APÊNDICE E – FORMULÁRIO ANÁLISE DE RISCO NA ATIVIDADE

	<b>A R A</b> Análise de Risco de atividade	1.Tarefa:	2.Supervisão:	3.PT nº:	4. Início da atividade	Data: Hora:
--	-----------------------------------------------	-----------	---------------	----------	------------------------	----------------

5.Outras informações sobre a Tarefa (Ex.: equipamentos envolvidos, etc): Manutenção preventiva em painel de subestação

6.CARACTERÍSTICAS DA TAREFA: <input type="checkbox"/> PODERA COMPROMETER O MEIO AMBIENTE <input type="checkbox"/> GERADOR DE CALOR/FAISCA <input type="checkbox"/> TRABALHOS EM ALTURA <input type="checkbox"/> PRÓXIMO A EQUIPAMENTO ENERGIZADO <input type="checkbox"/> CONTATO COM TEMPERATURA EXTREMA <input type="checkbox"/> CONTEVE/CONTÉM PRODUTO CORROSIVO <input type="checkbox"/> CONTEVE/CONTÉM PRODUTO TÓXICO/IRRITANTE <input type="checkbox"/> CONTEVE/CONTÉM PRODUTO INFLAMÁVEL <input type="checkbox"/> RISCO DE EMANAÇÃO DE PRODUTO PERIGOSO <input type="checkbox"/> ESCAVACÃO/DEMOLIÇÃO <input type="checkbox"/> PESO EXCESSIVO				
7.ITEM Nº	8.FASES DA TAREFA	9.RISCOS PARA:		10.RECOMENDAÇÕES E/OU PROCEDIMENTOS PARA EVITAR ACIDENTES/IMPACTOS AMBIENTAIS
		PESSOAS / MEIO AMBIENTE	MATERIAIS / EQUIPAMENTOS	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

## APÊNDICE F – PERMISSÃO DE ATIVIDADE

PERMISSÃO DE TRABALHO	<b>Permissão de Atividade</b>	Nº
1 - EMPRESA SOLICITANTE		2 - RESPONSÁVEL SOLICITANTE: (Nome e Contato):
3 - EMPRESA EXECUTANTE:		4 - RESPONSÁVEL (Nome e Contato), que poderá ser também o responsável Técnico, e ter qualificação apropriada:
5 - INÍCIO (DATA E HORA):	6 - PREVISÃO FINAL (DATA E HORA)	7 - Nº Permissão:
		8 - ÁREA LOCAL: <b>SUBESTAÇÃO DIDÁTICA</b>
9 - ATIVIDADE A SER REALIZADA:		10 - ART número:
		12 - Se falta ART, responsável Técnico: (Nome, cargo e Contato)
<b>PREENCHA O DOCUMENTO DA SEGUINTE FORMA: S = SIM / N = NÃO / A = NA (NÃO APLICÁVEL)</b>		
11 - ATIVIDADE ENVOLVIDA (Requer Resp. Técnico definido pela emissão de ART, ou designado pela empresa que executará o serviço para atuar na etapa de análise dos riscos preliminares (APR) da PT.		
<input type="checkbox"/> ALTURA <input type="checkbox"/> ABERTURA DE LINHAS / EQUIPAMENTOS <input type="checkbox"/> TRABALHO A QUENTE / CALOR E FAÍSCA <input type="checkbox"/> ACESSO DE VEÍC. EM ÁREA CLASSIFICADA	<input type="checkbox"/> ELETRICIDADE <input type="checkbox"/> TESTES EM GERAL <input type="checkbox"/> HIDROJATEAMENTO / JATEAMENTO <input type="checkbox"/> MONT/ DESMONTAGEM DE EQUIPAMENTOS	<input type="checkbox"/> ENTRADA EM A. CONFINADO <input type="checkbox"/> SUBST. NOCIVAS À SAÚDE <input type="checkbox"/> LIMPEZA <input type="checkbox"/> MOVIMENT./CAMBIO DE CARGA OUTROS: _____
12 - RISCOS E PRODUTOS ENVOLVIDOS (baseados nos dados contidos na análise preliminar de riscos (APR)):		
<input type="checkbox"/> QUEDA MESMO NÍVEL / NÍVEL DIFERENTE <input type="checkbox"/> ATINGIDO POR <input type="checkbox"/> BATIDA CONTRA <input type="checkbox"/> PRESO EM <input type="checkbox"/> PRESO E/OU PRENSADO ENTRE E/OU SOB <input type="checkbox"/> VIBRAÇÕES <input type="checkbox"/> RUÍDO <input type="checkbox"/> QUEIMADURA <input type="checkbox"/> INCÊNDIO E/OU EXPLOÇÃO	<input type="checkbox"/> CHOQUE ELÉTRICO <input type="checkbox"/> ESFORÇO EXCESSIVO <input type="checkbox"/> TEMPERATURAS ANORMAIS (Calor / Frio) <input type="checkbox"/> PRESSÃO ANORMAL <input type="checkbox"/> RADIAÇÃO IONIZANTE <input type="checkbox"/> RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE <input type="checkbox"/> ATMOSFERA SATURADA / PERIGOSA <input type="checkbox"/> AERODISPERSÓIDES <input type="checkbox"/> ENERGIA GRAVITACIONAL	<input type="checkbox"/> REAGENTE COM ÁGUA <input type="checkbox"/> PRODUTO INFLAMÁVEL <input type="checkbox"/> PRODUTO TÓXICO <input type="checkbox"/> PRODUTO CORROSIVO <input type="checkbox"/> PRODUTO EXPLOSIVO <input type="checkbox"/> PRODUTO PIRIFÉRICO <input type="checkbox"/> PRODUTO OXIDANTE <input type="checkbox"/> PRODUTO INFECTANTE OUTROS: _____
13 - PROTEÇÃO INDIVIDUAL E ESPECIAL (baseados nos dados contidos na análise preliminar de riscos (APR)):		
riscos físicos / químicos: <input type="checkbox"/> ROUPA PARA TEMPERATURAS (Altas / Baixas) <input type="checkbox"/> PROTETOR AURICULAR <input type="checkbox"/> ROUPA PARA TEMPERATURAS (Altas / Baixas) <input type="checkbox"/> RESPI. (Poireira, Fumos, Vap. Orgânicos) <input type="checkbox"/> LUVAS (PVC, Borracha, Látex, Raspa, Vaqueta, Kevlar) <input type="checkbox"/> OCULOS (Ampliação, Microscópio, Soldador) <input type="checkbox"/> BOTA (PVC, Couro, Para Elétricas) <input type="checkbox"/> AVENTAL (PVC, Raspa, Alumínio) <input type="checkbox"/> PROTEÇÃO FACIAL <input type="checkbox"/> RESPI. FACIAL (Autônoma / Com ar mandado) OUTROS: _____	riscos elétricos: <input type="checkbox"/> LUVAS DE COURO (PROTEÇÃO MECÂNICA) <input type="checkbox"/> LUVAS DE BORRACHA (PROTEÇÃO ELÉTRICA) <input type="checkbox"/> BALACLAVA E/OU CAPACETE <input type="checkbox"/> OCULOS OU PROTETOR FACIAL <input type="checkbox"/> ROUPA P. TRABALHOS EM ELETRICIDADE ("noma") <input type="checkbox"/> FERRAMENTAS ISOLADAS <input type="checkbox"/> MANTAS ISOLANTES / INSTALAÇÃO DE FIO TERRA OUTROS: _____	riscos biológicos: <input type="checkbox"/> AVENTAL (PVC, ETC) <input type="checkbox"/> LUVAS (PVC, Borracha, Látex, ETC) OUTROS: _____
14 - FERRAMENTAS / EQUIPAMENTOS UTILIZADOS (TAO) Os equipamentos listados devem ser utilizados durante todo o trabalho. A mudança de algum deles deve ser comunicada e a validade de seu prazo de manutenção deve ser checado:		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
No caso de falta de espaço para lista de equipamentos ou de equipe utilizar folha extra e anexar a este documento		
15 - EQUIPE DE TRABALHO:		
	Habilit / Capacit / Qualific	Treinamentos
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
16 - DOCUMENTOS DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DO SERVIÇO:		
	DOCUMENTOS DE APOIO PARA AVALIAÇÃO:	
	MANUT. ALTER. OBRA	SERVIÇO ELÉTRICO CONSTRUÇÃO CIVIL
		MANUT. ALTER. OBRA SERVIÇO A QUENTE
Documentos de apoio são necessários para a liberação da PT	1) DIAGRAMA UNIFILAR 2) PROJETO 3) MEMORIAL DESCRITIVO 4) APROVAÇÃO ALTERAÇÃO 5) AS BUILT 6) PROCEDIMENTOS OPERACIONAL 7) PROCEDIMENTO DE MANUTENÇÃO 8) RELATÓRIO DE INSPEÇÃO 9) OUTROS	
17 - REQUISITOS ESPECÍFICOS / RECOMENDAÇÕES / ALTERAÇÕES:		
18 - Check list da área/ equipamentos a ser desenvolvida tarefa. Preencher com "S" (sim), "N" (não) e "NA" (não aplicável):		
<input type="checkbox"/> Área está limpa e/ou desobstruída? <input type="checkbox"/> Inspeccionar seccionadoras <input type="checkbox"/> Inspeccionar Disjuntor <input type="checkbox"/> Verificar portas de acessos as baías <input type="checkbox"/> Verificar conexões do transformador <input type="checkbox"/> Verificar Parafusos <input type="checkbox"/> Inspeccionar aterramento	<input type="checkbox"/> Conferir os instrumentos de medição a ser utilizados <input type="checkbox"/> Conferir os ETIs <input type="checkbox"/> Verificar sinalização dos painéis <input type="checkbox"/> Inspeccionar quadro de carga <input type="checkbox"/> Inspeccionar QTA <input type="checkbox"/> Inspeccionar Gerador Diesel <input type="checkbox"/> Inspeccionar Transformador	<input type="checkbox"/> Conferir os componentes de manobra do painel de AT <input type="checkbox"/> Conferir as chaves de tratamento do painel <input type="checkbox"/> Conferir os pontos de bloqueio de energias <input type="checkbox"/> Conferir funcionamento das sinalizações de energização das baías <input type="checkbox"/> Inspeccionar conexões das cargas com a Outros: _____
19 - ANÁLISAMOS E CONTROLAMOS EM CONJUNTO OS RISCOS ENVOLVIDOS:		
Solicitante		
Executante		
20 - BAIXA DA PT	<input type="checkbox"/> ATIVIDADE PARALIZADA / Motivo: _____ Ass. / Data: _____ <input type="checkbox"/> ATIVIDADE CANCELADA / Motivo: _____ Ass. / Data: _____	<input type="checkbox"/> RETRADO ISOLAMENTO / SINALIZAÇÃO <input type="checkbox"/> RETRADO BLOQUEIOS / ETIQUETAS <input type="checkbox"/> TESTES EFETUADOS <input type="checkbox"/> SERVIÇO CONCLUÍDO Ass. / Data: _____
	<input type="checkbox"/> FERRAMENTA E EQUIPAMENTO RETRADOS/GUARDADOS <input type="checkbox"/> RETRADO O CONJUNTO DE TRAVAMENTO <input type="checkbox"/> EQUIPAMENTO / LOCAL LIBERADO <input type="checkbox"/> EQUIPAMENTO / LOCAL LIMPO / SS ADEQUADO	

**Verso da ficha.**

15 - EQUIPE DE TRABALHO:	OK	Habilit / Capacit / Qualific	OK	Exame médico complementar	OK	Treinamentos
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						





**APÊNDICE H – ARTIGO PUBLICADO NO VIII SIINTEC**

## VIII International Symposium on Innovation and Technology

### SAFETY RISK IDENTIFICATION FOR OPERATIONS AND MAINTENANCE IN AN EDUCATIONAL 13.8 kV ELECTRIC SUBSTATION

*Paulo de Tarso do Nascimento<sup>1</sup>, Valéria Loureiro da Silva<sup>1</sup>, Frederico Ramos  
Cesário<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> Centro Universitário SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845 - Piatã, Salvador  
– BA, 41650-010, Brasil.*

**Abstract:** This work relates to the identification and mapping of potential safety risks and mitigation measures for an educational 13.8 kV electrical substation, which was built in real operating conditions, ensuring compliance with all necessary rules in interventions with safety, according to the peculiarity of the users, instructors and students. Due to the scarcity of information to validate the study, a semi-structured qualitative interview was conducted with relevant professionals. The interviewed specialists pointed out the need for avoiding distractions, strictly following procedures and knowing the installed equipment, besides the technical and regulatory norms.

**Keywords:** Electrical safety procedures; educational substations; 13.8kV substation safety; electrical risk control.

IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS DE SEGURANÇA NAS OPERAÇÕES E  
MANUTENÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA DIDÁTICA DE 13,8  
kV.

**Resumo:** Este trabalho diz respeito à identificação e mapeamento de potenciais riscos de segurança e medidas de mitigação para uma subestação elétrica de 13,8 kV, construída em condições reais de funcionamento, garantindo o cumprimento de todas as regras necessárias nas intervenções com segurança, de acordo com a peculiaridade dos utilizadores, instrutores e estudantes. Devido à escassez de informação para validar o estudo, foi realizada uma entrevista qualitativa semiestruturada com profissionais relevantes. Os especialistas entrevistados salientaram a necessidade de evitar distrações, seguindo rigorosamente os procedimentos e conhecendo o equipamento instalado, para além das normas técnicas e regulamentares.

**Palavras-chave:** Procedimentos de Segurança em eletricidade; Subestações didáticas; Segurança em subestações de 13,8kV; Controle de risco elétrico.

## 1 INTRODUCTION

A power substation consists of a set of electrical equipment of various characteristics and functions that, installed in an integrated manner among themselves, allows the power flow regulation, change and control of electrical quantities of voltages and currents, and ensure the protection of the electrical system [1]. ANEEL Normative Resolution No. 479 of April 3, 2012 complements the definition of the part of the power system that comprises, besides the devices, civil works and assembly structures [2-3]. The construction, expansion, renovation, operations and maintenance of substations are common activities in electric power companies, industries and other consumers, as it involves a complex process of information, regulatory and technical compliance and legislation [4]. Therefore, it requires several professionals with specific skills and knowledge in construction, operation, maintenance and renovation for it to be successfully executed. It stands out then the importance of training adapted to the various activities developed in this type of facility.

The electrical panels, equipments and devices that compose the substations generate of strong electric and magnetic fields that require the creation of protection rules to enable electromagnetic compliance. Visual inspection or even technical visit to this type of installations present risks pertinent to the installation itself even if there is no physical intervention [5-7]. The simple existence of unshielded energized conductors connected to equipment presents possibilities of air ionization, changing its dielectric properties and creating a situation favorable to the occurrence of electric arcs [6]. The risk of arc generation is more common on humid days. The emergence of small arcs inside the equipment is a situation controlled by the protection system during operation of the substation. Due to the diversity of conductor insulations present in the market, it is necessary to be careful, because they bring, according to the physical arrangement of the installation, changes in the magnetic flux of the field lines around them, as well as electromagnetic interactions between them. Thus, it must consider the eventuality of interruption or failure in their insulation and, consequently, may represent additional risk if there is inadvertent contact with energized electrical parts [5-6]. Thus, it is paramount the implementation of risk reduction measures to avoid people exposure to possible risks and reduce changes in the operation of the installation during interventions or even inspections.

A 13.8kV educational substation is being implemented at Senai allowing the training of students from diverse backgrounds on activities related to maintenance, operation or inspection, considering the characteristics of the installation, the pertinent legislation, technical standards, operating procedures and safety aspects for such equipment. This substation needs to allow for interventions by teachers and students in a safe, didactic way without being disconnected from the reality found in the Electric Power System (SEP) or consumer installations that receive electrical energy at high voltage. This work describes the identification of relevant risks for the substation use obtained through an interview of qualified professionals that will be using the substation for training activities. The risks were then mapped and classified for a posterior mitigation effort [6-7].

### 2 METHODOLOGY

A literature search on educational high voltage substations and security was performed on the following databases: Scopus, ScienceDirect and CAPES CAFÉ. The only relevant information found were corporative training material that did not fully meet the objective of safety for an educational substation. Therefore, a qualitative semi-structured survey was conducted to bring in the perspective of the instructors and users of the substation. These are qualified and skilled professionals with training in the area of electricity and professional experience in electrical substations, in addition to teaching in disciplines related to this type of installation and in various modalities such as: Post-Graduation, Graduation, Technical and Qualification Training.

A questionnaire containing thirteen open questions was developed and used without time limit for the answers, allowing the professional to discourse according to their experience. There were three types of questions: demographic, educational and safety in electrical substations. The objective of the first two groups of questions was to validate the desired professional and pedagogical experience of the interviewees and the last group to collect the relevant aspects regarding safety in electrical substations for didactic purposes. Before starting the interviews, the questionnaire was tested and validated. Meetings were held with the researchers aiming to analyze each of the proposed questions and possible answers followed by the application of the questionnaire with 2 people for validation of the consistency of the questions and answers and time for the interview. After adjustments, the questionnaire was then used for the interviews. A term of informed consent was signed by each of the interviewees to allow for the use of the information in this research.

The interviews were conducted with 13 interviewees over the course of a month during a previously scheduled time. Around 240 minutes of video and audio recording were produced, and each answer was transcribed, tabulated, and grouped by question. All the mentioned expressions related to security were recorded grouped as well. It was noticed that those expressions could be grouped according to the themes used in current Technical Standards, which facilitated further analysis and provided more consistent graphics generation.

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

It is important to highlight that the public interviewed need to have knowledge and experience in both subjects: teaching in disciplines related to electrical substations and experience in this type of facility. That would allow them to effectively identify electrical and additional risks as well as determine the criteria for access and performance of activities in a teaching substation. The population interviewed was 85%

male, with an average age of 57 for men and 41 for women, and professional experience of 27 and 16.5 years respectively. As shown in the graph in figure 1, 60% of the interviewees have an Electrical Engineering and/or Electrical Technician degrees, which are qualified or licensed to develop activities in electrical substations.

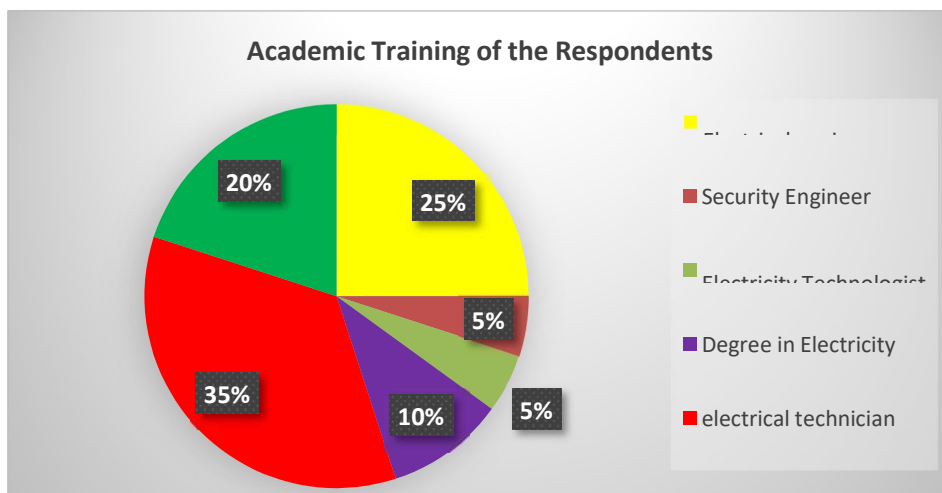


Figura 1- Academic Training of the Respondents

The graph in figure 2 shows that the interviewees teach courses in all the modalities selected in the study, but it is important to point out that 56% of this population teach courses that form qualified professionals and, therefore, need to perform operational activities in electrical substations. Therefore, the interviewee information shown in Figures 1 and 2 ratify that the selected population meet the study's objective and is qualified to identify the inherent risks associated with a high voltage substation as well as additional risks coming from the educational use.

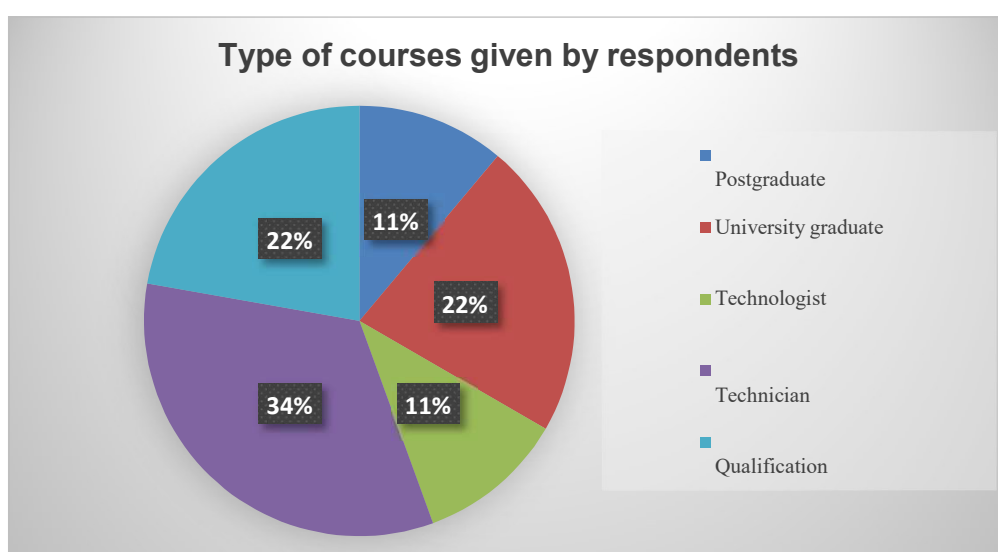


Figura 2 - Type of courses given by respondents

The answers to the question “Which risks are relevant to perform activities in the substation?” were tabulated and the results presented in the graph in Figure 3. The respondents listed the electrical risks as the main element of control regarding exposure followed by procedures. The terms safety procedures, knowledge of equipment and operating procedures, which are associated with electrical risks and adequate procedures, were repeated many times in the interviews. This is not surprising since electric substations, due to their construction characteristics, need constant interventions, and activities related to maintenance and operation of equipment are inherent to their routine. That is the case for all electrical substation and is not restricted to the educational nature of the substation in question.

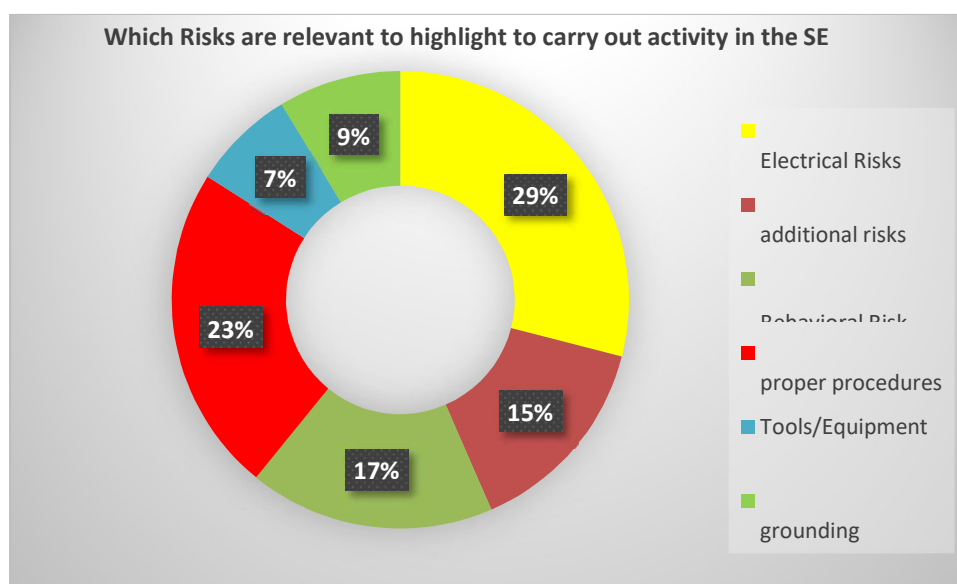


Figura 3 - Which Risks are relevant to highlight to carry out activity in the SE

In third, with 17%, came the *Behavioral risks*, which are the risks associated with the conduct of the individuals and were broken down in the graph in figure 4. This graph reinforces the high degree of importance of establishing and following rigorous procedures and avoiding distractions to prevent exposure to electric or additional risks. Although those are important to handling any substation they are more important for an educational substation where students with different level of maturity and incomplete knowledge of the equipment are present, as were also pointed out in Figure 4.



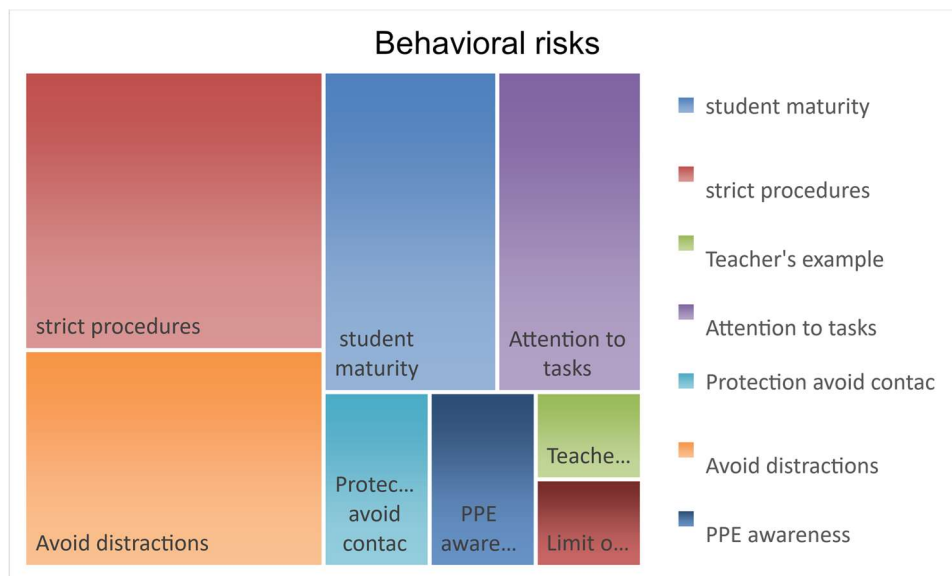


Figura 4 - Behavioral risk

## 4 CONCLUSION

This work relates to the identification and mapping of potential risk and mitigation measures for an educational 13.8 kV electrical substation. It was built for emulating real operating conditions, ensuring compliance with the legal and technical rules for carrying out operational, maintenance, and inspection activities with safety. Due to the peculiarity of the users, instructors and students, it requires additional security measures. The difficulty in finding specific literature on the topic of safety for an educational substation, led to the conduction of interviews with electrical professionals, professors and instructors with experience in this type of electrical installation. The results of the interviews allowed for the identification of relevant information to be considered in ensuring the safety of users of the high voltage educational substation. The need for prioritizing the development and ensuring compliance of specific procedures regarding electrical and additional risks as well as considering behavioral aspects were highlighted by the interviews.

## Acknowledgments

We thank the SENAI CIMATEC for access to the educational substation and the interviewed instructors and professionals for their invaluable contribution to this work.

## 5 REFERENCES

<sup>1</sup> PAULO DE OLIVEIRA FRONTIN (Brasília) (org.). **Equipamentos de Alta Tensão: prospecção e hierarquização de inovações tecnológicas**. Brasília: Goya Editora Ltda, 2013. 934 p.



<sup>2</sup> BRASIL. Constituição (2012). Resolução Normativa nº 479, de 03 de abril de 2012. **Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de Forma Atualizada e Consolidada**. Brasília, DF, 12 abr. 2012. p. 116-116.

<sup>3</sup> SILVA, Hudson Batista da. **Simulador de uma subestação elétrica para ensino de princípios básicos de eletricidades**. 2017. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017. Cap.6

<sup>4</sup> MAIA, Willian Felipe Silva; EKEL, Petr Iakovlevitch; COSTA JÚNIOR, Pyramo Pires da (ed.). AVALIAÇÃO DE RISCOS DE SUBESTAÇÕES PARA A PREVENÇÃO DE ACIDENTES:: análise de fatores contribuintes. **Anais do Xlviii Sbp: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. Vitória, p. 280-291. 27 set. 2016.

<sup>5</sup> RESENDE, Filipe Barcelos. **Proteção Elétrica em Subestações**: : uma abordagem sobre a energia incidente. 2016. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Cap. 8.

<sup>6</sup> TAVARES, Filipe André Maduro. **Aplicação Informática para Dimensionamento de Barramentos em Subestações**. 2015. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica e Automação, Engenharia Eletrotécnica de Energia e Automação, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2015. Cap. 6.

<sup>7</sup> ALMEIDA, V. C. (2011) **Sistema de Treinamento de Instruções de Operações Internas e Operação de Sistemas Elétricos baseado em um Ambiente Virtual de Aprendizagem**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação: PPGA – 462/11 Departamento Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 119p.

## 6 OTHER INFORMATION

a) Manuscripts and information included therein are the responsibility of the authors and may not represent the opinion of **VIII SIINTEC**.

b) The authors accept that **VIII SIINTEC** has full rights to the submitted manuscripts and may include them in the proceedings, print them and disclose them, without payment of any kind.

c) Manuscripts will be evaluated by reviewers invited by the Scientific Committee of the Event. Only accepted manuscripts can be presented and published at the event.

For additional clarifications, contact:

Organizing Committee of the Event - [siintec@fiab.org.br](mailto:siintec@fiab.org.br)

SENAI CIMATEC