

INSTITUTO FEDERAL

Paraíba

Campus João Pessoa

CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ANTONIO FELLIPHE CHIANCA LUCENA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM
SUBESTAÇÕES ABRIGADAS DE MÉDIA TENSÃO**

João Pessoa – PB
2023

ANTONIO FELLIPHE CHIANCA LUCENA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM SUBESTAÇÕES ABRIGADAS DE
MÉDIA TENSÃO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso Superior de Bacharelado
em Engenharia Elétrica do Instituto Federal da
Paraíba como parte dos requisitos necessários
para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Elétrica.*

Orientador:
Franklin Martins Pereira Pamplona, Dr.

João Pessoa – PB
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP
Biblioteca Nilo Peçanha – IFPB, *Campus* João Pessoa

L935i Lucena, Antonio Fellippe Chianca
A importância da manutenção preventiva em subestações abrigadas de média tensão / Antonio Fellippe Chianca Lucena . – 2023.
66 f. : il.
TCC (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal da Paraíba – IFPB. Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, 2023.
Orientador : Prof. Dr. Franklin Martins Pereira Pamplona.
1. Manutenção Preventiva. 2. Subestações elétricas. 3. Controle preventivo. 4. Manutenção industrial – Planejamento e controle. I. Título.
CDU 62-7:621.311.4

ANTONIO FELLIPHE CHIANCA LUCENA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM SUBESTAÇÕES ABRIGADAS DE
MÉDIA TENSÃO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso Superior de Bacharelado
em Engenharia Elétrica do Instituto Federal da
Paraíba como parte dos requisitos necessários
para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Elétrica.*

Trabalho Aprovado em 12 / 12 / 2023 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 FRANKLIN MARTINS PEREIRA PAMPLONA
Data: 27/12/2023 14:54:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Franklin Martins Pereira Pamplona, Dr.
Orientador, IFPB

Documento assinado digitalmente
 ALAN MELO NOBREGA
Data: 27/12/2023 11:25:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Alan Melo Nóbrega, Dr.
Examinador, IFPB

Documento assinado digitalmente
 JOSE ARTUR ALVES DIAS
Data: 27/12/2023 14:10:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

José Artur Alves Dias, Dr.
Examinador, IFPB

João Pessoa – PB
2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar a cada dia a oportunidade de viver.

A minha família, em especial nas figuras da minha mãe e de minha tia (*in memoriam*), por sempre me apoiarem e acreditarem em mim.

A minha namorada, Carol, por seu companheirismo, incentivo e amor depositados em mim.

Aos meus amigos de curso, por me ajudarem a enfrentar juntos, os desafios que a graduação promove.

Agradeço ainda aos docentes que influenciaram em minha jornada, especialmente ao meu professor orientador Franklin Pamplona, no qual eu espelho como referência de profissional.

Por último, mas não menos importante, agradeço ao IFPB, por me moldar como cidadão e ter dado a oportunidade de ensino com qualidade.

RESUMO

Neste trabalho são apresentados conceitos sobre a importância da atividade de manutenção preventiva em subestações elétricas abrigadas de média tensão, almejando obter o aumento da confiabilidade do sistema, e minimizar os custos indesejados com faltas e paradas inesperadas. O foco deste trabalho é auxiliar o setor de planejamento e controle de manutenção – PCM, das indústrias, na elaboração de planos de manutenção preventiva em subestações elétricas abrigadas. São abordados os principais equipamentos que compõem uma subestação, evidenciando ensaios, procedimentos e materiais utilizados na conservação dos equipamentos. Nesse contexto, será apresentado um estudo de caso, servindo de base para o entendimento prático dos processos. As normas técnicas da ABNT, normas de distribuição da concessionária e as normas regulamentadoras de segurança do trabalho serão referenciadas.

Palavras-chave: Subestação Elétrica, Manutenção Preventiva, Planejamento e Controle de Manutenção.

ABSTRACT

In this paper the concepts about the importance of preventive maintenance activities in costumers indoors medium-voltage electrical substations are presented, aiming to enhance system reliability and minimize unwanted costs associated with faults and unexpected shutdowns. The focus of this work is to assist the Maintenance Planning and Control (MPC) department of industries in developing preventive maintenance plans for electrical substations. It covers the main equipment comprising a substation, highlighting tests, procedures, and materials used for equipment maintenance. In this context, a case study will be showed, serving as a practical basis for understanding the processes. References will be made to the technical standards of ABNT, the distribution standard of the utility company, and occupational safety regulations.

Keywords: Electrical Substation, Preventive Maintenance, Maintenance Planning and Control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tipos de manutenções.....	16
Figura 2 - Cabine de medição e proteção abrigadas acima de 300 kVA – ramal aéreo .	19
Figura 3 - Cabine de medição e proteção abrigadas acima de 300 kVA – ramal subterrâneo	19
Figura 4 - Cabine de medição, proteção e transformação abrigadas acima de 300 kVA – ramal aéreo.....	20
Figura 5 - Cabine de medição, proteção e transformação abrigadas acima de 300 kVA – ramal subterrâneo.....	20
Figura 6 - Camadas de um cabo de MT.....	21
Figura 7 - Para-raios polimérico.....	22
Figura 8 - Disjuntor de média tensão a vácuo modelo VD4/R.....	24
Figura 9 - Transformador de potência 1000 kVA	25
Figura 10 - Desenergização dos disjuntores secundários de MT	30
Figura 11 - Chave faca aberta no ponto de entrega.....	31
Figura 12 - Piso da subestação de consumidor industrial.....	33
Figura 13 - Esquema de ligação para o ensaio de medição de resistência de isolamento em para-raios.....	34
Figura 14 - Ponto quente identificado em conexão de barramento elétrico	35
Figura 15 - Instrumento Hipot tester	36
Figura 16 - Fusível HH da chave seccionadora 13,8 kV	38
Figura 17 - Prateamento em barramentos de BT de cobre	39
Figura 18 - Ligação de grade de cubículo de transformação ao barramento aterrado....	40
Figura 19 - Esquema de ligação para ensaio de resistência de isolamento em disjuntor MT	41
Figura 20 - Esquema de ligação para ensaio de resistência de contato em disjuntor MT	42
Figura 21 - Relé de proteção URP 1439.....	43
Figura 22 - Relé de temperatura do trafo a seco modelo MT 300.....	45
Figura 23 - Reaperto das conexões em trafo a seco 2 MVA WEG.....	45
Figura 24 - Ensaio de medição da resistência de isolamento em trafo 1000 kVA ABB	46
Figura 25 - Ensaio de medição da resistência dos enrolamentos em trafo 1000 kVA ABB	47

Figura 26 - Ponto quente detectado em imagem termográfica.....	49
Figura 27 - Inspeção termográfica em transformador de potência.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRACOPEL – Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

APR – Análise preliminar de risco

ART – Anotação de Responsabilidade Técnica

AT – Alta tensão

BT – Baixa tensão

CA – Corrente alternada

CA – Corrente contínua

CLT – Consolidação das Leis do Trabalho

EPC – Equipamento de proteção coletiva

EPI – Equipamento de Proteção Individual

EPR – Etileno propileno

LT – Linha de transmissão

MPC – Maintenance Planning and Control

MT – Média tensão

NBR – Normas Brasileiras

NDU – Norma de Distribuição Unificada

NR – Normas Regulamentadoras

OS – Ordem de serviço

PCM – Planejamento e Controle da Manutenção

PIE – Projeto das Instalações Elétricas

PTR – Permissão de trabalho

PVC – Cloreto de polivinila

SE – Subestação elétrica

SEP – Sistema elétrico de potência

SESMT – Serviço Especializado de Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho

TC – Transformador de corrente

TP – Transformador de potencial

TTR – *Transformer Turns Ratio*

UC – Unidade consumidora

XLPE – Polietileno

SUMÁRIO

1	Introdução	12
1.1	Motivação	13
1.2	Estrutura do trabalho.....	13
2	Embasamento Teórico	14
2.1	Manutenção Industrial	14
2.2	Planejamento e Controle da Manutenção	16
2.2.1	Ordem de Serviço.....	16
2.2.2	Plano de Manutenção	17
2.3	Subestações elétricas.....	17
2.3.1	Equipamentos de uma subestação abrigada	21
2.3.1.1	Ramal de ligação	21
2.3.1.2	Cabo elétrico em média tensão.....	21
2.3.1.3	Mufla terminal	22
2.3.1.4	Barramento de média tensão.....	22
2.3.1.5	Para-raios	22
2.3.1.6	Relé de proteção	22
2.3.1.7	Chave fusível	23
2.3.1.8	Chave seccionadora	23
2.3.1.9	Disjuntor de média tensão	23
2.3.1.10	Transformadores para instrumentos	24
2.3.1.11	Transformador de potência.....	25
2.3.1.12	Painéis elétricos	26
2.3.1.13	Sistema de aterramento.....	26
3	Metodologia.....	27
3.1	Manutenção preventiva nos equipamentos da subestação	28
3.1.1	Procedimento de segurança para manutenção da subestação.....	29
3.1.2	Riscos potenciais e mitigatórios.....	31
3.1.3	Manutenção, ensaios, limpeza e inspeções visuais dos equipamentos	32
3.1.3.1	Manutenção no piso da subestação.....	33
3.1.3.2	Manutenção em para-raios polimérico	34
3.1.3.3	Manutenção em mufla terminal.....	34
3.1.3.4	Manutenção em barramento de média tensão.....	35
3.1.3.5	Manutenção no cabeamento de média tensão.....	36
3.1.3.6	Manutenção na chave seccionadora	37

3.1.3.7	Manutenção nos painéis elétricos	38
3.1.3.8	Manutenção no sistema de aterramento.....	39
3.1.3.9	Manutenção no disjuntor de média tensão	40
3.1.3.10	Manutenção no relé de proteção.....	43
3.1.3.11	Manutenção no transformador de potência a seco.....	43
3.1.3.12	Manutenção nos transformadores de instrumentos	47
3.1.3.13	Manutenção em demais pontos da subestação	48
3.1.3.14	Reenergização da subestação.....	48
3.2	Manutenção preditiva nos equipamentos da subestação – termografia.....	49
4	Considerações Finais	51
	Referências Bibliográficas.....	52
	Anexos.....	55

1 INTRODUÇÃO

As evoluções nos métodos de transmissão e distribuição da eletricidade, no século passado, desencadearam um processo irreversível na sociedade contemporânea, gerando uma dependência intrínseca para a eficiência e harmonia no desempenhar das interações humanas. Uma mínima falta no fornecimento de energia elétrica, pode acarretar incômodos e graves prejuízos, seja a uma residência familiar, ou até mesmo a uma indústria.

Carregando um papel fundamental na infraestrutura das instalações elétricas, as subestações elétricas (SE) operam como pilares para a distribuição e controle das redes de energia elétrica. Reunindo um conjunto de equipamentos de manobra e transformação de energia, utilizados para controlar o fluxo de potência, modificar níveis de tensões e correntes, e ainda garantir a proteção do sistema. A eficácia e confiabilidade dessas instalações garantem um fornecimento de eletricidade ininterrupto e seguro às comunidades e indústrias. Para tal, um ajustado plano de manutenção preventiva das instalações de uma SE deve ser executado periodicamente.

Segundo Pinto e Xavier (1998), a manutenção no sistema elétrico, de modo geral, é agrupada em três principais tipos de manutenções: corretiva; preditiva e; preventiva. A manutenção preventiva é baseada em planejamentos práticos e sistêmicos destinando-se a prevenir falhas antes da ocorrência (KARDEC, 2009). Trata-se de uma abordagem econômica a longo prazo, evitando a quebra e inatividade de equipamentos, que podem gerar prejuízos às partes interessadas.

Esta monografia se propõe explorar a importância da manutenção preventiva e sua aplicação específica em subestações abrigadas de média tensão, com o objetivo de contribuir para melhoria na confiabilidade e estabilidade na infraestrutura elétrica. Ao longo deste trabalho, serão analisadas as técnicas, as estratégias e os benefícios associados à implementação de um programa de manutenção preventiva eficaz. Além disso, serão discutidos procedimentos de segurança, normas técnicas – que serão constantemente citadas –, modelos de testes de ensaios e melhores práticas existentes no contexto da manutenção.

1.1 MOTIVAÇÃO

A escolha do tema surgiu em decorrência de uma experiência vivenciada no setor de manutenção de uma indústria alimentícia. Dentre os mais variados tipos de maquinários e equipamentos englobados nas atividades de manutenção, estão inclusas as subestações elétricas, que inevitavelmente têm, com frequência, seus planos de manutenção preventiva adiados. Ora por motivos de segurança, devido a impossibilidade de desenergização em períodos chuvosos, ora por motivos de priorização na continuidade das atividades produtivas. Ressalta-se que a manutenção industrial, tem como o seu principal cliente, a produção industrial, sendo responsável por suprir suas demandas. De acordo com Moubray (1997), o setor de manutenção tem papel fundamental, devido a considerável influência na produtividade e em consequência na lucratividade de uma indústria.

Nesse contexto, torna-se necessário estabelecer o Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) de uma subestação industrial. O PCM consiste em uma metodologia que tem por objetivo garantir a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos da planta industrial (DORIGO; NASCIF, 2010).

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

A ordem de exposição dos temas neste trabalho é estruturada para tornar mais acessível a compreensão do leitor sobre os tópicos discutidos. O trabalho foi elaborado em quatro capítulos.

O primeiro capítulo, apresenta a introdução, contendo os aspectos gerais, os objetivos, motivação e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo, contém os tópicos essenciais ao desenvolvimento do arcabouço teórico do trabalho.

O terceiro capítulo, expõe a metodologia utilizada, onde é descrito o estudo de caso, com os procedimentos práticos de manutenção preventiva.

O trabalho finaliza no quarto capítulo, com o encaminhamento das considerações finais.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Neste capítulo, apresenta-se de forma concisa o lastro técnico que é importante para a compreensão do objetivo deste trabalho.

2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Segundo a ABNT (1994, p. 6), "a manutenção industrial, é definida por uma combinação de ações técnicas e administrativas que são implantadas, visando garantir a disponibilidade de máquinas, equipamentos e utilidades para utilização pela produção". Procura ainda, garantir a eficiência e segurança na execução de suas atividades. Derivada do latim *manus tenere*, que significa manter o que se tem, a manutenção está presente na história humana há eras, desde o momento em que começamos a manusear instrumentos de produção (VIANA, 2002). Sendo assim, ao conservar ou reparar um equipamento, máquina ou sistema, objetiva-se aumentar sua vida útil em decorrência das falhas.

Na busca por competitividade e excelência operacional, a manutenção industrial assume um papel estratégico de muita valia nas organizações. Sendo responsável diretamente pela disponibilidade dos ativos, torna-se de grande importância nos resultados, sendo estes tão melhores quanto mais eficaz for a gestão da manutenção industrial.

De forma geral, destacam-se três tipos de manutenções no setor da indústria:

- **Manutenção Corretiva**

Atuante em intervenções que só ocorrem após o equipamento falhar na execução de suas atividades programadas, apresentando um mau funcionamento ou mesmo uma quebra (ABNT, 1994). Tem caráter planejado ou não-planejado, sendo o segundo caso o mais crítico. Segundo Branco Filho (2008, p. 7):

As manutenções corretivas programadas, são tarefas de remoção de falhas em data posterior ao evento da falha, ficando a máquina em estado de pane, até a data do reparo. A manutenção corretiva de emergência, ocorre quando o equipamento quebra de forma inesperada e, sua manutenção não pode ser adiada para data posterior, ou programada.

A manutenção corretiva, tende a interromper a produção e gerar gastos maiores em comparação as demais, vide a reposição emergencial de peças.

- **Manutenção Preventiva**

Segundo Milasch (1984), a manutenção preventiva, é definida por todo serviço previamente planejado a fim de controlar, conservar e reparar equipamentos. Mantendo-os em condições favoráveis para sua perfeita operação. É desempenhada de forma a evitar paradas não desejadas, na busca por reduzir ou evitar falhas, quebras ou quedas de índices de desempenhos da produção. Sua principal função é evitar o desperdício de capital financeiro e humano, além do tempo empenhado nas manutenções corretivas. De acordo com Branco Filho (2008), as manutenções preventivas podem ser subdivididas em: manutenções preventivas sistemáticas e condicionais. A primeira, são trabalhos que obedecem a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo. Já as baseadas por condição, ocorrem quando o equipamento apresenta um baixo desempenho, logo não há periodicidade estabelecida.

- **Manutenção Preditiva**

Indica as condições reais de funcionamento das máquinas, com base em dados amostrais colhidos por meio de análise nos equipamentos. Essa informação indica desgastes ou processo de degradação de componentes e maquinários. Através disso, é possível estabelecer uma previsibilidade do funcionamento dos equipamentos, direcionando a realização de manutenções preventivas condicionais, assim que possíveis falhas são apontadas. Ainda segundo Viana (2002), a manutenção preditiva, trata-se daquela que prediz o tempo de vida útil e as condições do ativo, para que esse tempo seja mais bem aproveitado.

Na Figura 1 as informações sobre os principais tipos de manutenções industriais são condensadas.

Figura 1 - Tipos de manutenções



Fonte: Adaptado de Branco Filho (2008)

2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO

Segundo Branco Filho (2008), o PCM, é um conjunto de ações para preparar, programar e verificar o resultado da execução das tarefas de manutenção, comparando valores preestabelecidos e adotando medidas de correção de desvios para a consecução dos objetivos. Tem na figura central o programador de manutenção, que junto à gestão de manutenção, tem parte do seu escopo de trabalho no gerenciamento dos recursos financeiros, materiais e humanos; no processamento das ordens de serviço (OS); elaboração dos planos de manutenção; monitoramento dos indicadores de manutenção.

2.2.1 ORDEM DE SERVIÇO

É a instrução escrita, enviada via documento eletrônico ou em papel, que define um trabalho a ser executado pelos funcionários do setor de manutenção (VIANA, 2002). Estas solicitações estão associadas a falha ou defeito num processo ou máquina, ou ainda oriundas de programas de manutenção preventiva e modificações. Para Branco Filho (2008), a OS deverá explicitar sempre: o que deve ser feito; onde será feito; como será feito; quando será feito e; por quem será feito. Um exemplo de ordem de serviço pode ser observado nos Anexos A e B.

2.2.2 PLANO DE MANUTENÇÃO

Para Moura Júnior (apud XENOS, 2004), “o plano de manutenção é a base do gerenciamento do departamento de manutenção. Uma vez elaborado, é possível dimensionar os recursos de mão-de-obra e materiais de modo a atender exatamente as necessidades de manutenção dos equipamentos”. De posse dos manuais e recomendações dos fabricantes dos equipamentos, e experiência da equipe de manutenção, os planos de manutenções são elaborados e continuamente revisados. Os resultados das inspeções e trocas de componentes dos maquinários, guiam a elaboração e revisão periódica desses planos. Segundo Viana (2002), em um plano de manutenção deve constar as seguintes informações: título; grupo do maquinário a ser atendido; periodicidade de realização do plano; data de *start up* do plano; especialidade da equipe; programador responsável e; materiais, equipamentos de proteção individual (EPI) e ferramentas a serem utilizadas.

2.3 SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS

A subestação elétrica, pode ser definida como “parte do sistema de potência que compreende os dispositivos de manobra, controle, proteção, transformação e demais equipamentos, condutores e acessórios, abrangendo as obras civis e estruturas de montagem” (ANEEL, 2021 p. 9).

Há diversas classificações que podem ser feitas para os mais variados tipos de SEs. De acordo com Gebran (2014), é possível citar a divisão por níveis de tensão:

- Baixa tensão (BT): até 1 kV;
- Média tensão (MT): 1 ~ 66 kV;
- Alta tensão (AT): 66 ~ 230 kV;
- Extra-alta tensão: 230 ~ 800 kV;
- Ultra-alta tensão: acima de 800 kV.

Também é possível citar a classificação em relação a relação de entrada e saída de tensão:

- SE de manobra: modifica a configuração de interligações entre linhas de transmissão (LT);
- SE elevadora: eleva a tensão de saída, reduzindo a corrente de saída, diminuindo a seção dos condutores das LTs e as perdas de transmissão;
- SE abaixadora: reduz a tensão de saída, visando aumentar a segurança da população ao redor das LTs, e ainda, diminuir os campos magnéticos;

- SE conversora: realiza a conversão entre correntes alternadas (CA) e correntes contínuas (CC) e vice-versa.

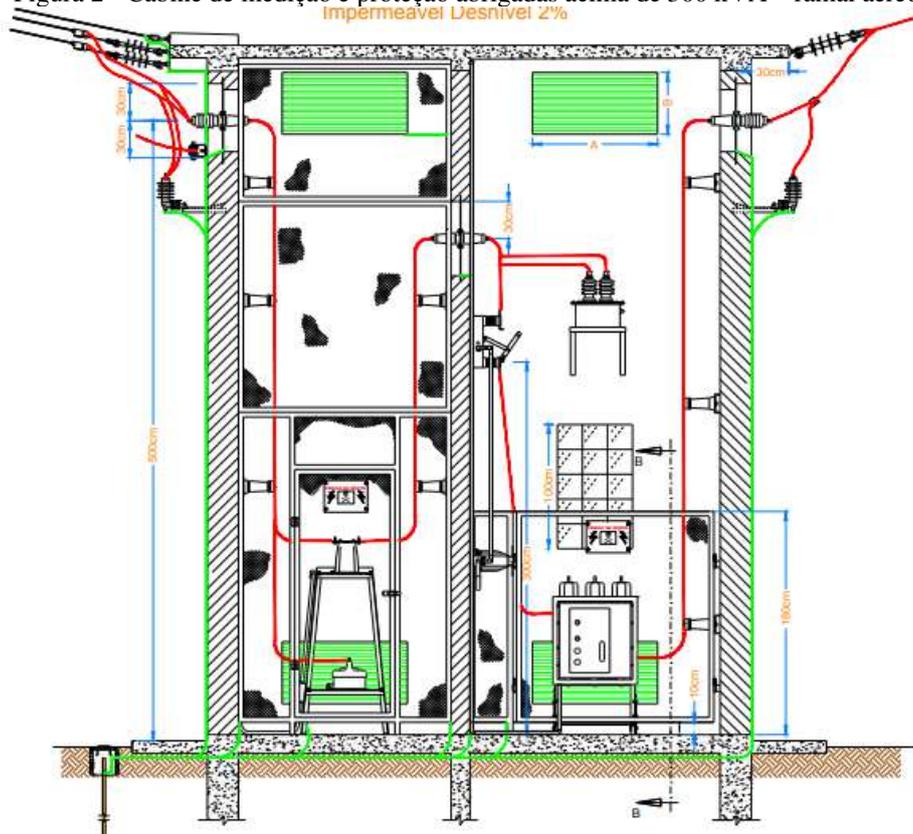
Àquelas que desempenham uma função específica no sistema elétrico, classificam-se em:

- SE de transmissão: transporta a energia elétrica em LTs por longas distâncias, com altos níveis de tensão;
- SE de subtransmissão: transporta a energia das SEs de transformação para as SE de distribuição;
- SE de distribuição: recebe energias das LTs de subtransmissão e disponibiliza às linhas de distribuição, com o abaixamento das tensões;
- SE de consumidor: pertence a uma determinada unidade consumidora (UC) particular.

Segundo Barros e Gedra (2009), a UC que opta pelo recebimento de energia elétrica em MT/AT, deverá se encarregar com a construção da infraestrutura de recebimento e transformação. Torna-se necessário, então, uma SE composta por equipamentos e acessórios, responsáveis pela transformação, proteção e medição da energia elétrica.

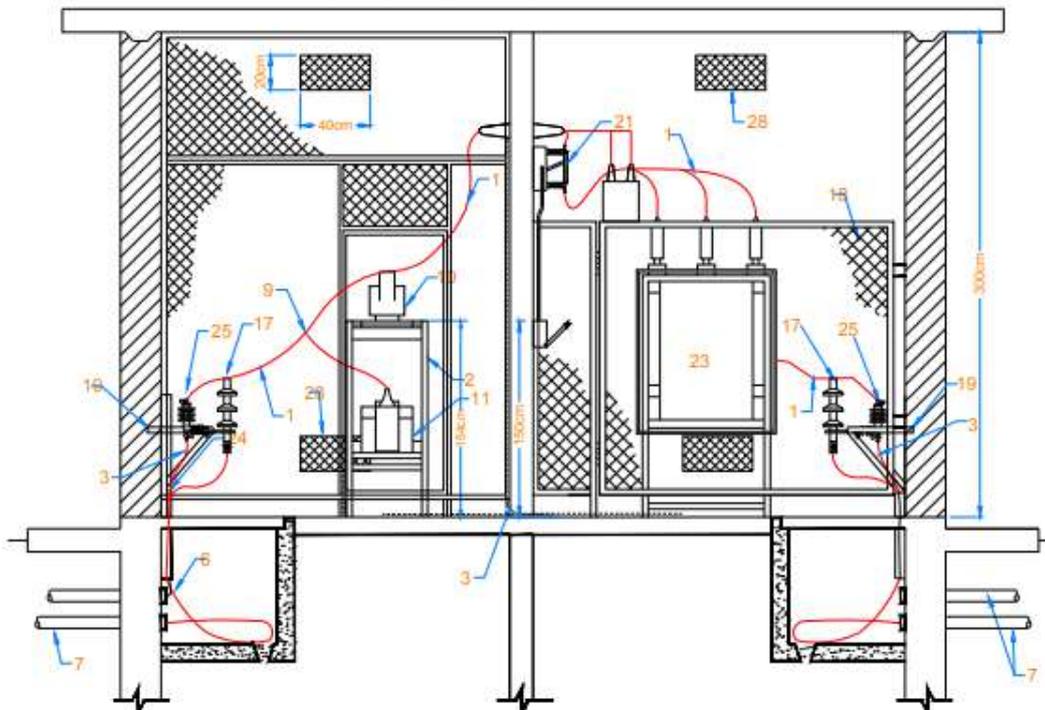
O grupo Energisa, responsável pela distribuição e comissionamento de energia elétrica no estado da Paraíba, através da sua Norma de Distribuição Unificada número 002 (NDU-002), que rege o fornecimento de energia elétrica em tensão primária, considera a existência de quatro tipos de SEs em uma instalação elétrica, sendo: blindada; aérea; ao tempo e; abrigada. Esta última, o objeto de estudo deste trabalho. Considerando um ambiente de uma indústria de médio porte, com recebimento de tensão primária em 13,8 kV e com potência instalada acima de 300 kVA, a concessionária disponibiliza de quatro modelos de cabines primárias abrigadas, para atendimento a UC em média tensão. Nas Figuras 2 e 3 são exemplificados modelos de SE, construídos em alvenaria, com sistemas de medição e proteção abrigadas, e ramais de entradas aéreos e subterrâneos, respectivamente. A medição de energia consumida é realizada a três elementos de fase em MT. O sistema de proteção é formado por disjuntor e relés de proteção em MT. O sistema de transformação ocorre logo após o cubículo de proteção, em um transformador no interior da UC.

Figura 2 - Cabine de medição e proteção abrigadas acima de 300 kVA – ramal aéreo



Fonte: Energisa (2019)

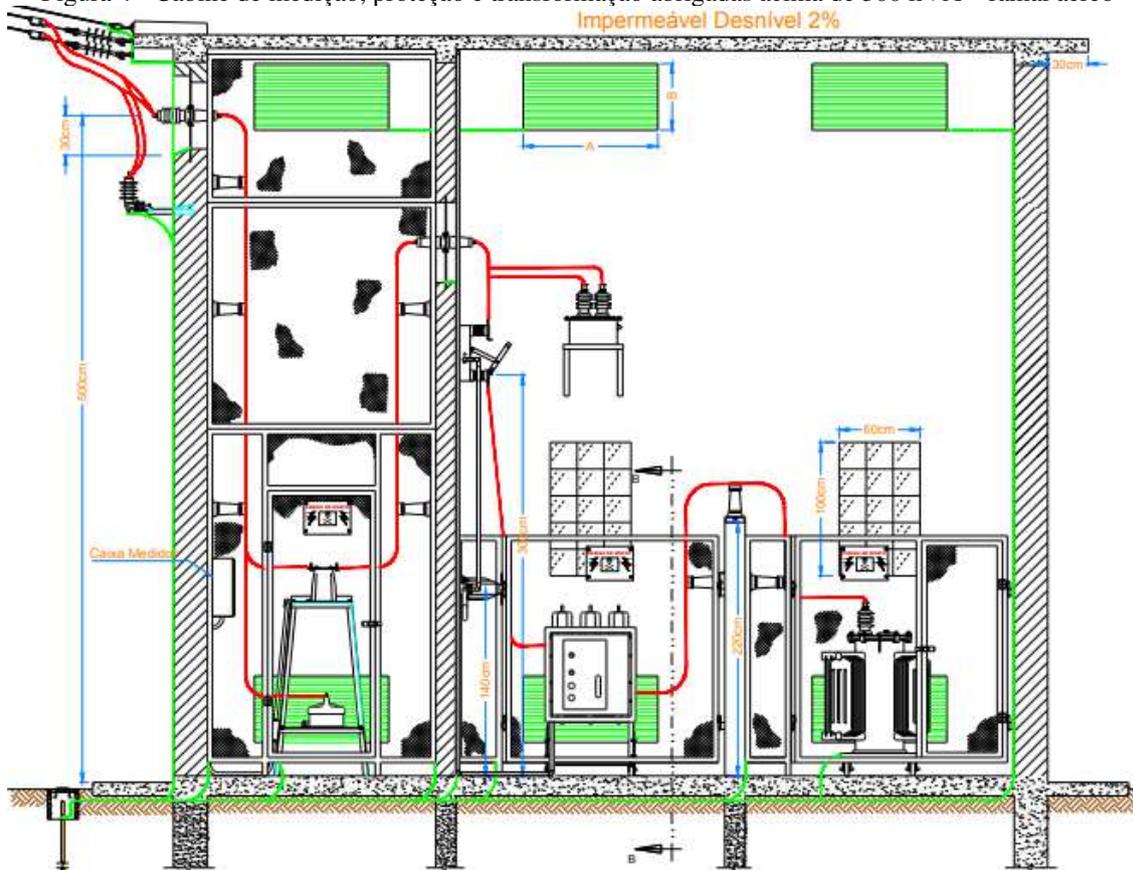
Figura 3 - Cabine de medição e proteção abrigadas acima de 300 kVA – ramal subterrâneo



Fonte: Energisa (2019)

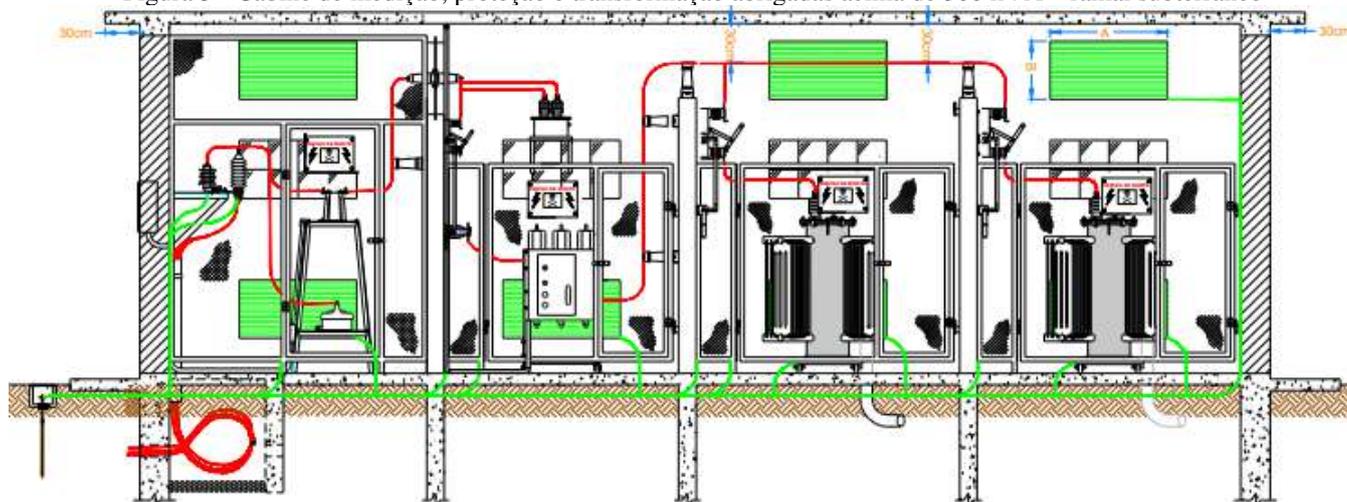
Nas Figuras 4 e 5 é indicado um sistema com a transformação de energia elétrica entre média e baixa tensão sendo realizada com o cubículo do transformador abrigado. A SE é construída em alvenaria, com os cubículos de medição e proteção também abrigados. Os ramais de entrada podem ser aéreos e subterrâneos, respectivamente.

Figura 4 - Cabine de medição, proteção e transformação abrigadas acima de 300 kVA – ramal aéreo



Fonte: Energisa (2019)

Figura 5 - Cabine de medição, proteção e transformação abrigadas acima de 300 kVA – ramal subterrâneo



Fonte: Energisa (2019)

2.3.1 EQUIPAMENTOS DE UMA SUBESTAÇÃO ABRIGADA

Por definição, uma subestação elétrica é intrinsecamente um sistema composto por diversos componentes que operam de forma coordenada. A seguir, serão mencionados alguns dos equipamentos essenciais encontrados em uma SE de consumidor industrial de média tensão.

2.3.1.1 RAMAL DE LIGAÇÃO

“Conjunto de condutores e acessórios instalados pela distribuidora entre o ponto de derivação de sua rede e o ponto de entrega” (ENERGISA, 2019, p. 12).

O ramal de ligação pode ser de dois tipos: entrada de energia aérea ou; entrada subterrânea.

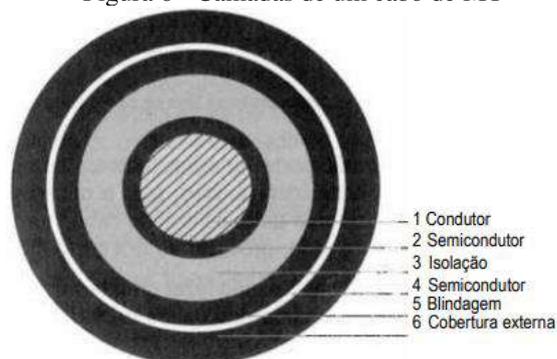
2.3.1.2 CABO ELÉTRICO ISOLADO EM MÉDIA TENSÃO

Elemento condutor flexível isolado, que realiza a condução da corrente elétrica entre os dispositivos conectados.

Têm características diferentes dos cabos de BT. São constituídos de um condutor central em cobre ou alumínio. Logo ao redor, há uma camada de fita semicondutora. Após, possui a camada isolante, em materiais como cloreto de polivinila (PVC), polietileno (XLPE) ou em etileno propileno (EPR). Em volta da isolação, há outra camada em material semicondutor, depois, consta a blindagem – que interligada a malha de aterramento –, e por último a proteção de borracha.

Um cabo de MT, não pode ser emendado da mesma forma que um cabo de BT, pois quando decapado, a parte condutora do cabo ficaria muito próxima da blindagem, provocando um curto-circuito fase-terra. Torna-se necessário o uso de muflas. Na Figura 6 é evidenciado melhor as seções de um cabo elétrico em média tensão.

Figura 6 - Camadas de um cabo de MT



Fonte: Barros e Gedra (2009)

2.3.1.3 MUFLA TERMINAL

Elemento terminal destinado a restabelecer a isolação da extremidade de um cabo isolado a outro cabo isolado ou a um condutor sem isolação.

2.3.1.4 BARRAMENTO DE MÉDIA TENSÃO

Condutor rígido, identificado por cores padronizadas, no qual são interligados equipamentos.

2.3.1.5 PARA-RAIOS

Dispositivo responsável por proteger equipamentos contra surtos transitórios de tensão, de origem externa, como as descargas atmosféricas; ou de origem interna, como manobras e chaveamentos (BARROS; GEDRA, 2009). Na Figura 7 é visto um exemplo de para-raios polimérico, um dos tipos mais empregados em uma subestação abrigada.

Figura 7 - Para-raios polimérico



Fonte: Barros e Gedra (2009)

2.3.1.6 RELÉ DE PROTEÇÃO

Dispositivo que opera em conjunto com o disjuntor, oferecendo proteção e isolando partes do circuito em caso de falhas. Sem o relé, o disjuntor funciona apenas como dispositivo de manobra, sem qualquer sistema de proteção.

2.3.1.7 CHAVE FUSÍVEL

Possui tanto a função de seccionamento do circuito sem carga, quanto de proteção na ocorrência de curto-circuito ou sobrecorrentes. Segundo Barros e Gedra (2009), não é comum encontrar essa chave dentro das SEs de consumidores, ficando a instalação à cargo da concessionária de energia, no ramal de derivação a entrada de energia.

2.3.1.8 CHAVE SECCIONADORA

Dispositivo mecânico que realiza manobras de abertura ou fechamento de um circuito. São geralmente trifásicas, atuando em um único comando. Não operam sob carga. Em condições normais, conduz a corrente nominal do circuito, suportando condições de curto-circuito, sob certo período.

2.3.1.9 DISJUNTOR DE MÉDIA TENSÃO

Para Morán (2005), os disjuntores, em conjunto com os relés, são componentes fundamentais para a proteção do sistema, embora sejam acionados esporadicamente. Eles são responsáveis por interromper correntes de curto-circuito elevadas, suportando consideráveis esforços térmicos e eletromagnéticos.

A principal função do disjuntor de MT é eliminar o arco elétrico, que é a passagem de corrente elétrica através do ar ou meio isolante. Esse fenômeno ocorre principalmente quando os contatos do disjuntor são abertos, gerando altas temperaturas e uma forte onda, semelhante a uma explosão. A intensidade do arco elétrico depende da corrente que flui pelo circuito e do tempo de abertura dos contatos.

Para evitar o desgaste dos contatos a cada abertura, os disjuntores de média tensão são equipados com uma câmara de extinção de arco. Há uma variedade de tecnologias empregadas para efetuar a extinção do arco, sendo exatamente isso que define o modelo do disjuntor (BARROS; GEDRA, 2009). Na Figura 8 é exemplificado um disjuntor modelo a vácuo, um dos mais empregados em SE de média tensão abrigadas.

Figura 8 - Disjuntor de média tensão a vácuo modelo VD4/R



Fonte: Cortesia ABB (2015)

2.3.1.10 TRANSFORMADORES PARA INSTRUMENTOS

Para que a concessionária de energia possa efetuar o faturamento adequado da UC e para garantir que os dispositivos de proteção desempenhem suas funções corretamente, é essencial instalar transformadores de corrente (TC) e transformadores de potencial (TP). Isso se deve à inadequação de isolamento para conexões em tensões elevadas. Com a redução da corrente e tensão elétrica para valores padronizados, os instrumentos podem ser conectados a relés de proteção ou a medidores de consumo (BARROS; GEDRA, 2008).

Conforme informações da Energisa (2019), os TCs e TPs são fornecidos pela concessionária. A responsabilidade de efetuar as adaptações necessárias nas bases, condutores e terminais fica a cargo do cliente.

Ainda de acordo com Barros e Gedra (apud ABNT, 1992), os valores nominais de saída nos secundários dos TPs e TCs são padronizados. Seja a corrente de saída em 5 A, para os TCs, e tensão secundária nominal em 115 V ou $115/3$ V ou $115/\sqrt{3}$ V, para os TPs. As normas NBR 6855¹ e 6856², são responsáveis por adotar os critérios para esses equipamentos.

¹ Norma para Transformador de potencial indutivo com isolamento sólida para tensão máxima igual ou inferior a 52 kV - Especificação e ensaios.

² Norma para Transformador de corrente com isolamento sólida para tensão máxima igual ou inferior a 52 kV - Especificação e ensaios.

2.3.1.11 TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA

Os transformadores de potência, são máquinas estáticas que operam através da indução eletromagnética, podendo reduzir ou elevar os valores de tensão e corrente elétrica de um circuito. O transformador pode ser considerado o coração de uma subestação.

Em geral, os transformadores em subestações de consumidores desempenham o papel de rebaixar a tensão. Seus enrolamentos primários são alimentados com tensão primária, também conhecida como lado de alta do transformador, e fornecem tensão secundária nos enrolamentos secundários, ou lado de baixa do transformador, ajustada aos níveis necessários para os equipamentos em uso.

De acordo com Barros e Gedra (2008), existem dois tipos de transformadores comumente aplicados em subestações. O primeiro utiliza refrigeração a óleo, enquanto o segundo é um transformador a seco. O óleo desempenha funções isolantes e de resfriamento nas bobinas do transformador, enquanto no transformador a seco, as bobinas são revestidas com resina epóxi, para proporcionar isolamento, e o resfriamento é realizado pelo ar circulante. Na Figura 9 é apresentado um exemplo de transformador a seco utilizado em instalações industriais.

Figura 9 - Transformador de potência 1000 kVA



Fonte: Autoria própria

2.3.1.12 PAINÉIS ELÉTRICOS

Os painéis elétricos, são compartimentos metálicos designados a abrigar desde cabos, barramentos a sistemas de proteção e sistemas de acionamento de equipamentos. Segundo Morán (2005), uma falha ou mau contato em um painel elétrico pode causar desde uma parada na operação de uma fábrica, ou até mesmo um incêndio.

Em indústrias de grande porte, é frequente encontrar mais de uma subestação para aproximar o sistema de transformação das cargas. Nessas subestações, é comum que os relés de proteção e os comandos elétricos dos disjuntores de média tensão, incluindo manoplas e botoeiras, sejam instalados em painéis elétricos. Estes painéis estão posicionados fora do cubículo de proteção, mas ainda dentro da área da subestação (BARROS; GEDRA, 2009).

2.3.1.13 SISTEMA DE ATERRAMENTO

De acordo com a Energisa (2019), o sistema de aterramento é o conjunto de condutores, que executa a equipotencialização de uma instalação, com a finalidade de reduzir o valor da resistência de aterramento a níveis recomendados.

O objetivo do sistema de aterramento é promover proteção humana e patrimonial aos equipamentos da subestação. Dessa forma, a malha de aterramento de uma SE é formada por eletrodos de cobre e um conjunto de condutores em cobre nu e seus acessórios de conexões, que interligados, estão em contato com o solo.

3 METODOLOGIA

Em continuidade ao explanado anteriormente, neste capítulo serão abordados os métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. A metodologia adotada consistiu em um estudo de caso que envolveu a programação de uma rotina de manutenção preventiva em uma subestação abrigada de média tensão, pertencente a um consumidor industrial. As instalações dessa SE são partes integrantes das edificações da operação fabril, distintivamente do que é usual encontrar, com instalações anexas.

Por estar localizada em uma região litorânea, a menos de 500 metros do mar, a subestação estudada sofre bastante a incidência de fadiga precoce em seus componentes, devido ao nível de umidade e salinidade do ar ambiente. Ela é abastecida por três transformadores a seco, sendo dois transformadores com potências de 1000 kVA, e o outro com potência de 2 MVA. Seguindo o plano de manutenção desses ativos, e levando em consideração que os transformadores, são os ativos de maior custo financeiro da subestação, é definida a programação de duas manutenções preventivas gerais ao ano. Ou seja, uma periodicidade definida a cada seis meses. Segundo a ABNT (2022), na NBR 17048³, informa que as manutenções devem ocorrer ao menos uma vez ao ano.

A intervenção não deve durar mais que um dia comercial de trabalho (12 horas), para não comprometer a rentabilidade da produção industrial. Por isso, para a realização da atividade, há a necessidade de programação prévia junto a concessionária, agendando uma data para o desligamento, no ponto de entrega de energia a unidade consumidora. O setor de PCM da indústria, fica ainda incumbido por montar a equipe de manutenção que intervirá, além disso, contratar uma equipe externa, de uma empresa privada, ficando responsável por dar apoio, e realizar os ensaios técnicos dos equipamentos, com emissão dos laudos técnicos. As intervenções deverão serem realizadas com a elaboração das OS, conforme diretrizes da NR-10 (2019) – Norma Regulamentadora⁴, a qual garante a saúde e segurança dos trabalhadores que interagem com eletricidade. Foi elaborada pelo Ministério do Trabalho e Emprego –, nos itens 10.7.4 e 10.11.2.

³ Norma para Recebimento, armazenagem, instalação e manutenção de transformadores de potência do tipo seco, com tensão até 36,2 kV.

⁴ As Normas Regulamentadoras (NR) relacionadas à segurança e saúde no trabalho devem ser estritamente seguidas por organizações privadas e públicas, bem como por órgãos governamentais e entidades dos poderes Legislativo e Judiciário, desde que possuam colaboradores regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). Disponível em: [Normas Regulamentadoras - NR — Ministério do Trabalho e Emprego \(www.gov.br\)](http://www.gov.br).

Acesso em: 10/10/2023.

10.7.4 Todo trabalho em instalações elétricas energizadas em AT, bem como aquelas que interajam com o SEP, somente pode ser realizado mediante ordem de serviço específica para ata e local, assinada por superior responsável pela área.

10.11.2 Os serviços em instalações elétricas devem ser precedidos de ordens de serviço específicas, aprovadas por trabalhador autorizado, contendo, no mínimo, o tipo, a data, o local e as referências aos procedimentos de trabalho a serem adotados.

Somente profissionais qualificados, habilitados, capacitados e autorizados, são admitidos a operar em instalações de média de tensão (ABNT, 2021). Além do treinamento básico em NR-10, essas pessoas ainda deverão realizar o curso complementar, conhecido por NR-10 SEP (Sistema elétrico de potência). Equipamentos de proteção coletiva e individual (EPC e EPI) apropriados ao trabalho em MT, devem ser utilizados nas operações, conforme NR-06⁵. Cabe a empresa terceirizada contratada, a emissão da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) e dos laudos dos ensaios técnicos e certificações dos EPCs/EPIs utilizados, que serão registrados no Prontuário de Instalações Elétricas (PIE)⁶, pertencente a empresa contratante, conforme item 10.2.5, da NR-10.

3.1 MANUTENÇÃO PREVENTIVA NOS EQUIPAMENTOS DA SUBESTAÇÃO

Sendo a subestação elétrica um ativo de alta criticidade para o funcionamento de qualquer planta industrial, a manutenção preventiva visa manter uma condição satisfatória de funcionamento, atenuando a probabilidade de falhas que causariam a parada da produção industrial. Dentre as falhas mais comuns que possam ser evitadas, estão:

- Mau contato nas conexões elétricas, oriundo da frouxidão, provocado por vibrações;
- Presença de descargas parciais no isolamento dos equipamentos, com formação de trilhamento elétrico e efeito corona, acarretando perdas na resistência de isolamento;

⁵ Norma Regulamentadora nº06, que regulamenta a execução do trabalho com uso de equipamentos de proteção individual.

⁶ Conjunto de documentos pertinentes às instalações elétricas e aos trabalhadores, que reúnem o sistema de procedimentos, ações, documentações e programas de uma organização com carga superior instalada a 75 kW.

- Funcionamento anormal de mecanismos de manobras e acionamento;
- Falta ou deterioração do óleo isolante em transformadores, reduzindo a rigidez dielétrica do material, causando arcos e descargas parciais;
- Acúmulo de poeira, poluição e demais detritos que possam causar mau funcionamento ou curtos-circuitos de equipamentos etc.

3.1.1 PROCEDIMENTO DE SEGURANÇA PARA MANUTENÇÃO DA SUBESTAÇÃO

De acordo com a ABRACOPEL (2023), somente no primeiro semestre de 2023, foram registrados 350 acidentes fatais envolvendo choques elétricos.

Nesse contexto, a execução do trabalho de manutenção preventiva nas subestações, são orientadas através de prescrições de segurança que envolvem medidas preventivas baseadas na NBR 14039⁷ e NR-10, conforme item 10.5.1⁸. Essas medidas de segurança estão descritas nos planos de manutenção e são distribuídos por meio dos documentos das ordens de serviço. Sequencialmente a verificação desses riscos potenciais consistem na primeira atividade a ser realizada no plano. As atividades e prescrições de segurança estabelecidas de manutenção preventiva consistem nas seguintes etapas:

- i. Planejamento prévio das equipes de trabalho, separação de EPIs e EPCs, separação do ferramental, e ainda realizar a comunicação das partes envolvidas;
 - a. Comunicação a todos setores da planta industrial, sobre o desligamento;
 - b. Interface junto a concessionária de energia elétrica, mobilizando uma equipe para seccionamento no ponto de entrega.
- ii. Conferir condições climáticas para o dia da intervenção. Preferencialmente o serviço deve ser executado em dias ensolarados, com baixa umidade relativa;
- iii. Conferir condições dos equipamentos a manobrar. Níveis de tensão, carga, meios de acionamento etc.;

⁷ Norma para Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV.

⁸ 10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho, mediante os procedimentos apropriados, obedecida a sequência abaixo: a) seccionamento; b) impedimento de reenergização; c) constatação da ausência de tensão; d) instalação de aterramento temporário com equipotencialização dos condutores dos circuitos; e) proteção dos elementos energizados existentes na zona controlada; f) instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

- iv. Conferir disponibilidade e condições dos EPIs e EPCs e dos instrumentos de trabalho;
- v. Desenergização dos circuitos elétricos, desligando primeiramente os disjuntores de MT secundários terminais e gerais, e por último, o disjuntor principal da planta. Essa ação é vista na Figura 10. Após, realizar a abertura das chaves seccionadoras. É necessário atentar-se em realizar o desligamento pelos disjuntores, e não pelas seccionadoras, que não possuem suporte a interrupção de correntes elétricas elevadas;
- vi. Solicitar a unidade móvel da concessionária o seccionamento da chave faca, no ponto de entrega da planta industrial, conforme é ilustrado na Figura 11;
- vii. Bloqueio das fontes de energia, com cadeados tagueados e impedimento de religação. Sinalização dos locais de trabalho, com placas, avisos e barreiras de isolamento;
- viii. Teste de ausência de tensão, feito com o detector de tensão;
- ix. Execução do aterramento temporário⁹, para evitar energização indevida por cargas estáticas remanescentes, tensões indutivas ou capacitivas, descargas atmosféricas ou religamentos acidentais.

Figura 10 - Desenergização dos disjuntores secundários de MT



Fonte: Autoria própria

⁹ Ligação elétrica intencional dos condutores à malha de aterramento da SE, destinando a garantir a equipotencialidade contínua, a montante e a jusante do ponto de intervenção (BRASIL, 2019).

Figura 11 - Chave faca aberta no ponto de entrega



Fonte: Autoria própria

Após a execução dos procedimentos de segurança mitigatórios de desenergização, a subestação está liberada para iniciar as atividades de manutenção preventiva.

3.1.2 RISCOS POTENCIAIS E MITIGATÓRIOS

Toda atividade laboral apresenta inerentemente algum tipo de risco ambiental, que pode ser físico, químico, biológico ou ergonômico. As operações realizadas em subestações, em particular, envolvem níveis elevados de riscos. Destarte, antes da implementação de qualquer procedimento em uma SE, é necessário elaborar um procedimento de trabalho. Este documento é denominado a Análise Preliminar de Risco (APR). A responsabilidade de conduzir esse processo recai sobre o superior imediato da equipe envolvida na atividade, que deve descrever detalhadamente as etapas do procedimento, designar os profissionais encarregados de sua execução, identificar os riscos inerentes à atividade e propor medidas de controle para mitigá-los. A obrigatoriedade da APR é estabelecida no item 10.7.5¹⁰ da Norma Regulamentadora NR-10.

¹⁰ 10.7.5 Antes de iniciar trabalhos em circuitos energizados em AT, o superior imediato e a equipe, responsáveis pela execução do serviço, devem realizar uma avaliação prévia, estudar e planejar as atividades e ações a serem desenvolvidas de forma a atender os princípios técnicos básicos e as melhores técnicas de segurança em eletricidade aplicáveis ao serviço.

Na insurgência de qualquer condição que apresente um risco potencial não previamente analisado, inesperado ou não controlado, a atividade planejada deve ser imediatamente interrompida. A retomada só deve ocorrer após o efetivo controle desse risco.

Além da APR, se torna imprescindível a emissão da Permissão de Trabalho (PTR), que é um documento formalizado que autoriza, junto ao setor de Serviço Especializado de Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho (SESMT) da empresa, a realização de tarefas que envolvam riscos potenciais aos colaboradores abrangidos. Geralmente esses dois documentos são emitidos juntos, sendo a APR uma etapa para a realização da PTR. Nos Anexos C e D, é apresentada uma permissão de trabalho real, utilizada na indústria de alimentos citada neste trabalho.

3.1.3 MANUTENÇÃO, ENSAIOS, LIMPEZA E INSPEÇÕES VISUAIS DOS EQUIPAMENTOS

Com a ordem de serviço em mãos, e o plano de manutenção pré-estabelecido, o responsável pela execução do serviço, distribui o roteiro das etapas às frentes de trabalho. A todo momento, o responsável pelo serviço, deve checar:

- Se o espaço da subestação se mantém desobstruído de materiais alheios ao serviço;
- Uso e condições dos EPIs e EPCs, assim como as ferramentas utilizadas pelos executantes;
- Se o local permanece com ventilação e iluminação adequados ao serviço;
- As portas de acessos e ou emergências permanecem com livre acesso;
- Os extintores de incêndio estão nos locais adequados, carregados e dentro do período de validade;
- Controle do tempo de execução da atividade e supervisão da comunicação entre as frentes de serviço.

Após a realização e conferência da etapa de desenergização, e adoção das medidas mitigatórias necessárias à segurança dos agentes envolvidos, iniciam-se as operações de limpeza e inspeção visual dos equipamentos da subestação.

3.1.3.1 MANUTENÇÃO NO PISO DA SUBESTAÇÃO

Embora não seja um equipamento, manter o piso da subestação conservado e limpo, é primordial para a manutenibilidade dos equipamentos elétricos. Qualquer massa de ar no ambiente, ajuda a transportar a poluição adentro de painéis, e interior dos equipamentos, podendo ocasionar falhas de manobras ou ainda, curtos-circuitos.

O piso é o maior acumulador de poluição de uma SE. Em uma operação de fabricação de alimentos, a situação se agrava, devido as partículas de variados tamanhos, principalmente da extração do farelo de trigo, que estão em suspensão no ar. A fécula, presente no trigo, é um polissacarídeo com características de grudar em superfícies. Outro fator potencializador, é maresia advinda do mar, que impregna no chão, juntando-se as partículas e formando uma massa aderente.

Assim, é essencial estabelecer uma rotina de limpeza para o piso da subestação. Um plano de manutenção, realizado semanalmente, contendo instruções específicas para os técnicos. Durante a execução da manutenção preventiva nos equipamentos, também é uma oportunidade ideal para garantir a conservação do piso.

Os procedimentos que são aplicados ao piso da subestação estudada, conforme é ilustrado na Figura 12, incluem:

- Limpeza a seco com auxílio de um aspirador de pó e vassouras cerdas;
- Após a limpeza a seco, utilizar esfregão, embebido em água, mantendo o cuidado com os componentes elétricos ao redor;
- Criar uma camada de proteção no revestimento epóxi, encerando o chão, fazendo uso da enceradeira.

Figura 12 - Piso da subestação de consumidor industrial



Fonte: Autoria própria

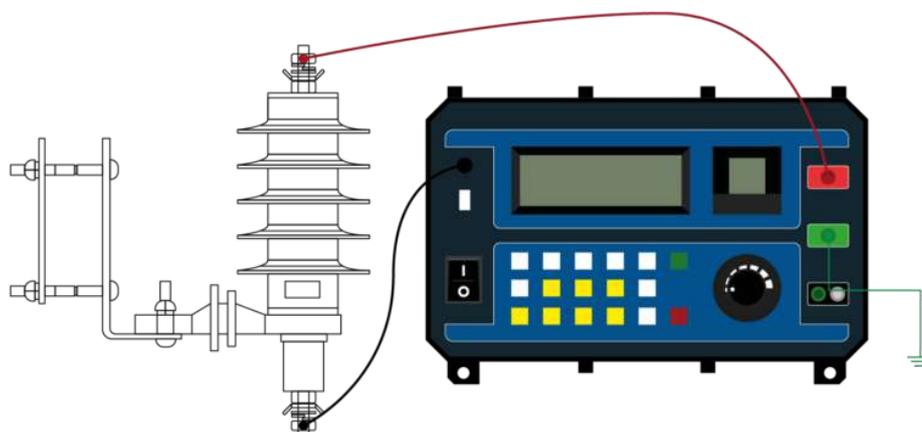
3.1.3.2 MANUTENÇÃO EM PARA-RAIOS POLIMÉRICO

Os para-raios são dispositivos que basicamente não apresentam muita complexidade em sua manutenção preventiva. São realizadas inspeções visuais, para identificar avarias, além dos processos de limpeza e reaperto das conexões. Pode ser ensaiada a resistência de isolamento, utilizando o megôhmetro¹¹, visando verificar a existência de fugas de correntes através das saias do dispositivo. Nesse teste, a entrada do para-raios é desconectada do circuito primário, e os terminais do megôhmetro são conectados na entrada de alta tensão e na saída de baixa tensão do dispositivo, como é apresentado no esquema da Figura 13. Esse teste torna-se o único viável financeiramente, devido ao alto custo dos equipamentos de ensaio e o baixo valor de um para-raios, sendo mais interessante a substituição, em caso de avarias identificadas.

Os procedimentos preventivos adotados nos para-raios são:

- Inspeção visual, identificando rachaduras ou deformações no corpo polimérico;
- Limpeza no corpo do dispositivo, utilizando trapo e álcool isopropílico;
- Verificação e reaperto das conexões elétricas, utilizando um solvente dielétrico para auxiliar na remoção de partes oxidadas.

Figura 13 - Esquema de ligação para o ensaio de medição de resistência de isolamento em para-raios



Fonte: Cortesia Mesh Engenharia (2023)

3.1.3.3 MANUTENÇÃO EM MUFLA TERMINAL

As muflas terminais também são equipamentos de construção simples, com baixo valor de reposição, assim como os para-raios. As boas práticas de intervenções

¹¹ Instrumento de medição de isolamento em equipamentos. Gera tensões de até 15 kV, realizando a leitura da corrente elétrica que flui entre duas partes do equipamento ensaiado. Os altos valores de tensão elétrica aplicada, permite vencer grandes valores de resistência elétrica.

preventivas consistiram na verificação visual, na limpeza do dispositivo e no reaperto das conexões. Apesar de não muito viável, o ensaio de medição de resistência de isolamento pode ser realizado, verificando a existência de microfissuras no corpo da terminação. Outros ensaios tornam-se impraticáveis, devido ao baixo retorno financeiro.

3.1.3.4 MANUTENÇÃO EM BARRAMENTO DE MÉDIA TENSÃO

Os barramentos elétricos são equipamentos que sofrem bastante a influência vibratória devido a ressonância provocada por máquinas rotativas do processo industrial. Esse processo, provoca a frouxidão de suas conexões, provocando o aparecimento pontos de acumulado calor em suas terminações, são chamados de pontos quentes. A forma mais viável para identificar pontos quentes, é utilizando as inspeções termográficas, teste de manutenção preditiva que será tratado adiante, com a reenergização do sistema, entretanto há algumas situações que o calor emitido é tão alto, que é possível observar o ponto quente a olho nu, como é visto na Figura 14. O ensaio de medição do isolamento mostra-se inadequado a esse dispositivo.

Os procedimentos realizados nos barramentos elétricos são:

- Torqueamento nas terminações elétricas;
- Limpeza ao redor do barramento, removendo teias de aranhas e outras poluições. Utiliza-se ainda um solvente dielétrico no corpo do barramento, para auxiliar na remoção de partes oxidadas.

Figura 14 - Ponto quente identificado em conexão de barramento elétrico



Fonte: Autoria própria

3.1.3.5 MANUTENÇÃO NO CABEAMENTO DE MÉDIA TENSÃO

Os cabos elétricos não possuem muitas exigências de serviços de manutenção preventiva, entretanto um ótimo aliado na identificação de problemas, é realizando a inspeção termográfica, quando energizado.

Cabos com tensão de operação acima de 13,8 kV podem ser ensaiados com o teste de tensão aplicada. O instrumento conhecido como *Hipot*, que é visto na Figura 15, submete uma elevada tensão contínua ao cabo. Há o monitoramento da corrente de fuga através do cabo. Ocorrendo alguma falha na isolação dielétrica, o equipamento deverá desligar, reprovando o cabo. Geralmente é realizado na instalação de novos cabos ao sistema, devido as características da corrente contínua, que podem acelerar o processo de degradação da isolação do cabo.

Figura 15 - Instrumento Hipot tester



Fonte: Cortesia Instronic

Os seguintes procedimentos são executados seguindo o plano de manutenção preventiva:

- Limpeza nos leitos de passagem e eletrocalhas, utilizando espanador e aspirador de pó;
- Verificação visual do ressecamento da isolação por todo trajeto do cabeamento, verificando também indícios da existência de óleos, graxas ou outros resíduos químicos, que podem agir sobre a isolação dos condutores;
- Inspeção visual das eletrocalhas e leitos de passagens, verificando a existência de estrangulamentos dos cabos, ou ferimentos por pedaços enferrujados desprendidos sobre a isolação dos condutores;
- Reaperto nas conexões elétricas.

3.1.3.6 MANUTENÇÃO NA CHAVE SECCIONADORA

As chaves seccionadoras são dotadas de particularidades mecânicas que precisam de uma verificação mais refinada no processo de manutenção preventiva. Além o teste de resistência de isolamento com o megôhmetro, é feito o ensaio de resistência de contato, utilizando o instrumento microhmímetro¹², visando medir a resistência de contato em cada fase do equipamento, determinando a condição de preservação dos contatos elétricos responsáveis pela condução das grandes correntes elétricas quando em carga. O Anexo E apresenta o resultado das medições ensaiadas.

Além dos ensaios, os seguintes procedimentos são adotados no serviço:

- Limpeza dos contatos, da caixa de comando e do corpo dos isoladores de porcelana, utilizando trapo limpo e solvente dielétrico;
- Verificação e reaperto nos parafusos e contatos dos bornes;
- Ajustar e verificar simultaneidade no mecanismo de operação das fases;
- Testar a execução de manobras de abertura e fechamento;
- Lubrificação das articulações, superfícies de contato, varão, sistema de engrenagens e demais partes rotativas;
- Verificação dos ajustes nos batentes e chaves fim de curso;
- Inspeção visual nos isoladores de porcelana, identificando trincas ou rachaduras;
- Inspeção visual e reaperto dos parafusos das conexões nos fusíveis HH, constatando a existências de oxidação nos contatos de cobre. Na Figura 16 é visto um fusível novo;
- Inspeção visual do tapete de manobra na área de acionamento da chave seccionadora, detectando rachaduras ou despedaçamento da borracha.

¹² Instrumento de medição de alta precisão, que mede baixos valores de resistência elétrica em contatos. Aplica-se valores de corrente elétrica entre 1 mA e 100 A.

Figura 16 - Fusível HH da chave seccionadora 13,8 kV



Fonte: A autoria própria

3.1.3.7 MANUTENÇÃO NOS PAINÉIS ELÉTRICOS

As principais falhas que envolvem os painéis elétricos estão relacionadas a sujeira e umidade, que tendem a provocar o aquecimento e queima de bobinas de contadores e relés. Também, como já discutido, a suspensão de partículas no ar na indústria alimentícia estudada, provoca o surgimento de crostas de sujeira nos circuitos eletrônicos dos inversores de frequência e *soft-starters* presentes nos painéis. Essa sujeira pode acometer em falhas intermitentes nesses equipamentos.

Ocasionalmente é possível encontrar fezes de roedores próximas aos painéis. Essas pragas, apresentam riscos aos isolamentos dos condutores, podendo causar curtos.

Quando o sistema está energizado, e operando em regime normal, a inspeção termográfica é a principal aliada na identificação prévia de problemas nos equipamentos dos painéis elétricos, podendo identificar pontos de mau contato nas conexões.

Uma abordagem praticada na SE estudada, é a aplicação de nitrato de prata, também conhecido como deposição de prata, nos barramentos de BT dos painéis elétricos. A prata recobre a superfície de metais não ferrosos, como o cobre, dando uma proteção antioxidante, melhorando também a condutividade elétrica. Esse processo é observado na Figura 17.

Figura 17 - Prateamento em barramentos de BT de cobre



Fonte: Cortesia Adilmarti

Os procedimentos realizados na manutenção preventiva dos painéis elétricos consistem em:

- Reaperto nas conexões elétricas dos barramentos, apontadas como ponto quentes em inspeções termográficas;
- Limpeza a seco com auxílio de um aspirador de pó;
- Limpeza com trapos limpos solvente dielétrico em conexões e barramentos;
- Verificação visual no isolamento dos cabos;
- Verificação no sistema de climatização, e de intertravamento dos painéis.

3.1.3.8 MANUTENÇÃO NO SISTEMA DE ATERRAMENTO

De forma permanente, assegurando a segurança dos envolvidos com as operações em uma subestação, todas as estruturas metálicas, que não são submetidas a tensão elétrica deverão permanecer aterrada, dessa forma, reduzindo os níveis das tensões de toque. As inspeções preventivas no sistema de aterramento, auxiliam na garantia disso, como por exemplo é demonstrado na Figura 18, na grade do cubículo de transformação.

Figura 18 - Ligação de grade de cubículo de transformação ao barramento aterrado



Fonte: Autoria própria

A norma ABNT NBR 15479 (2009), descreve os ensaios de medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo. Um dos ensaios descritos e mais utilizados, é o método da queda de potencial, realizado com o instrumento terrômetro. Esse ensaio mostra-se inviável no contexto de manutenção preventiva em SE abrigadas de MT, sendo mais específico seu uso em implementações de SE de AT.

Os pontos observados na manutenção preventiva do sistema de aterramento são:

- Inspeção visual em todas as partes metálicas que não submetidas a tensão, garantindo o correto aterramento ao sistema;
- Limpeza do barramento de equipotencialização com trapo limpo e solvente dielétrico.

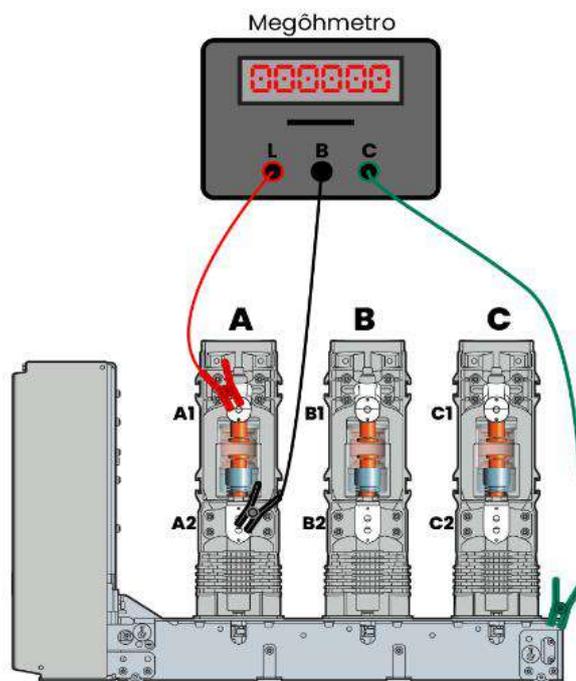
3.1.3.9 MANUTENÇÃO NO DISJUNTOR DE MÉDIA TENSÃO

Sendo o disjuntor o equipamento mais importante para proteção do sistema, é primordial que as atividades de manutenção sejam realizadas em conformidade. Assim como a chave seccionadora, os disjuntores possuem mecanismos elétricos e mecânicos, que necessitam de testes de execução, limpeza e lubrificação.

O modelo do disjuntor de MT da subestação estudada, é um com interrupção do arco elétrico a vácuo, da fabricante ABB.

O ensaio de resistência de isolamento, verifica o estado dos isoladores de entrada e saída das fases, assim como a condição de isolamento dos polos. É feito a desconexão dos vergalhões e cabos do disjuntor e utilizando o megôhmetro, é feito o esquema de ligação para o teste, como é visualizado na Figura 19. O procedimento é repetido nos três polos, estando o disjuntor em aberto, e posteriormente com os contatos fechados.

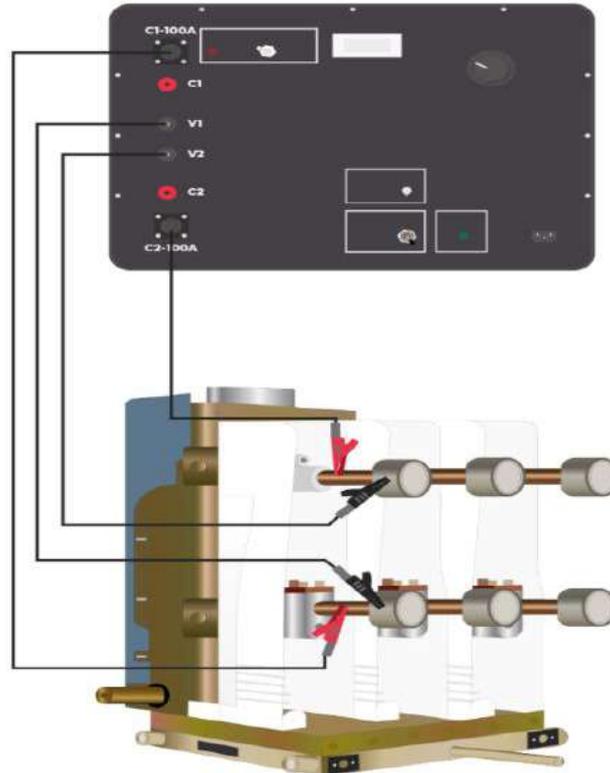
Figura 19 - Esquema de ligação para ensaio de resistência de isolamento em disjuntor MT



Fonte: Cortesia Mesh Engenharia (2023)

Para verificar o estado dos contatos móveis e fixos do disjuntor, é utilizado microhmímetro, para ensaiar a resistência dos contatos. O objetivo do ensaio, é identificar fadiga nos contatos auxiliares e principais, que podem gerar pontos quentes. Antes de iniciar o teste, é preciso preparar a superfície de aplicação, retirando resíduos e oxidações. Utiliza-se uma escova de aço e um pano limpo, para auxiliar no serviço. Após, aplica-se uma camada de vaselina na superfície, visando criar uma camada anti-corrosiva. O esquema de ligação para esse ensaio, é demonstrado na Figura 20. Alterna-se a ligação, realizando o teste em cada uma das fases.

Figura 20 - Esquema de ligação para ensaio de resistência de contato em disjuntor MT



Fonte: Cortesia Mesh Engenharia (2023)

Outros ensaios elétricos são referenciados na literatura, como por exemplo, o ensaio da medida de tempos de aberturas e fechamentos dos contatos principais, também conhecido como teste de oscilografia, entretanto suas aplicações não são viáveis de realização em sistemas de MT, sendo mais aplicados em disjuntores de AT. O Anexo F apresenta o resultado das medições ensaiadas.

Além dos ensaios, os seguintes procedimentos são realizados ao disjuntor:

- Limpeza dos contatos, dispositivo de acionamento e do corpo dos isoladores, utilizando trapo limpo e solvente dielétrico;
- Inspeção visual, estado geral do equipamento, verificando rachaduras, pontos de carbonização, e situação dos contatos e isoladores;
- Verificação e reaperto nos parafusos e contatos dos bornes;
- Testar o processo de manobras de abertura e fechamento, mecanicamente e através da energização das bobinas;
- Lubrificação das articulações, molas, travas, superfícies de contato, sistema de engrenagens e demais partes rotativas;
- Realizar testes no dispositivo de carregamento da mola, observando o contador de operações;

- Verificar indícios de trincas nas ampolas de extinção a vácuo.

3.1.3.10 MANUTENÇÃO NO RELÉ DE PROTEÇÃO

Os relés de proteção operam em conjunto com os disjuntores, garantindo a proteção da instalação. A parametrização ajustada do relé é muito importante para obter uma correta seletividade e proteção do sistema.

O modelo do relé de proteção da subestação abordada como objeto de estudo, é o modelo URP 1439, da fabricante Pextron, como é visto na Figura 21.

Figura 21 - Relé de proteção URP 1439



Fonte: Cortesia Pextron (2020)

A manutenção preventiva do dispositivo está associada a testes de parametrização do relé, utilizando malas de calibração injetoras de corrente, que determinam se a atuação ocorre no tempo estabelecido. A própria construção do relé, permite rodar ainda rotinas de *auto-check*, verificando o funcionamento, por exemplo das teclas, display e portas de comunicação, assim como os leitores de grandezas. É importante realizar também a verificação do módulo *no-break* da SE, que em ocorrências de falta de energia externa, o relé de proteção não perca sua programação, acarretando falhas na proteção da instalação.

3.1.3.11 MANUTENÇÃO NO TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA A SECO

Sendo o equipamento mais importante da subestação, todos os esforços devem estar voltados com destaque para esse equipamento. Sua importância também se traduz no seu custo. Um transformador de potência é o equipamento de maior valor financeiro

agregado de uma SE. Sendo assim, na falta de recursos humanos, financeiros e de tempo para execução da manutenção preventiva, deve-se priorizar o atendimento ao transformador.

Para a subestação da indústria abordada, devido as características de construção das instalações dentro das edificações da operação industrial, somente é permitido o uso de transformadores a seco. Ao contrário dos transformadores a óleo, que precisam de inúmeros outros ensaios e cuidados especiais, os transformadores a seco exigem trabalhos mais simplificados, mas ainda necessários.

Como já citado anteriormente, a subestação estudada possui três transformadores de potência a seco. Dois de 1000 kVA, da fabricante ABB. E outro de 2 MVA, da fabricante WEG.

Nas tarefas que envolvem esforços manuais, para conservação dos transformadores, são executados os trabalhos de:

- Primeiramente é realizada a desconexão dos condutores que estão ligados ao transformador;
- Inspeção visual das condições das conexões, quanto a possíveis sinais de sobreaquecimento;
- Inspeção visual da isolação das bobinas, em torno das buchas de alta-tensão, observando indícios de trilhamento elétrico na superfície;
- Inspeção visual geral do equipamento, observando o estado da pintura e grau de corrosão;
- Limpeza em todo corpo do transformador, utilizando trapo limpo e álcool isopropílico, em especial na superfície das bobinas de alta-tensão;
- Quando energizado, realizar o acompanhamento dos acessórios, em especial do relé de temperatura, que é visto na Figura 22. Visando garantir a integridade do equipamento;

Figura 22 - Relé de temperatura do trafo a seco modelo MT 300



Fonte: Autoria própria

- Após conclusão dos procedimentos e ensaios necessários, com o transformador desconectado, é realizada a reconexão com os apertos adequados, conforme é apresentado na Figura 23.

Figura 23 - Reaperto das conexões em trafo a seco 2 MVA WEG



Fonte: Autoria própria

O principal ensaio realizado nos transformadores de potência a seco, é a medição da resistência de isolamento, feita com auxílio do megôhmetro. Com todos os cabos e barramentos previamente desconectados e afastados, do transformador, conectam-se os

terminais dos enrolamentos primários e, em seguida, os terminais secundários são unidos em curto-circuito entre si. São medidos os valores de resistência de isolamento entre os terminais de alta e a massa, a alta e a baixa, e a baixa e a massa do transformador. Na Figura 24 é visualizado a aplicação desse ensaio.

Figura 24 - Ensaio de medição da resistência de isolamento em trafo 1000 kVA ABB



Fonte: Autoria própria

Também muito utilizado, o ensaio da verificação da relação de transformação, tem o objetivo de identificar problemas com a relação de transformação entre o lado de alta e baixa tensão. O mecanismo de mudanças nos níveis de tensão, conhecido por seletor TAP, é responsável por balancear a tensão de entrada e saída num transformador, o ensaio constata problemas no posicionamento do seletor, identificando ainda fugas de correntes entre as espiras ou espiras em aberto no bobinado. Utiliza-se o instrumento medidor TTR para o ensaio, verificando todas as posições de TAP do transformador.

Outro ensaio também aplicado, é a medição da resistência dos enrolamentos primários e secundários, utilizando o microhmímetro. Procede-se aplicando uma corrente conhecida, de valor não superior a 15 % da nominal do transformador. Com a queda de tensão gerada em cima do enrolamento. Os resultados podem significar curto-circuito entre as espiras e conexões em condições adversas. Na Figura 25 é demonstrada a execução desse teste. Deve-se realizar as medições de resistência em todas as posições

do seletor TAP. Os Anexos G; H e I apresentam os resultados das medições ensaiadas nos três transformadores.

Figura 25 - Ensaio de medição da resistência dos enrolamentos em trafo 1000 kVA ABB



Fonte: Autoria própria

3.1.3.12 MANUTENÇÃO NOS TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS

Os transformadores de instrumentos, que são compostos por transformadores de corrente e de potencial são geralmente ensaiados com o teste de medição da resistência de isolamento, nas mesmas configurações do trafo de potência. Os Anexos J e K apresentam os resultados das medições ensaiadas.

Na manutenção preventiva, nos TPs e TCs de medição e proteção, são realizados os procedimentos de:

- Verificação do estado geral dos equipamentos, observando trilhamentos elétricos, desgaste por corrosão ou pontos de oxidação na pintura;
- Verificação e reaperto nos terminais de conexão, e da fixação dos equipamentos a estrutura metálica de suporte e ao solo;
- Limpeza dos isoladores utilizando trapo limpo e álcool isopropílico.

3.1.3.13 MANUTENÇÃO EM DEMAIS PONTOS DA SUBESTAÇÃO

Alguns outros pontos podem ser inspecionados e corrigidos durante a oportunidade da manutenção preventiva na subestação. Problemas previamente apontados em inspeções de rotinas pelos técnicos eletricitas, podem ser regularizados durante a parada programada. Merecem ser citados problemas relacionados a:

- Correções na alvenaria da instalação. Problemas referentes a rachaduras, infiltrações e pintura;
- Correções de estruturas de suportes em geral, onde são necessários serviços de soldagem;
- Verificação e correção da iluminação da subestação. Luminárias herméticas, luminárias de emergência e luzes de sinalização;
- Verificação dos instrumentos de manobras, tapetes isolantes, diagramas elétricos e demais documentos presentes na SE;
- Correção de pontos quentes apontados durante a termografia.

3.1.3.14 REENERGIZAÇÃO DA SUBESTAÇÃO

Ao fim do dia, com a conclusão dos trabalhos. O responsável pelo serviço, deve reunir os envolvidos, e revisar a conclusão de todas as atividades estabelecidas previamente. Àquelas que não foram possíveis de serem tratadas, são postergadas para uma próxima oportunidade. É necessário estabelecer um controle maior nas inspeções de rotinas envolvendo esses pontos, para que o problema não escale, causando a necessidade de uma intervenção de emergência.

Após isso, iniciam-se os passos necessários para reenergização da instalação. A ordem de religação, deve ser inversa ao processo de desenergização. Primeiramente conectam-se todos os pontos que foram desconectados para ensaios e realiza-se a remoção do aterramento temporário. Todas as ferramentas, instrumentos de testes, resíduos, peças e outros materiais são removidos da subestação. As grades de proteção dos cubículos devem ser fixadas, conectadas ao aterramento e devidamente ajustadas para evitar vibrações. Pessoas que não estejam envolvidas na operação de religamento devem ser retiradas da área. É realizada a retirada de todos os bloqueios e sinalizações. Solicita-se a unidade móvel externa da concessionária, o religamento no ponto de entrega da UC. Antes da manobra, o operador deve realizar uma inspeção visual, seguindo a ordem

inversa do desligamento, garantindo que todos os passos foram realizados conforme o necessário. Só então, rearma-se o disjuntor principal e ocorre logo após o religamento dos circuitos secundários.

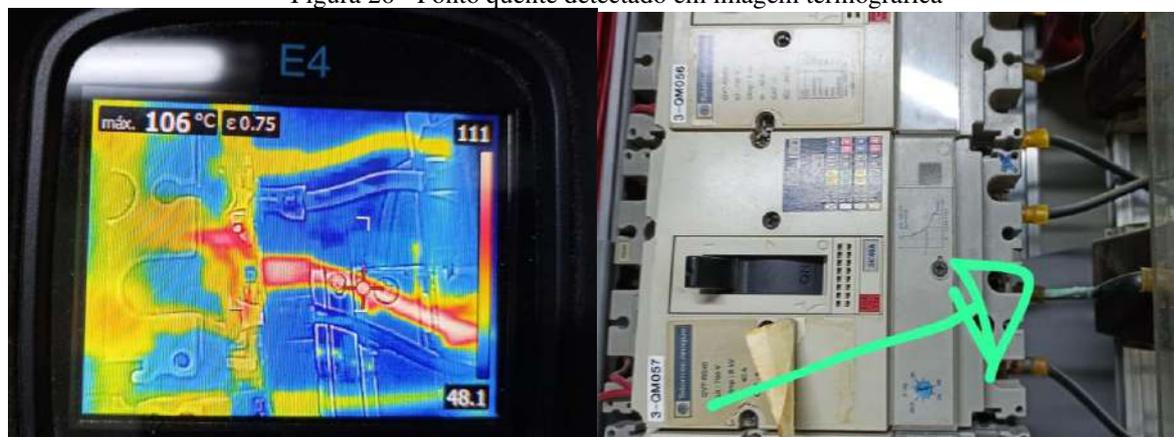
Pode-se afirmar que o ciclo da manutenção preventiva é finalizado, quando ocorre a emissão do relatório técnico e demais laudos a cargo da empresa terceirizada para apoio no serviço. Os resultados são comparados ao histórico de testes e arquivados ao PIE da indústria, ficando disponível para consulta no setor de PCM.

3.2 MANUTENÇÃO PREDITIVA NOS EQUIPAMENTOS DA SUBESTAÇÃO – TERMOGRAFIA

Em operação de regime normal se faz necessário realizar o acompanhamento *in loco* dos equipamentos da subestação. Uma das técnicas mais difundidas, de alto retorno e com baixo valor de investimento, são as inspeções preditivas utilizando um equipamento termovisor. O equipamento opera capturando a energia infravermelha irradiada por objetos. O sinal é processado, mostrando uma imagem térmica em um display em tempo real, apontando a temperatura em cada região.

O auxílio da termografia em manutenções preventivas de subestações, está na identificação de pontos quentes e falta de refrigeração nos equipamentos e instalações. No geral, uma falha eletromecânica é precedida pela geração de calor, ocorrendo elevação da temperatura. Torna-se então uma técnica de grande valia, pois é possível apontar processos de degradação, antes da ocorrência da falha, que poderia ocasionar paradas inesperadas no processo fabril. Por exemplo, na Figura 26 é relatada uma situação envolvida um ponto quente detectado em um disjuntor de baixa tensão.

Figura 26 - Ponto quente detectado em imagem termográfica



Fonte: Autoria própria

Nas imagens é possível ver a diferença de temperatura entre as fases, provocando o avermelhamento nos pontos de maior temperatura. Ainda é possível constatar, que o ponto quente foi gerado devido a oxidação do contato terminal do disjuntor de BT.

É uma técnica de baixo investimento, devido ao custo baixo para aquisição de um equipamento termovisor, em comparação a outros equipamentos de testes. Além disso, não é necessário a parada da produção industrial, para obter dados para análises. Não é necessário também treinamentos muito específicos para capacitação dos técnicos que farão o uso do termovisor. Ainda assim, há parâmetros que precisam ser configurados em cada medição, para interpretação correta do resultado medido. Um deles é a emissividade térmica¹³ de cada material. Outro ponto, é o conhecimento da máxima temperatura admissível de cada equipamento inspecionado. Esse parâmetro é disponibilizado por cada fabricante. Por exemplo, na Figura 27 é demonstrado uma inspeção termográfica de rotina no trafo de potência de 2 MVA. O display mostra uma temperatura aproximada de 117 °C nos enrolamentos do transformador. De acordo o fabricante, a máxima temperatura admissível nas bobinas do transformador é de 155 °C. No Anexo L, é fornecido um exemplo de recomendação para intervenção em pontos que são rastreados e medidos mensalmente durante as rotas de inspeções termográficas na subestação da indústria de alimentos discutida. O serviço é realizado por uma empresa terceirizada especializada em análises preditivas.

Figura 27 - Inspeção termográfica em transformador de potência



Fonte: Autoria própria

¹³ Capacidade de um corpo de emitir radiação eletromagnética, e uma certa temperatura e comprimento de onda. Representa valores entre 0 e 1.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se propôs a ressaltar a adoção de programações de manutenções preventivas em subestações de energia de média tensão, analisando sua importância no contexto do aumento da confiabilidade no fornecimento da eletricidade.

Foram explorados diversos conceitos ligados a manutenção industrial e de conhecimento sobre os principais equipamentos que integram uma subestação. Nessa abordagem, foi possível entender o funcionamento, tipos de ensaios normatizados realizados, medidas de segurança e os melhores procedimentos para a correta e estável operação de uma subestação elétrica industrial.

Durante o estudo de caso, foram encontradas barreiras envolvendo os altos custos de investimentos em tecnologias avançadas de monitoramento e diagnóstico, embora isso, com o aparato disponível foi possível esclarecer que através da implementação da manutenção preventiva, se garante a operação confiável e segura dessas instalações. Sua realização eficaz não apenas previne falhas inesperadas, interrupções no fornecimento e danos ao equipamento, mas também estende o tempo estimado de uso dos ativos, otimizando a eficiência operacional e reduzindo os custos com trocas e reparos.

Como melhoria, o controle histórico das medições realizadas nos ensaios dos equipamentos através de uma planilha eletrônica, pode lograr indicações do início da apresentação de falhas, realizando a comparação com medições mais antigas.

Em trabalhos futuros, a aplicação das técnicas de manutenção preventivista vistas nesse estudo, poderiam ser propostas visando atender subestações de distribuição em alta tensão, verificando as exigências das normas adotadas nessas instalações e principalmente, dos critérios de segurança.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COSTA, E.M.M. **Escrevendo Trabalhos de Conclusão de Cursos** – Guia para escrever teses, monografias, artigos e outros textos técnicos. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2012.
- PINTO, A.K.; XAVIER, J.N. **Manutenção: função estratégica**. 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda., 1998.
- MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. 2 ed. Nova York: Industrial Press Inc, 1997.
- KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 3 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda., 2009.
- DORIGO, L.C.; NASCIF, Júlio. **Manutenção orientada para resultados**. Rio de Janeiro: Qualymark Editora Ltda., 2010.
- GEBRAN, Amaury Pessoa. **Manutenção e Operação de Equipamentos de Subestações**. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- VIANA, H.R.G. **Planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualymark Editora Ltda., 2002.
- BRANCO FILHO, Gil. **Indicadores e Índices de Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2006.
- BRANCO FILHO, Gil. **Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade**. 4 ed., Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda., 2006.
- MILASCH, Milan. **Manutenção de Transformadores em Líquido Isolante**. Rio de Janeiro: Blucher, 1984.
- BRANCO FILHO, Gil. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2008.
- XENOS, H.G.P. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14039**: Instalações elétricas de média tensão, de 1,0 kV a 36,2 kV. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 1000**. Rio de Janeiro: ANEEL, 2021.

BARROS, B.F.; GEDRA, R.L. **Cabine Primária**: Subestações de alta tensão de consumidor. São Paulo: Editora Érica, 2009.

ENERGISA. **Norma de Distribuição Unificada 002**: Fornecimento de energia elétrica em tensão primária. Minas Gerais: ENERGISA, 2019.

MORÁN, A.V. **Manutenção Elétrica Industrial**. Salvador: VM Editora, 2005.

ABB. **VD4/R**: Disjuntores de média tensão em vácuo para distribuição secundária. Dalmine: ABB, 2015. Disponível em: https://library.e.abb.com/public/0a9a66cfa601707ec1257b1300572c16/CA_VD4-R%28PT%29-1VCP000037.pdf. Acesso em: 20 de set. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6855**: Transformador de potencial indutivo com isolamento sólida para tensão máxima igual ou inferior a 52 kV – Especificação e ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6856**: Transformador de corrente com isolamento sólida para tensão máxima igual ou inferior a 52 kV – Especificação e ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17048**: Recebimento, armazenagem, instalação e manutenção de transformadores de potência do tipo seco, com tensão até 36,2 kV – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **NORMA REGULAMENTADORA NO. 10 (NR-10)**: NR-10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Brasília, 2019.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **NORMA REGULAMENTADORA NO. 06 (NR-06)**: NR-06 – Equipamentos de proteção individual - EPI, Brasília, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSCIENTIZAÇÃO PARA OS PERIGOS DA ELETRICIDADE. **ABRACOPEL SOLTA OS DADOS MAIS RECENTES DE ACIDENTES DE ORIGEM ELÉTRICA.** Disponível em: <https://abracopel.org/blog/noticias/abracopel-solta-os-dados-mais-recentes-de-acidentes-de-origem-eletrica/>. Acesso em: 01 de out. 2023.

MESH ENGENHARIA. **ENSAIO DE PARA-RAIOS.** 2023. Disponível em: <https://meshengenharia.com/2023/03/29/ensaio-de-para-raios/>. Acesso em: 07 de out. 2023.

INSTRONIC. **AP. PARA TESTE DE TENSÃO APLICADA CC – HIPOT CC.** Disponível em: <http://instronic.com.br/produto/aparelho-para-teste-de-tensao-aplicada-cc-hipot-cc/> Acesso em: 10 de out. 2023.

ALDIMARTI. **TP-056E:** Barramentos e componentes. Disponível em: <http://www.adilmarti.com.br/produto/tp-056e-barramentos-e-componentes/32> Acesso em: 10 de out. 2023.

MESH ENGENHARIA. **GUIA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA/CORRETIVA EM DISJUNTORES DE MT.** 2023. Disponível em: <https://meshengenharia.com/2023/02/28/guia-de-manutencao-preventiva-corretiva-em-disjuntores-de-mt/>. Acesso em: 27 de out. 2023.

MESH ENGENHARIA. **ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE CONTATO EM DISJUNTORES.** 2023. Disponível em: <https://meshengenharia.com/2023/03/02/ensaio-de-resistencia-de-contato-em-disjuntores/>. Acesso em: 15 de nov. 2023.

PEXTRON. **URP 1439T VERSÃO: 2.14:** Aplicação principal: controle e proteção completa para cabine primária com fonte e trip capacitivos incorporados. São Paulo: 2020. Disponível em: [URP1439TV214r13 - Manual de Operação.pdf \(pextron.com\)](http://pextron.com/URP1439TV214r13%20-%20Manual%20de%20Operacao.pdf). Acesso em: 16 de nov. 2023.

ANEXOS

Observa-se nos Anexos A e B, uma ordem de serviço, detalhando o plano de manutenção a ser executado na subestação. É possível identificar diversos detalhes como o lugar do trabalho, o dia, o executante etc.

ANEXO A – ORDEM DE SERVIÇO

Ordem de Serviço Nº.: 10994926

Propriedade da Ordem de Serviço					
Depto Responsável: UMAU - UNIDADE MOINHO ADMINISTRACAO E UTILIDADES			Solicitação de Serviço n°		
Área:	PRD 5 - SUBESTAÇÃO PRINCIPAL	Origem do Ativo:	MANUTENCAO	Planejador:	2JQ99491
Propriedade do Equipamento					
Tipo da OS:	PREVENTIVA	Status:	Cancelado	Prioridade:	ALTA
Data de Emissão:	07/11/23 08:35				
TAG (Comum):	3628ST00003	Descrição:	SUBESTAÇÃO 003 - 13.8KV - (PRINCIPAL)		
TAG (Recriável):		Descrição:			
N°Atividade:	000000009042098	Descrição:	MANUTENCAO PREVENTIVA ELTRICA SUBESTAÇÃO		
Medidor:	NÃO	Nome:	UDM:	Última Leitura:	Leitura Atual:
Tempos (Planejado x Realizado)					
Início Início Programado:	05-nov-23 07:00	Final Programado:	05-nov-23 07:00	Tempo Programado:	00 min
Início Início Real:		Final Real:		Tempo Real:	
Execução da Ordem de Serviço - Rotativo					
Seqüência da Operação:	10	Descrição da Operação	PRESCRIÇÕES DE SEGURANÇA CONFORME A NBR 14039:2005		
Seqüência do Recurso	10	Recurso:	ELETROMECANICO MANUTENCAO	RE:	
Duração:	30	min	Real:		
Anexo da Operação:	<p>MANOBRAS QUE APLICÁVEL, A INSTALAÇÃO A SER VERIFICADA DEVE SER DESENERGIZADA ATUA A MANOBRAS DE DESENERGIZAÇÃO, TODAS AS PARTES VIVAS DEVEM SER ENSAIADAS QUANTO À PRESENÇA DE ENERGIA MEDIANTE DISPOSITIVOS DE DETECÇÃO COMPATIVIS AO NÍVEL DE TENSÃO DA INSTALAÇÃO; TODO EQUIPAMENTO E/OU INSTALAÇÃO DESENERGIZADO DEVE SER ATERRADO; TODA INSTALAÇÃO E/OU EQUIPAMENTO DESENERGIZADO DEVE SER BLOQUEADO E IDENTIFICADO; (NOTA: ANTES DE PROCEDER AO ATERRAMENTO DE UMA INSTALAÇÃO DESENERGIZADA, DEVE-SE GARANTIR QUE NÃO HAJA CARGA RESIDUAL OU CUMULATIVA, EFETUANDO-SE PRIMEIRO A SUA DESCARGA ELÉTRICA); OS DISPOSITIVOS E AS DISPOSIÇÕES ADOTADOS PARA GARANTIR QUE AS PARTES VIVAS FIQUEM FORA DO ALCANCE PODEM SER RETIRADOS PARA UMA MELHOR VERIFICAÇÃO, DEVENDO SER IMPRETERIVELMENTE REESTABELECIDOS AO TÉRMINO DA MANUTENÇÃO; DEVE-SE GARANTIR A CONFIABILIDADE DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO E DO ENSAIO, CALIBRANDO-OS CONFORME ORIENTAÇÃO DO FABRICANTE) OS ACESSOS DE ENTRADA E SAÍDA AOS LOCAIS DE MANUTENÇÃO DEVEM SER DESOBSTRUÍDOS, SENDO OBRIGATÓRIA A INCLUSÃO DE SINALIZAÇÃO ADEQUADA QUE IMPOSSIBILITE A ENTRADA DE PESSOAS NÃO AUTORIZADAS; QUALQUER MANOBRAS, PROGRAMADA OU DE EMERGÊNCIA, DEVE SER EFETUADA SOMENTE COM AUTORIZAÇÃO DE PESSOA QUALIFICADA; QUALQUER MANOBRAS DEVE SER EFETUADA POR NO MÍNIMO (02) DUAS PESSOAS, SENDO QUE PELO MENOS UMA DELAS DEVE SER QUALIFICADA; É OBRIGATÓRIO O USO DE EPC (EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO COLETIVA) E EPI (EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL) APROPRIADOS, EM TODOS OS SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE MÉDIA TENSÃO.</p>				
Seqüência da Operação:	20	Descrição da Operação	VERIFICAÇÃO DE RELÉS DE PROTEÇÃO SECUNDÁRIA		
Seqüência do Recurso	10	Recurso:	ELETROMECANICO MANUTENCAO	RE:	
Duração:	100	min	Real:		
Anexo da Operação:	<p>UMRE 1439 ATRAVÉS DE AUTO-TESTE (RECOMENDADO PELO FABRICANTE) E REVISÃO DAS CORRENTES E PARÂMETROS.</p>				
Seqüência da Operação:	30	Descrição da Operação	MANUTENÇÃO DE CUBÍCULOS DE SECCIONADORAS BLINDADAS DE MÉDIA TENSÃO		
Seqüência do Recurso	10	Recurso:	ELETROMECANICO MANUTENCAO	RE:	
Duração:	120	min	Real:		
Anexo da Operação:	<p>COM LIMPEZA/REAPERTO DE CONEXÕES E MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA DE CONTATO.</p>				
Seqüência da Operação:	40	Descrição da Operação	MANUTENÇÃO DE CUBÍCULOS DE DISJUNTOR BLINDADO DE MÉDIA TENSÃO		
Seqüência do Recurso	10	Recurso:	ELETROMECANICO MANUTENCAO	RE:	
Duração:	120	min	Real:		
Anexo da Operação:	<p>ATRAVÉS DE MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA DE CONTATO COM MICROHMMETRO DIGITAL E LIMPEZA/REAPERTO DE SUAS CONEXÕES ELÉTRICAS.</p>				
Seqüência da Operação:	50	Descrição da Operação	MANUTENÇÃO DE UM TRANSFORMADOR A SECO DO BLOCO ADMINISTRATIVO		
Seqüência do Recurso	10	Recurso:	ELETROMECANICO MANUTENCAO	RE:	
Duração:	160	min	Real:		
Anexo da Operação:	<p>COM LIMPEZA/REAPERTO DE CONEXÕES ELÉTRICAS E VERIFICAÇÃO DE RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO E RESISTÊNCIA DE ISOLAÇÃO.</p>				
Seqüência da Operação:	60	Descrição da Operação	MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM TRÊS DISJUNTORES DE BAIXA TENSÃO		
Seqüência do Recurso	10	Recurso:	ELETROMECANICO MANUTENCAO	RE:	
Duração:	60	min	Real:		
Anexo da Operação:	<p>ATRAVÉS DE MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA DE CONTATO COM MICROHMMETRO DIGITAL E LIMPEZA/REAPERTO DE SUAS CONEXÕES ELÉTRICAS</p>				
Seqüência da Operação:	70	Descrição da Operação	MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM TRÊS TRANSFORMADORES A SECO		
Seqüência do Recurso	10	Recurso:	ELETROMECANICO MANUTENCAO	RE:	
Duração:	60	min	Real:		

ANEXO B – CONTINUAÇÃO DA ORDEM DE SERVIÇO

Execução da Ordem de Serviço - Rotineiro

COM LIMPEZA/REAPERTO DE CONEXÕES ELÉTRICAS E VERIFICAÇÃO DE RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO

Anexo da Operação:

Seqüência da Operação:	80	Descrição da Operação	REAPERTO NAS CONEXÕES DOS BARRAMENTOS DE INTERLIGAÇÃO DOS TRAFOS
Seqüência do Recurso	10	Recurso: ELETROMECANICO MANUTENCAO	RE: <input type="text"/> Duração: 60 min Real: <input type="text"/>
Seqüência da Operação:	90	Descrição da Operação	MANUTENÇÃO EM QUATRO CUBÍCULOS DE SECCIONADORA DE MÉDIA TENSÃO
Seqüência do Recurso	10	Recurso: ELETROMECANICO MANUTENCAO	RE: <input type="text"/> Duração: 60 min Real: <input type="text"/>
Anexo da Operação:	13 TRANSFORMADORES + SILOS METÁLICOS) COM LIMPEZA/REAPERTO DE CONEXÕES E Redução de RESISTÊNCIA DE CONTATO		
Seqüência da Operação:	100	Descrição da Operação	LIMPEZA DO AMBIENTE DE CIRCULAÇÃO DA SUBESTAÇÃO
Seqüência do Recurso	10	Recurso: ELETROMECANICO MANUTENCAO	RE: <input type="text"/> Duração: 60 min Real: <input type="text"/>

Item	Seq	Cód.	Material	Lista de Materiais	Cat.	Requisição	UDM	Prev	Real	Requerida	Real
Legenda: ES = Estoque ; ID = Item Direta; SE = Serviço Externo; IP = Item de Projeto											
Numero do Ativo	Ativos da Nota		Comentários								

Anotações de Encerramento

Notas

***** Fim Relatório *****

Observa-se nos Anexos C e D, o que foi dito anteriormente, sobre a APR está contida dentro da PTR. Sendo um dos passos para preenchimento e liberação do trabalho a ser executado. Nota-se também que a APR pode receber outros nomes, a depender da organização.

ANEXO C – FORMULÁRIO DE PERMISSÃO DE TRABALHO

		FORMULÁRIO PERMISSÃO DE TRABALHO DE RISCOS		MDB.SSO.FO.0009-R2	
Preenchimento: <input type="checkbox"/> Próprio <input type="checkbox"/> Terceiro					
PTR N°:		Duração Prevista:		Início - Data:	
Descrição do Serviço:		Anexos:		N° OS:	
		<input type="checkbox"/> Checklist Complementar - PTR <input type="checkbox"/> Checklist - Equipamentos		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Área:		Local de Trabalho:			
Equipamento:		Possui Projeto associado?			
		<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim - N° do Projeto:			
Riscos Levantados no LPDR? <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim		Necessita de APR? <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim			
Existe Instrução Operacional de Segurança? <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim		Informação complementar (se necessário) e/ou Atividade Suspensa(Motivo):			
<input type="checkbox"/> Cont. Prod. Quím. <input type="checkbox"/> Explosão/Incêndio <input type="checkbox"/> Engolfamento/Sugamento <input type="checkbox"/> Queda (Altura/Materiais) <input type="checkbox"/> Batida Contra		<input type="checkbox"/> Exposição a Umidade <input type="checkbox"/> Exposição a Calor(Sol ou Máquina) <input type="checkbox"/> Exposição a Poeira <input type="checkbox"/> Exposição a Temperatura Extrema <input type="checkbox"/> Exposição a Ruído		<input type="checkbox"/> Perigos Potenciais: <input type="checkbox"/> Exposição a Fumaça Preta <input type="checkbox"/> Exposição a Pressão Anormal <input type="checkbox"/> Exposição a Vibração <input type="checkbox"/> Exposição a Gases / Vapores <input type="checkbox"/> Contato com Energia - Choque Elétrico	
				<input type="checkbox"/> Tombamento <input type="checkbox"/> Confinamento <input type="checkbox"/> Desmoronamento <input type="checkbox"/> Contato Superfícies Cortantes <input type="checkbox"/> Contato Superfície/Liq. Quentes	
<input type="checkbox"/> Máquina de Solda <input type="checkbox"/> Maçaricos <input type="checkbox"/> Lixadeira <input type="checkbox"/> Motores / Bombas		<input type="checkbox"/> Esmerilhadeira <input type="checkbox"/> Furadeira <input type="checkbox"/> Ferramentas Pneumáticas <input type="checkbox"/> Talhas Manual/Elétrica Cap: ____ Ton.		<input type="checkbox"/> Equipamentos Utilizados: <input type="checkbox"/> Guindastes/PFMT/Munck <input type="checkbox"/> Serra Elétrica <input type="checkbox"/> Solda Elétrica ou TIG/MIG <input type="checkbox"/> Ferramentas Manuais	
				<input type="checkbox"/> Escadas Portáteis <input type="checkbox"/> Retroescavadeira <input type="checkbox"/> Andaime Suspenso/Tubo Hall/Fach.	
<input type="checkbox"/> Isolamento de Área <input type="checkbox"/> Manter-se sempre ancorados <input type="checkbox"/> Uso obrigatório dos EPTs específicos para as atividades <input type="checkbox"/> Sistema elétrico desenergizado, bloqueado e sinalizado <input type="checkbox"/> Manter extintor de incêndio no local da atividade <input type="checkbox"/> Realizar revestimento conforme alinhamento com a equipe		<input type="checkbox"/> Cuidados e Controles Gerais: <input type="checkbox"/> Manter o explosímetro na lapela do fardamento ou no cinto de segurança <input type="checkbox"/> Não utilizar calhas elétricas como passarela <input type="checkbox"/> Realizar medição de explosividade <input type="checkbox"/> Realizar check-list diário dos equipamentos a serem utilizados <input type="checkbox"/> As ferramentas usadas no ambiente de atmosfera explosiva são de material de berilo, latão ou cobre <input type="checkbox"/> Eliminar/Mitigar condições que tornem atmosfera explosiva			
Outros:					
Solicitante (Nome/Função):			Resp. Local de Realização / Área (Nome/Função):		
Resp. Serviço (Nome/Função):			Resp. Autorizador / Liberador (Nome/Função):		
Revalidação - Responsável pela liberação					
1-Respons. (Nome/Função)		Assinatura:		Data:	Hora:
2-Respons. (Nome/Função)		Assinatura:		Data:	Hora:
3-Respons. (Nome/Função)		Assinatura:		Data:	Hora:
4-Respons. (Nome/Função)		Assinatura:		Data:	Hora:
5-Respons. (Nome/Função)		Assinatura:		Data:	Hora:
Inspeções Mantidas Durante o Trabalho					
01 - Data: ___/___/___ Hora: ___:___ Responsável: _____		03 - Data: ___/___/___ Hora: ___:___ Responsável: _____			
Condições Mantidas? Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>		Condições Mantidas? Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>			
02 - Data: ___/___/___ Hora: ___:___ Responsável: _____		04 - Data: ___/___/___ Hora: ___:___ Responsável: _____			
Condições Mantidas? Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>		Condições Mantidas? Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>			
Encerramento da PTR					
Após realização da atividade, recebi a área livre de materiais e desobstruída, concluindo pela liberação segura do equipamento/ instalação para operação normal de trabalho.					
Data:	Hora:	Responsável (Nome):		(Visto):	
PESSOAS AUTORIZADAS PARA O TRABALHO					
Fui orientado sobre os riscos inerentes aos trabalhos a serem executados pela minha equipe de serviços, ficando ciente dos recursos que deverão ser utilizados na prevenção de acidentes.					
Nome	Função	Empresa	Assinatura	Capacitado	
				1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
				3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
				5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>
				7 <input type="checkbox"/>	8 <input type="checkbox"/>
				9 <input type="checkbox"/>	10 <input type="checkbox"/>
				11 <input type="checkbox"/>	12 <input type="checkbox"/>
				13 <input type="checkbox"/>	14 <input type="checkbox"/>
				15 <input type="checkbox"/>	16 <input type="checkbox"/>
				17 <input type="checkbox"/>	18 <input type="checkbox"/>
				19 <input type="checkbox"/>	20 <input type="checkbox"/>

ANEXO D - ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO

FORMULÁRIO		MDB.SSO.FO.0011-R2					
CHECK LIST TRABALHOS DE RISCO - PTE							
Número da PTR: _____							
ELETRICIDADE			TRABALHOS EM ALTURA				
1) Os Trabalhadores estão qualificados e/ou habilitados, capacitados e autorizados para a realização do trabalho?	Sim	Não	N/A	1) O local em que os serviços serão executados e seu entorno está devidamente adequado e isolado?	Sim	Não	N/A
2) Os equipamentos são adequados ao trabalho e estão em perfeito estado de utilização e compatíveis com a tensão das instalações elétricas existentes?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2) O estabelecimento dos sistemas e pontos de ancoragem estão devidamente adequados e seguros?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) A área ao redor da atividade está isolada e identificada, evitando entrada/passagem de pessoas e veículos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3) Há condições meteorológicas adversas que possam resultar em perigo para atividade?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) Caso o trabalho seja executado próximo a instalações elétricas energizadas, são respeitadas as distâncias mínimas de segurança estabelecidas no Anexo I da NR10?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4) Os andaimes estão montados adequadamente com travessão intermediário, encaixes fixados, piso regular, guarda corpo, piso fechado, estáveis e seguros e trava nas rodas (andaimes móveis)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) Após desenergização da máquina e/ou equipamento e/ou instalações elétricas foi verificado/atestado a ausência de energia residual ou de energização acidental?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5) Os equipamentos de segurança estão em perfeito estado de conservação e adequados para o trabalho?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) Existem serviços ocorrendo próximo ao local da realização do trabalho que possa interferir na execução da atividade ou que ponha em risco as pessoas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6) As cordas estão em boas condições sem sinais de desgastes e/ou falhas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) Foi aberta a OS para trabalhos de risco e elaborado procedimento, com supervisão adequada realizada por profissional legalmente habilitado?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7) Os trabalhadores estão capacitados e autorizados para execução do trabalho?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) O trabalho é realizado por no mínimo duas pessoas? (É proibido a realização de trabalhos isolados em AT e SEP)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8) Há procedimentos e medidas de resgate/salvamento para emergências?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) Colaboradores sem adorno metálicos (anelos, relógios, pulseiras, aliança)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9) Foi verificado a capacidade de carga do equipamento sendo compatível com o peso do trabalhador?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) O trabalho será realizado com a máquina e/ou equipamento ou instalações elétricas - BT, AT e/ou SEP energizado (se sim adotar medidas de controle dos riscos)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10) O trabalhador possui identificação que permita saber a validade da capacitação e do ASD (crachá), bem como exames complementares necessários?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) O serviço será realizado em e/ou entorno/próximo de local sob atmosfera explosiva/inflamável?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11) Cadeiras e Andaimos suspensos possuem ART, projeto de fixação e sustentação?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) Outros:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12) Foram adotadas medidas que impeçam a queda de materiais e ferramentas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13) Outros:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	13) Foi instalada linha de vida para segurança do trabalhador?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14) Foram considerados os riscos adicionais? Ex: Riscos Mecânicos; Elétricos; Corte e solda; Líquidos, gases, vapores, fumaças metálicas e fumaça; Soterramento; etc.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TRABALHOS A QUENTE			PRODUTOS QUÍMICOS E GASES PERIGOSOS				
1) Equipamento para Serviços a Quente está em boas condições?	Sim	Não	N/A	1) Existe a FISPQ dos produtos químicos e gases perigosos e estão disponíveis na área?	Sim	Não	N/A
2) A área está devidamente sinalizada e isolada?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2) Foram avaliados os riscos dos produtos químicos e gases perigosos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) Foram posicionados os equipamentos de combate a incêndio?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3) Os produtos químicos e gases perigosos são manuseados por pessoas capacitadas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) Foram eliminados do local elementos que tornam a atmosfera explosiva? poeiras, gases, etc.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4) Os EPIs são específicos para atender às características dos produtos utilizados na atividade?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) Foram verificadas tubulações subterrâneas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5) Os produtos químicos e gases perigosos possuem identificação de riscos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) Combustíveis sem possibilidade de remoção foram protegidos com material não combustível?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6) Outros:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) Foi verificado se todos os extintores e mangueiras de incêndio estão presentes e em condição de uso?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) É necessária a permanência de brigadistas no local de trabalho?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) O serviço será realizado em e/ou entorno/próximo de local sob atmosfera explosiva/inflamável/elétrica?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ELEVAÇÃO DE CARGA			ESCAVAÇÃO				
1) Foi elaborado o Plano de Rigging, assinado por profissional habilitado?	Sim	Não	N/A	1) O local está livre de tubulação elétrica?	Sim	Não	N/A
2) A área está isolada e sinalizada, com espaço suficiente para a movimentação?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2) A área está isolada e sinalizada?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) O trabalho está livre de rede elétrica?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3) Foi analisada a necessidade de escoramento do local?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) Verificação das cintas de movimentação de cargas, se estão íntegras e sem sinais de desgaste?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4) As condições ambientais (calor) estão normais?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) O equipamento foi inspecionado previamente?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5) Se houver tubulação de vapor e/ou produto químico foram despressurizadas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) Foi conferida a amarração da carga?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6) A iluminação é suficiente?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) São requeridos amortecedores de cargas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7) A ventilação é suficiente?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) São utilizadas contas guia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8) Os Trabalhadores possuem capacitação para o trabalho?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) Foi realizado checklist dos equipamentos (muro, guindaste, etc)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9) Foi garantida a despressurização de tubulação vapor e produtos químicos existentes?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) Os operadores dos equipamentos possuem capacitação para operar o equipamento (curso de formação)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10) Outros:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) Trabalhadores conhecem a sinalização para a movimentação de carga	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11) Outros:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TRABALHOS EM ÁREAS CLASSIFICADAS			TRABALHOS EM ÁREAS CLASSIFICADAS				
1) Existe a possibilidade de formação de atmosfera explosiva na área ou equipamento onde será realizado o serviço?	Sim	Não	N/A	1) Todas as ferramentas manuais utilizadas são de berílio, latão ou cobre?	Sim	Não	N/A
2) É necessário utilizar barreira de segurança intrínseca(Ex-1a)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2) Existe acúmulo de poeira inflamável próximo ao local?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) É possível eliminar/mitigar a presença de produtos inflamáveis?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3) O isolamento/sinalização da área onde será realizado o serviço garante o espaço mínimo suficiente para execução da atividade?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) Tem extintor próximo ao local de trabalho?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4) Realizar medição da explosividade da atividade em questão, para liberação com resultado encontrado:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) Equipamentos elétricos utilizados possuem certificados para áreas classificadas e inspeção periódicas em dia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5) Outros:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
EPI's e/ou EPC's / Acessórios	Sim	Não	N/A	EPI's e/ou EPC's / Acessórios	Sim	Não	N/A
Controle de acesso e identificação classificados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Controle de acesso e identificação classificados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Controle de acesso e identificação classificados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sistema de bloqueio e etiquetagem / Tagout / lockout	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ANEXO E – RESULTADOS DOS ENSAIOS NO SECCIONADOR

SECCIONADORA BLINDADA TRIPOLAR – K8



Figura 6: Seccionadora tripolar K8.

DESCRIÇÃO: seccionadora tripolar de alta tensão blindada fabricante ABB, número de série TVC2AED0012181.

ATIVIDADES REALIZADAS: inspeção técnica, limpeza, aperto de conexões elétricas, medição de isolamento elétrica com megômetro e medição de resistência de contato com microhmímetro.

AVARIAS ENCONTRADAS: Não foram observadas avarias durante a manutenção.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES: Conforme.

MEDIÇÕES

Resistência de Isolamento (Megômetro) - Contato Fixo / Carcasa

MEDIDA	R	S	T	Unidade	Referência
Un	13,8	13,8	13,8	kV	
R(30s)	237	162	87	MΩ	$\geq 10M\Omega/kV$
IA	1,10	1,17	1,13	-	≥ 1
Resultado	Aprovado	Aprovado	Reprovado	-	Aprovado

Legenda dos Termos

Un	Tensão nominal do enrolamento
R(30s)	Resistência medida após 30 segundos do início da medição
IA	Índice de absorção dielétrica

Resistência de Isolamento (Megômetro) - Cabos Isolados

MEDIDA	R	S	T	Unidade	Referência
Un	13,8	13,8	13,8	kV	
R(30s)	137.000	60.100	89.600	MΩ	$\geq 10M\Omega/kV$
IA	1,02	1,12	1,01	-	≥ 1
Resultado	Aprovado	Aprovado	Aprovado	-	Aprovado

Legenda dos Termos

Un	Tensão nominal do enrolamento
R(30s)	Resistência medida após 30 segundos do início da medição
IA	Índice de absorção dielétrica

(83) 99831-2562

contato@exon.eng.br

18/32

(83) 99315-7788

@exon.engenharia

RESISTÊNCIA DE CONTATO

ALTA TENSÃO

Medição	Valor Medido	Unidade	Resultado
R	237	$\mu\Omega$	Aprovado
S	221	$\mu\Omega$	Aprovado
T	237	$\mu\Omega$	Aprovado
REFERÊNCIA			$<400\mu\Omega$

ANEXO F - RESULTADOS DOS ENSAIOS NO DISJUNTOR



DISJUNTOR DE ALTA TENSÃO - MOINHO



Figura 5: Disjuntor geral de alta tensão.

DESCRIÇÃO: disjuntor geral de alta tensão fabricante ABB, modelo HD4/R 24.06.16, número de série TVC1AE00017430.

ATIVIDADES REALIZADAS: Inspeção técnica, medição de isolamento elétrica com megômetro entre entrada e saída e de resistência de contato com microhmímetro.

AVARIAS ENCONTRADAS: Durante as manobras para teste o sistema mecânico do disjuntor fathou, impossibilitando o carregamento da mola. Solucionado via lubrificação.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES:

Recomenda-se que em caso de persistência da falha mecânica o disjuntor deverá ser submetido a uma manutenção de seu sistema mecânico.

MEDIÇÕES

Resistência de Isolamento (Megômetro) - Aberto - Entrada / Saída

MEDIDA	R	S	T	Unidade	Referência
Un	13,8	13,8	13,8	kV	
R(30s)	2.740	2.310	2.200	GΩ	$\geq 10M\Omega/kV$
IA	1,31	1,01	1,16	-	≥ 1
Resultado	Aprovado	Aprovado	Aprovado	-	Aprovado

Legenda dos Termos

Un	Tensão nominal do enrolamento
R(30s)	Resistência medida após 30 segundos do início da medição
IA	Índice de absorção dielétrica

RESISTÊNCIA DE CONTATO

ALTA TENSÃO

Medição	Valor Medido	Unidade	Resultado
R	101	$\mu\Omega$	Aprovado
S	122	$\mu\Omega$	Aprovado
T	133	$\mu\Omega$	Aprovado
REFERÊNCIA			$<200\mu\Omega$

ANEXO G - RESULTADOS DOS ENSAIOS NO TRAFÓ 1000 KVA



TRANSFORMADOR 1 - Moinho



Descrição: Transformador a seco, de 1000 kVA, 13,8/0,38kV, fabricante ABB, número de série: 10581.

Atividades realizadas: Inspeção técnica visual do equipamento, limpeza com pincel macio e produto não agressivo aos materiais e ao meio ambiente e reaperto das conexões elétricas. Medição de parâmetros elétricos com Microhmímetro, Megômetro e Medidor de Relação de Transformação.

Avarias encontradas: A observação do elevado desvio da média das resistências de enrolamento nas bobinas X1, H1 e H2. Foi corrigido durante a manutenção preventiva.

Figura 3: Vista do transformador 1, depois da manutenção.

Tabela 2: Medições de resistência de isolamento do transformador 1 do moinho.

Resistência de isolamento (Megômetro)					
MEDIDA	Alta/Baixa	Alta/Terra	Baixa/Terra	Unidade	Referência
Tensão Nominal	13800	13800	380	Volts	
R(30s)	130	140	190	GΩ	>= 10MΩ/kV
IA	1,08	1,14	1,05	Adimensional	>= 1

R(30s)	Resistência medida da isolamento após 30 segundos de medição
IA	Índice de absorção dielétrica

Tabela 3: Medições de resistência de enrolamentos de baixa tensão do transformador 1 do moinho.

RESISTÊNCIA DOS ENROLAMENTOS (Método Ponte de Kelvin)			
BAIXA TENSÃO			
Medição	Valor Medido	Unidade	Desvio (%)
X0-X1	630	μΩ	1,070%
X0-X2	620	μΩ	0,535%
X0-X3	620	μΩ	0,535%
REFERÊNCIA			<5%

Tabela 4: Medições de resistência de enrolamentos de alta tensão do transformador 1 do moinho.

ALTA TENSÃO			
Medição	Valor Medido	Unidade	Desvio (%)
H1-H2	1,75	Ω	0,943%
H2-H3	1,79	Ω	1,321%
H1-H3	1,76	Ω	0,377%
REFERÊNCIA			<5%

Tabela 5: Medições de relação de transformação do transformador 1 do moinho.

Relação de Transformação (TTR)			
Valores de Tensão Nominal			
Tensão Primária (V)	13800	Tensão Secundária (V)	220
Valores Medidos			
Nominal	H1-H2 / X0-X2	H2-H3 / X0-X3	H3-H1 / X0-X1
62,727	62,670	62,740	62,680
Desvio (%)	0,0913%	0,0203%	0,0754%
REFERÊNCIA			<0,5%

Conclusões/Recomendações: No interior do cubículo e sobre o transformador depositava-se uma quantidade elevada de resíduos de trigo. Recomenda-se a utilização de dispositivos e mecanismos para mitigar a penetração de contaminantes e a realização de manutenção preventiva periódica e limpeza do transformador. Não são necessárias intervenções imediatas no transformador para adequações.

ANEXO H - RESULTADOS DOS ENSAIOS NO TRAFIO 1000 KVA



TRANSFORMADOR 2 - Moinho



Figura 4: Vista superior do transformador 2 depois da manutenção.

Descrição: Transformador a seco, de 1000 kVA, 13,8/0,38kV, fabricante ABB, número de série: 10579.

Atividades realizadas: Inspeção técnica visual do equipamento, limpeza com pincel macio e produto não agressivo aos materiais e ao meio ambiente e reaperto das conexões elétricas. Medição de parâmetros elétricos com Microhmímetro, Megômetro e Medidor de Relação de Transformação.

Avarias encontradas: Avaria superficial na parte superior da bobina H1/X1, possivelmente decorrente de ponto quente na conexão da fase X1, todavia sem indícios de anormalidades à operação do transformador, evidenciado nos parâmetros elétricos. Isolador avariado em carcaça e terminal X3.

Tabela 6: Medições de resistência de isolamento do transformador 2 do moinho.

Resistência de Isolamento (Megômetro)					Referência
MEDIDA	Alta/Baixa	Alta/Terra	Baixa/Terra	Unidade	
Tensão Nominal	13800	13800	380	Volts	
R(30s)	123	24	210	GΩ	>= 10MΩ/kV
IA	1,06	1,83	1,19	Adimensional	>= 1

R(30s)	Resistência medida da isolamento após 30 segundos de medição
IA	Índice de absorção dielétrica

Tabela 7: Medições de resistência de enrolamentos de baixa tensão do transformador 2 do moinho.

RESISTÊNCIA DOS ENROLAMENTOS (Método Ponte de Kelvin)			
BAIXA TENSÃO			
Medição	Valor Medido	Unidade	Desvio (%)
X0-X1	590	μΩ	3,279%
X0-X2	620	μΩ	1,639%
X0-X3	620	μΩ	1,639%
REFERÊNCIA			<5%

Tabela 8: Medições de resistência de enrolamentos de alta tensão do transformador 2 do moinho.

ALTA TENSÃO			
Medição	Valor Medido	Unidade	Desvio (%)
H1-H2	1,63	Ω	3,168%
H2-H3	1,73	Ω	2,772%
H1-H3	1,69	Ω	0,396%
REFERÊNCIA			<5%

Tabela 9: Medições de relação de transformação do transformador 2 do moinho.

Relação de Transformação (TTR)			
Valores de Tensão Nominal			
Tensão Primária (V)	13800	Tensão Secundária (V)	220
Valores Medidos			
Nominal	H1-H2 / X0-X2	H2-H3 / X0-X3	H3-H1 / X0-X1
62,727	62,560	62,630	62,560
Desvio (%)	0,2667%	0,1551%	0,2667%
REFERÊNCIA			<0,5%

Conclusões/Recomendações: No interior do cubículo e sobre o transformador depositava-se uma quantidade elevada de resíduos de trigo. Recomenda-se a utilização de dispositivos e mecanismos para mitigar a penetração de contaminantes e a realização de manutenção preventiva periódica e limpeza do transformador. Observações da manutenção anterior sanadas durante a manutenção preventiva. Sugere-se a substituição de isolador avariado de forma imediata.

ANEXO I - RESULTADOS DOS ENSAIOS NO TRAFÓ 2 MVA



TRANSFORMADOR 3 - Moinho



Figura 5: Vista lateral do transformador 3 depois da manutenção.

Descrição: Transformador a seco, de 2000 kVA, 13,8/0,38kV, fabricante WEG, número de série: 1019887330.

Atividades realizadas: Inspeção técnica visual do equipamento, limpeza com pincel macio e produto não agressivo aos materiais e ao meio ambiente e reaperto das conexões elétricas. Medição de parâmetros elétricos com Microhmímetro, Megômetro e Medidor de relação de espira.

Avárias encontradas: Sem avárias encontradas. Observações da manutenção anterior sanadas durante manutenção preventiva.

Tabela 10: Medições de resistência de isolamento do transformador 2 do moinho.

Resistência de Isolamento (Megômetro)					
MEDIDA	Alta/Baixa	Alta/Terra	Baixa/Terra	Unidade	Referência
Tensão Nominal	13800	13800	380	Volts	
R(30s)	180	190	117	GΩ	>= 10MΩ/kV
IA	1,39	1,21	1,15	Adimensional	>= 1

R(30s)	Resistência medida da isolamento após 30 segundos de medição
IA	Índice de absorção dielétrica

Tabela 11: Medições de resistência de enrolamentos de baixa tensão do transformador 2 do moinho.

RESISTÊNCIA DOS ENROLAMENTOS (Método Ponte de Kelvin)			
BAIXA TENSÃO			
Medição	Valor Medido	Unidade	Desvio (%)
X0-X1	240	μΩ	2,703%
X0-X2	250	μΩ	1,351%
X0-X3	250	μΩ	1,351%
		REFERÊNCIA	<5%

Tabela 12: Medições de resistência de enrolamentos de alta tensão do transformador 2 do moinho.

ALTA TENSÃO			
Medição	Valor Medido	Unidade	Desvio (%)
H1-H2	558	mΩ	2,826%
H2-H3	543	mΩ	0,061%
H1-H3	527	mΩ	2,887%
		REFERÊNCIA	<5%

Tabela 13: Medições de relação de transformação do transformador 2 do moinho.

Relação de Transformação (TTR)			
Valores de Tensão Nominal			
Tensão Primária (V)	13800	Tensão Secundária (V)	220
Valores Medidos			
Nominal	H1-H2 / X0-X2	H2-H3 / X0-X3	H3-H1 / X0-X1
62,380	62,320	62,440	62,380
Desvio (%)	0,0962%	0,0962%	0,0000%
		REFERÊNCIA	<0,5%

ANEXO J - RESULTADO DO ENSAIO NO TP DE PROTEÇÃO



TRANSFORMADORES DE POTENCIAL



Figura 9: Transformadores de potencial da proteção geral.

DESCRIÇÃO: transformadores de potencial da proteção geral.

ATIVIDADES REALIZADAS: Inspeção técnica, limpeza, aperto de conexões elétricas e teste de isolamento com megômetro.

AVARIAS ENCONTRADAS: Não foram observadas avarias durante a intervenção.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES: Conforme.

MEDIÇÕES

Resistência de Isolamento (Megômetro) - Corrigido para 75° C

MEDIDA	Alta - Carcaça	Unidade	Referência
Un	13,8	kV	
R(30s)	4.280	MΩ	$\geq 10\text{M}\Omega/\text{kV}$
IA	1,07	-	≥ 1
Resultado	Aprovado	-	Aprovado

Legenda dos Termos

Un	Tensão nominal do enrolamento
R(30s)	Resistência medida após 30 segundos do início da medição
IA	Índice de absorção dielétrica

ANEXO K - RESULTADO DO ENSAIO NO TC DE PROTEÇÃO



MEDIÇÕES

FASE R

Resistência de Isolamento (Megômetro) - Corrigido para 75° C

MEDIDA	Alta - Baixa	Alta - Carcaça	Baixa - Carcaça	Unidade	Referência
Un	13,8	13,8	0,38	kV	
R(30s)	25.854	8.397	3.801	MΩ	$\geq 10M\Omega/kV$
IA	1,10	1,29	1,26	-	≥ 1
Resultado	Aprovado	Aprovado	Aprovado	-	Aprovado

Legenda dos Termos

Un	Tensão nominal do enrolamento
R(30s)	Resistência medida após 30 segundos do início da medição
IA	Índice de absorção dielétrica

FASE S

Resistência de Isolamento (Megômetro) - Corrigido para 75° C

MEDIDA	Alta - Baixa	Alta - Carcaça	Baixa - Carcaça	Unidade	Referência
Un	13,8	13,8	0,38	kV	
R(30s)	24.263	10.739	4.906	MΩ	$\geq 10M\Omega/kV$
IA	1,00	1,02	1,07	-	≥ 1
Resultado	Aprovado	Aprovado	Aprovado	-	Aprovado

Legenda dos Termos

Un	Tensão nominal do enrolamento
R(30s)	Resistência medida após 30 segundos do início da medição
IA	Índice de absorção dielétrica

FASE T

Resistência de Isolamento (Megômetro) - Corrigido para 75° C

MEDIDA	Alta - Baixa	Alta - Carcaça	Baixa - Carcaça	Unidade	Referência
Un	13,8	13,8	0,38	kV	
R(30s)	6.938	981	1.335	MΩ	$\geq 10M\Omega/kV$
IA	1,07	1,04	1,18	-	≥ 1
Resultado	Aprovado	Aprovado	Aprovado	-	Aprovado

Legenda dos Termos

Un	Tensão nominal do enrolamento
R(30s)	Resistência medida após 30 segundos do início da medição
IA	Índice de absorção dielétrica

O Anexo L representa o relatório de termografia de um conjunto de disjuntores-motor de BT. A inspeção nos componentes da subestação é realizada mensalmente. Nesse caso, foi identificado uma suspeita de falha no equipamento, devido a concentração de calor nos seus terminais de entrada. Recomendações de intervenção são apontadas, visando corrigir a anomalia. O resultado é comparado na próxima rota de inspeção termográfica.

ANEXO L - RELATÓRIO DE TERMOGRAFIA



Gerência Industrial
Engenharia de Manutenção
PCM - Manutenção Preditiva
Relatório de Termografia

**SETOR: SUBESTAÇÃO
PRINCIPAL
MÁQUINA: PAINEL + FH B2.1 -
SUPERIOR
COMPONENTE: DISJUNTOR
1220 F2
TAG DME: 11097**

27/10/2023 08:40:54



FLIR0805.jpg

FLIR E60

64525771

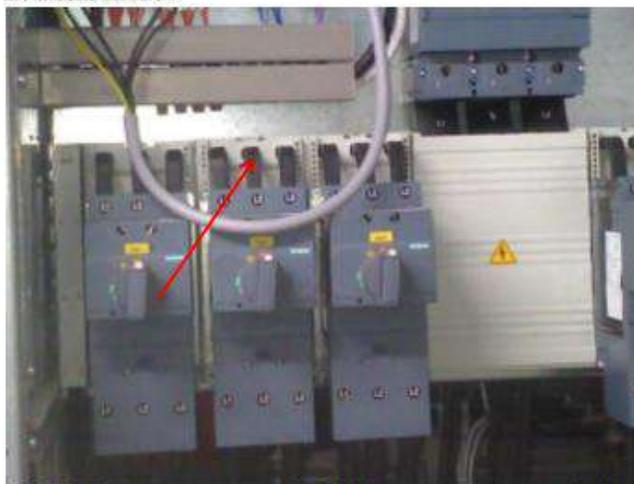
Medições

Bx1	Desligado	
Sp1		64,7 °C
Sp2		62,2 °C
Sp3		61,9 °C
Dt2	Sp1 - Sp3	2,7 °C
Dt1	Sp1 - Sp2	2,5 °C

Parâmetros

Emissividade	0.75
Temp. refl.	20 °C

27/10/2023 08:40:54



FLIR0805.jpg

FLIR E60

64525771

SUSPEITA DE FALHA

AÇÕES RECOMENDADAS:

- VERIFICAR SOBRECARGA NO COMPONENTE;
- VERIFICAR SE HÁ SINAIS DE DESGASTE E OXIDAÇÃO DA CONEXÃO;
- VERIFICAR DIFERENÇA DE CORRENTE E TENSÃO ENTRE FASES;
- VERIFICAR MAU CONTATO NOS TERMINAIS;
- MELHORAR SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DA SALA E PAINEL.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus João Pessoa
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, Joao Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Trabalho de conclusão de curso

Assunto:	Trabalho de conclusão de curso
Assinado por:	Antonio Chianca
Tipo do Documento:	Dissertação
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Antonio Fellipe Chianca Lucena, ALUNO (20161610039) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - JOÃO PESSOA, em 28/12/2023 15:34:49.

Este documento foi armazenado no SUAP em 28/12/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1041183

Código de Autenticação: 65e7351f77

