

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR
COORDENAÇÃO DO CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

LUCAS CÂNDIDO DE QUEIROZ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
PLANO DE MANUTENÇÃO PARA A SUBESTAÇÃO ABRIGADA DO IFPB - CAMPUS
JOÃO PESSOA

JOÃO PESSOA – PB

2024

LUCAS CÂNDIDO DE QUEIROZ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
PLANO DE MANUTENÇÃO PARA A SUBESTAÇÃO ABRIGADA DO IFPB - CAMPUS
JOÃO PESSOA

Trabalho de conclusão de curso apresentado à coordenação do curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, como requisito parcial à para a obtenção do título Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr Alan Melo Nóbrega

JOÃO PESSOA – PB

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha do IFPB, *campus* João Pessoa

Q3p

Queiroz, Lucas Cândido de.

Plano de manutenção para a subestação abrigada do IFPB –
campus João Pessoa / Lucas Cândido de Queiroz. - 2024.
62 f. : il.

TCC (Graduação – Bacharelado em Engenharia Elétrica) –
Instituto Federal de Educação da Paraíba / Coordenação do
Curso Superior em Engenharia Elétrica, 2024.
Orientação : Prof. Dr. Alan Melo Nóbrega.

1. Subestação abrigada. 2. Manutenção preventiva. 3. En-
saio elétrico. I. Título.

CDU 621.311.4(043)

LUCAS CÂNDIDO DE QUEIROZ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
PLANO DE MANUTENÇÃO PARA A SUBESTAÇÃO ABRIGADA DO IFPB - CAMPUS
JOÃO PESSOA

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
ALAN MELO NOBREGA
Data: 10/10/2024 13:35:53-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr Alan Melo Nóbrega (Orientador)
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia - IFPB



Documento assinado digitalmente
FRANKLIN MARTINS PEREIRA PAMPLONA
Data: 10/10/2024 14:18:48-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Franklin Martins Pereira Pamplona
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia - IFPB



Documento assinado digitalmente
GILVAN VIEIRA DE ANDRADE JÚNIOR
Data: 16/10/2024 07:47:59-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Gilvan Vieira de Andrade Júnior
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia - IFPB

Aprovado em 03 de Outubro de 2024.

AGRADECIMENTOS

Agradecer a Deus, primeiramente, que sempre me guiou e me deu forças em momentos difíceis. Nesse momento, é necessário destacar todo o esforço e ajuda que meus pais me deram para concluir essa graduação, sem eles isso não seria possível, pois em momentos de dificuldades eu conseguia me dedicar apenas ao curso. Ainda, agradecer colegas e amigos de graduação que deram todo o apoio e caminharam junto comigo nessa jornada, em uma graduação desse nível, encontrar bons amigos para dar apoio, estudar juntos e vencer as adversidades é de extrema importância. Agradecer ao meu orientador Alan Melo Nóbrega, que sempre me instruiu corretamente, sempre se disponibilizou prontamente para dirimir as dúvidas e deu excelentes sugestões, que agregaram muito ao trabalho. Por fim, mas não menos importante, deixar meus agradecimentos a todos os professores que sempre dedicam seu tempo e sua experiência ao curso, aos alunos, à instituição, sem esse esforço não seria possível ter uma graduação em um nível de excelência tão alto.

RESUMO

Esse trabalho descreve um cronograma de manutenção preventivo para a subestação "leste" do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), campus João Pessoa. O campus possui duas subestações abrigadas e uma aérea, essa possui 150kVA de capacidade de transformação enquanto aquelas possuem 500kVA cada. A subestação "leste" não recebe as devidas manutenções preventivas e preditivas periodicamente, isso ocasiona problemas constantes e ocorrências graves. Assim, é evidente que a falta de manutenções preditivas e preventivas é o principal problema do local, forçando manutenções corretivas emergenciais quando há alguma atuação ou ocorrência, o que gera diversos prejuízos ao campus João Pessoa. Dessa forma, todos os fatores foram considerados com intuito de que o plano de manutenção atendesse as necessidade da subestação, desde inspeções a ensaios nos equipamentos. Por fim, é proposto um cronograma adaptado para as condições e características da subestação, com intuito de aumentar a periodicidade das manutenções no local.

Palavras-chave: Subestação Abrigada, Manutenção Preventiva, Ensaios Elétricos.

ABSTRACT

This work describes a preventive movement schedule for a "east" substation at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Paraíba (IFPB), João Pessoa campus. The campus has two sheltered substructures and one overhead, with 150kVA of transformation capacity and some up to 500kVA. A "east" substation does not receive preventive and periodic maintenance if there are constant problems and serious irregularities. Thus, it is obvious that poor predictive and preventive management is the main local problem, giving rise to correct management when there is an accident or error, or that there will be several pre-judgments on the João Pessoa campus. From this point of view, all of our ingredients are considered intuitive to the management plan required for subsidence, inspected when testing our equipment. For this reason, we propose a schedule adapted to the conditions and characteristics of the substation, with the aim of increasing the frequency of movement on site.

Keywords: Sheltered Substation, Preventive Maintenance, Electrical Tests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Planta do Instituto Federal da Paraíba (IFPB) Campus João Pessoa.	12
Figura 2 – Diagrama unifilar do IFPB Campus João Pessoa	13
Figura 3 – Entrada da "SE Leste".	13
Figura 4 – Visão lateral da subestação leste.	14
Figura 5 – Trilhamento na haste da chave seccionadora da SE leste.	15
Figura 6 – Termografia em transformador de potência.	20
Figura 7 – Megôhmetro digital.	31
Figura 8 – Cabos para ligação no megôhmetro.	31
Figura 9 – Curva característica em um ensaio de resistência de isolamento.	33
Figura 10 – Conexão para medir o fator de potência entre alta e baixa tensão do transformador.	36
Figura 11 – Conexão padrão de um TTR a um transformador.	38
Figura 12 – Chave Seccionadora trifásica de média tensão com acionamento manual. . .	39
Figura 13 – Termografia em chave seccionadora de média tensão	40
Figura 14 – Ensaio com a AT na parte condutora e na BT na carcaça Megôhmetro . . .	41
Figura 15 – Disjuntor de Média Tensão a Vácuo.	43
Figura 16 – Termografia nos transformadores de corrente de um disjuntor de média tensão. .	44
Figura 17 – Termografia em para-raios de 15kV.	46
Figura 18 – Barramentos de média tensão e isoladores tipo pedestal.	48
Figura 19 – Termografia de barramentos de média tensão e isoladores tipo pedestal. . .	49
Figura 20 – Termografia em um painel de baixa tensão.	50
Figura 21 – Tabela resumo do cronograma de manutenção.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Máxima temperatura admissível para equipamentos de média tensão.	18
Tabela 2 – Máxima temperatura admissível para equipamentos de baixa tensão.	19
Tabela 3 – Tabela de abreviações utilizadas para os tipos de falhas.	21
Tabela 4 – Tabela de interpretação de análise de gases dissolvidos.	23
Tabela 5 – Concentração do total de gases combustíveis em ppm e classificação.	24
Tabela 6 – Ensaios para óleo mineral isolante.	25
Tabela 7 – Valores limite para óleo em transformadores e reatores em uso.	28
Tabela 8 – Ações corretivas para contaminação física ou química do óleo isolante.	29
Tabela 9 – Tensões de teste conforme a tensão nominal do equipamento.	32
Tabela 10 – Conexão para teste em transformador de dois enrolamentos.	33
Tabela 11 – Valores para diagnóstico dos índices de polarização e absorção.	33
Tabela 12 – Ligações para medição de resistência ôhmica dos enrolamentos.	35
Tabela 13 – Tabela da correção de temperatura.	37
Tabela 14 – Conexão dos cabos do megôhmetro aos terminais do disjuntor.	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	TIPOS DE MANUTENÇÕES	16
2.1.1	MANUTENÇÃO PREVENTIVA	16
2.1.2	MANUTENÇÃO PREDITIVA	16
2.1.3	MANUTENÇÃO CORRETIVA	17
2.2	MANUTENÇÃO EM SUBESTAÇÕES ABRIGADAS	17
2.2.1	ALVENARIA E SINALIZAÇÕES	17
2.2.2	INSPEÇÕES TERMOGRÁFICAS	18
2.2.3	TRANSFORMADOR DE FORÇA	19
2.2.3.1	INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM TRANSFORMADORES DE FORÇA .	19
2.2.3.2	ANÁLISE CROMATOGRÁFICA DE GASES DISSOLVIDOS NO ÓLEO ISOLANTE	20
2.2.3.2.1	CLASSES DE FALHAS	21
2.2.3.2.2	EVOLUÇÃO DOS GASES	22
2.2.3.2.3	MÉTODOS PARA INTERPRETAÇÃO DOS GASES	22
2.2.3.3	ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO ISOLANTE	24
2.2.3.3.1	TIPOS DE ENSAIOS	24
2.2.3.4	AÇÕES CORRETIVAS	28
2.2.3.4.1	RECONDICIONAMENTO	29
2.2.3.4.2	REGENERAÇÃO	29
2.2.3.5	PRINCIPAIS ENSAIOS ELÉTRICOS DE ROTINA EM TRANSFORMA- DORES DE FORÇA	29
2.2.3.5.1	RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO	30
2.2.3.5.2	RESISTÊNCIA ÔHMICA DOS ENROLAMENTOS	34
2.2.3.5.3	FATOR DE POTÊNCIA DA ISOLAÇÃO	35
2.2.3.5.4	RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO	37
2.2.4	CHAVE SECCIONADORA	39
2.2.4.1	INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM CHAVES SECCIONADORAS DE MÉ- DIA TENSÃO	39
2.2.4.2	INSPEÇÕES PERIÓDICAS	40

2.2.4.3	RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO	40
2.2.4.4	RESISTÊNCIA DE CONTATO	41
2.2.5	DISJUNTOR	42
2.2.5.1	INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM DISJUNTORES DE MÉDIA TENSÃO	43
2.2.5.2	RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO	44
2.2.5.3	RESISTÊNCIA DE CONTATO	44
2.2.5.4	OUTRAS INSPEÇÕES E ENSAIOS	45
2.2.6	PARA-RAIOS	46
2.2.6.1	INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM PARA-RAIOS	46
2.2.7	TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS	46
2.2.7.1	INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS	47
2.2.7.2	INSPEÇÕES VISUAIS	47
2.2.7.3	RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO	47
2.2.8	BARRAMENTOS DE MÉDIA TENSÃO E ISOLADORES TIPO PEDESTAL	47
2.2.8.1	INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM BARRAMENTOS DE MÉDIA TENSÃO E ISOLADORES TIPO PEDESTAL	49
2.2.9	PAINÉIS ELÉTRICOS DE BAIXA TENSÃO	49
2.2.9.1	INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM PAINÉIS ELÉTRICOS DE BAIXA TENSÃO	50
2.2.10	CUBÍCULO DE MEDIÇÃO	51
2.2.10.1	INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA NO CUBÍCULO DE MEDIÇÃO	51
3	CRONOGRAMA DE MANUTENÇÃO	52
3.1	TRANSFORMADOR	52
3.2	CHAVE SECCIONADORA	53
3.3	DISJUNTOR	53
3.4	PARA-RAIOS	54
3.5	TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS	55
3.6	BARRAMENTOS DE MÉDIA TENSÃO E ISOLADORES TIPO PEDESTAL	55
3.7	QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO (QGBT)	56
3.8	CUBÍCULO DE MEDIÇÃO	56
3.9	TABELA RESUMO DO CRONOGRAMA DE MANUTENÇÃO	57
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
--------------------------------------	----

1 INTRODUÇÃO

As subestações são soluções que compõem o sistema de proteção, controle, transmissão e distribuição de energia de alta potência da fonte geradora à consumidora. Além disso, a subestação transforma a tensão, agindo como pontos de entrega para a demanda (GERADORA, 2016).

Esse tipo de construção apresenta uma grande variedade de equipamentos e "layouts", permitindo atender de maneira mais eficiente às necessidades do sistema elétrico ao qual será conectado. Entre os modelos disponíveis, destaca-se a subestação abrigada, que oferece proteção adicional aos equipamentos. A subestação abrigada ou interna é aquela em que os equipamentos são instalados ao abrigo do tempo, podendo tal abrigo consistir em uma edificação ou câmara subterrânea. Essas subestações podem ser construídas com cubículos metálicos ou de alvenaria (DUAILIBE, 1999).

Todo equipamento do sistema elétrico precisa sofrer manutenções preventivas, com intuito de garantir uma confiabilidade maior, assim evitando manutenções corretivas. Uma rotina de manutenção de subestação ajuda a prevenir danos aos componentes, já que é possível identificar as falhas antes que se desenvolvam. Assim, fica mais fácil detectar e corrigir problemas, melhorando a conservação dos equipamentos (WILLICH, 2023).

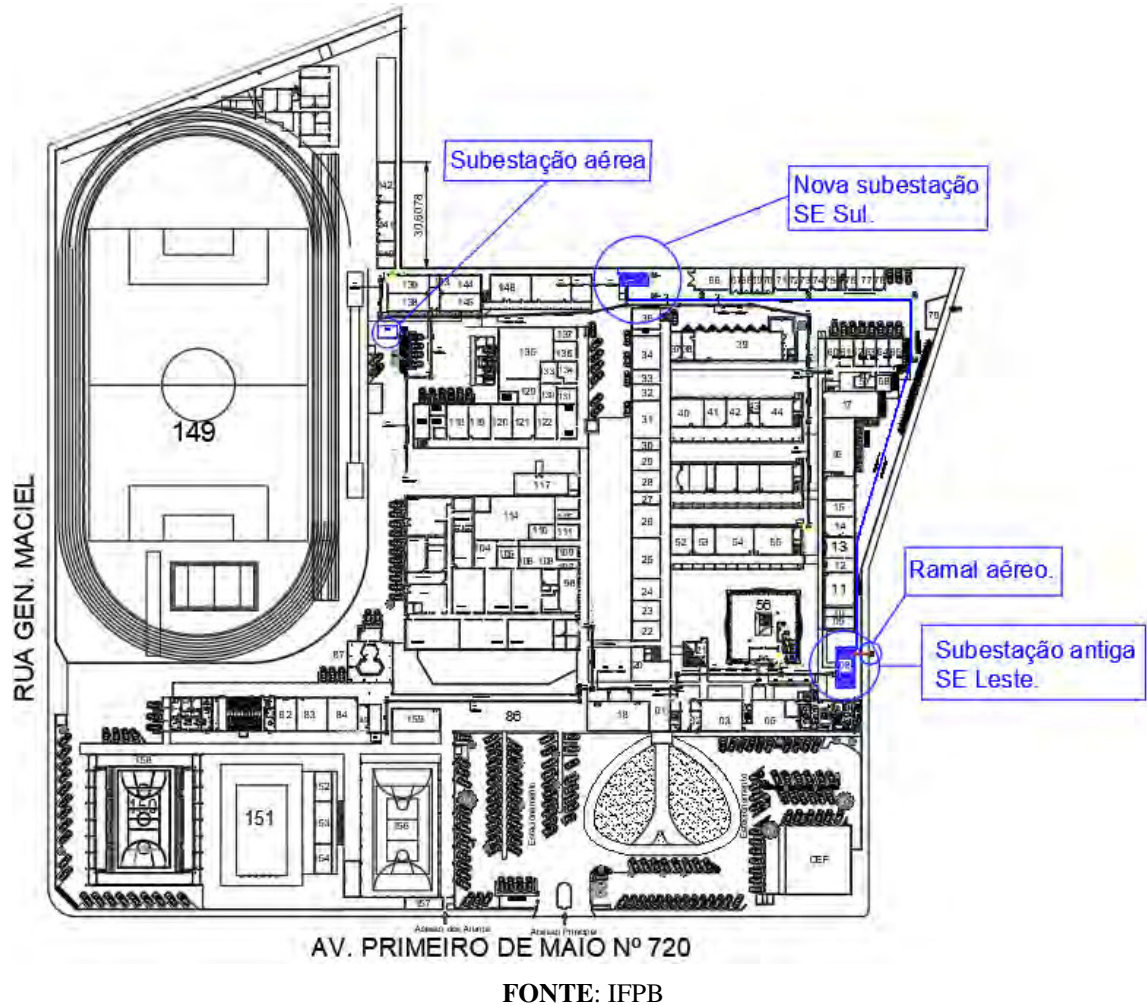
Quanto mais grave a falha, maior é o custo para corrigi-la. A manutenção de subestação, quando feita de forma preventiva, evita o agravamento da situação e ainda permite que as intervenções sejam programadas para horários mais convenientes, em vez de serem feitas de forma emergencial (WILLICH, 2023).

Com seu grande crescimento, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) teve um grande aumento de carga. Dessa forma, para suprir essa necessidade fez melhorias no seu sistema elétrico construindo e incorporando novas subestações.

No campus João Pessoa, a subestação mais antiga é a denominada subestação leste (SE Leste) nela é onde fica o padrão de entrada para a entrega da energia pela concessionária. Ainda, há mais duas subestações, outra abrigada denominada de subestação sul (SE sul) e uma aérea.

A Figura 1 ilustra a localização das subestações na planta do IFPB campus João Pessoa.

Figura 1 – Planta do Instituto Federal da Paraíba (IFPB) Campus João Pessoa.

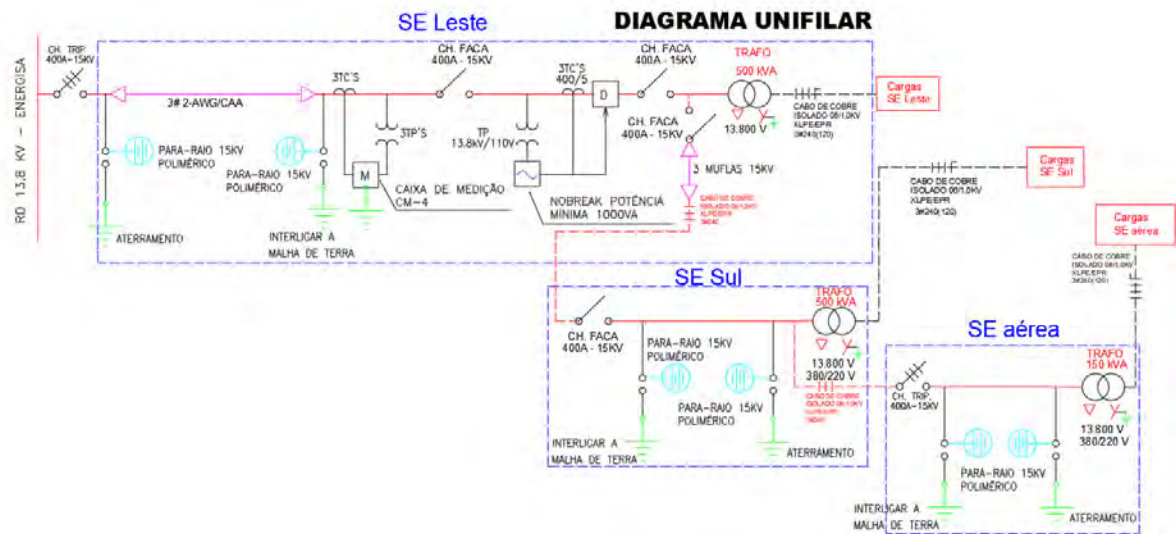


A demanda contratada do campus junto a concessionária é de 536 kVA no horário de ponta, contudo a capacidade de transformação é maior. Juntando as capacidades de transformação das três subestações do campus tem-se a seguinte configuração: 1150 kVA divididos em 500 kVA da SE leste, 500 kVA da SE sul e 150 kVA da subestação aérea.

Das instalações da subestação leste, deriva um ramal subterrâneo em média tensão (13,8 kV) que atende as demais subestações do campus.

Na Figura 2 é possível visualizar o diagrama unifilar das subestações do IFPB.

Figura 2 – Diagrama unifilar do IFPB Campus João Pessoa



FONTE: (QUEIROZ, 2021)

Por ser uma edificação antiga, a subestação sofreu diversas reformas para melhorar sua estrutura e se adequar as mudanças das normas.

A Figura 3 ilustra a entrada da subestação leste.

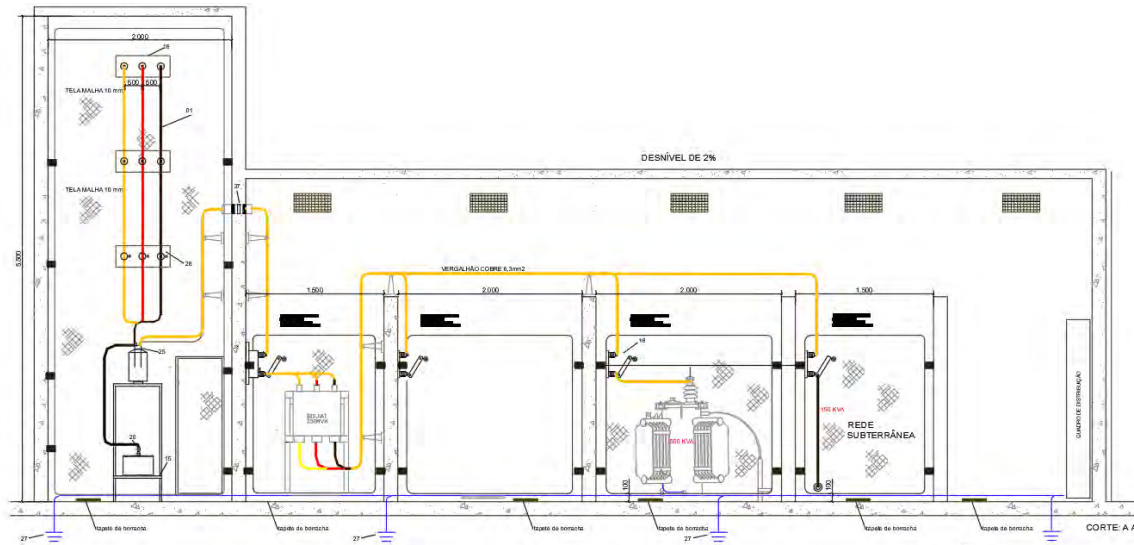
Figura 3 – Entrada da "SE Leste".



FONTE: Autor, 2021

Na Figura 4 observa-se um desenho esquemático da subestação em sua visão lateral.

Figura 4 – Visão lateral da subestação leste.



FONTE: IFPB

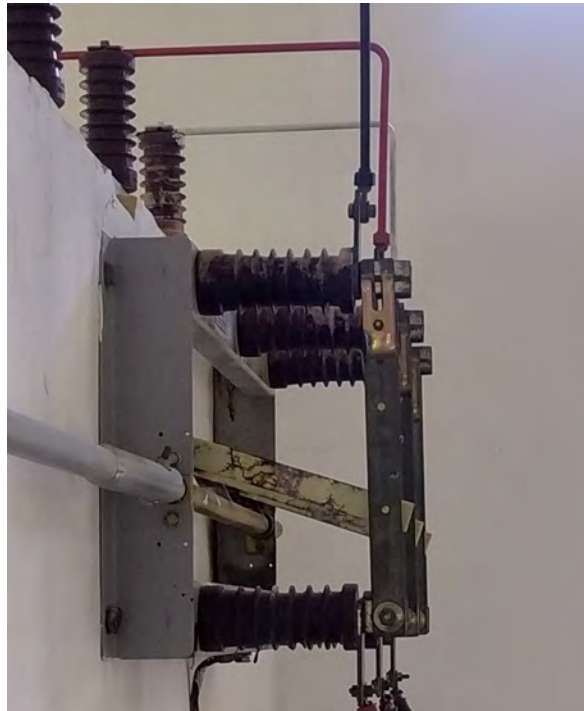
A referida subestação tem histórico de ocorrências que demandam manutenções corretivas emergenciais, causando prejuízos não só ao campus João Pessoa como para a concessionária de energia e seus clientes.

Em relação às ocorrências e suas causas, pode-se destacar um curto supostamente causado por um acidente, durante uma obra, nos cabos de média tensão subterrâneos que ligam as duas subestações abrigadas, em que o relé identificou a ocorrência, mas o disjuntor de média tensão não desarmou devido a defeito mecânico e assim o desarme só ocorreu no religador na saída do alimentador da concessionária de energia, desligando todos os clientes conectados nele.

Outra ocorrência emblemática, foi a explosão de uma chave seccionadora dentro do cubículo da SE leste, provavelmente causado por desgaste nas hastes da chave devido a trilhamentos elétricos.

Na Figura 5, pode ser visualizado uma chave seccionadora da SE leste com trilhamentos nas hastes.

Figura 5 – Trilhamento na haste da chave seccionadora da SE leste.



FONTE: Autor, 2021

Dessa forma, é evidente que a falta de manutenções preventivas e preditivas periodicamente, contribui para as ocorrências no sistema elétrico do IFPB campus João Pessoa.

Assim, o presente trabalho, visa desenvolver um plano de manutenção para a subestação leste que pode ser adaptado para as demais. No corpo do trabalho é realizada uma revisão bibliográfica sobre os tipos de manutenções, os equipamentos e principalmente dos ensaios e inspeções como realizar e os interpretar. Por fim, é proposto um cronograma que abrange toda a subestação e seus equipamentos, visando inspeções e intervenções nos equipamentos com a periodicidade mensal, trimestral, semestral e anual.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica dos assuntos importantes para o entendimento do trabalho.

2.1 TIPOS DE MANUTENÇÕES

O conceito de manutenção refere-se ao conjunto de atividades destinadas a manter ou restaurar equipamentos, máquinas e sistemas a um estado em que possam executar as funções requeridas de forma segura e eficiente. Isso inclui inspeções regulares, reparos, substituição de peças, e ajustes necessários para garantir a operacionalidade e segurança das instalações (ENGEFAZ, 2023).

2.1.1 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Realizada de acordo com critérios preestabelecidos para reduzir a probabilidade de falha de um bem ou de degradação de um serviço efetuado. Segundo Mirshawka e Olmedo (1990), a manutenção preventiva pode ser subdividida em (GEBRAM, 2014):

- Manutenção sistemática ou programada: efetuada conforme o tempo que um equipamento já trabalhou. Realizada em intervalos fixos, deve ser utilizada para criar uma oportunidade para a redução das falhas que não podem ser detectadas antecipadamente ou quando for imposta pelas exigências da produção ou da segurança.
- Manutenção condicional: executada conforme o estado do equipamento após a evolução de um sintoma significativo. Só é realizada quando o equipamento realmente precisa. Com o auxílio da inspeção, não só por instrumentos, mas também com os sentidos humanos, verifica-se quando problemas potenciais irão ocorrer através da comparação com valores mínimos conhecidos.

2.1.2 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva é um tipo de manutenção condicional baseado na evolução ao longo do tempo dos sintomas constatados para determinar o instante ótimo para a intervenção. A manutenção preditiva, segundo a estatística e a teoria da probabilidade, constitui a base para se ter uma manutenção baseada no estado real da máquina e/ou de seus componentes. A descoberta da tendência, por meio da análise dos dados, pode levar às causas das falhas e sugere os tipos de

ações preventivas que devem ser realizadas para evitar futuras falhas (GEBRAM, 2014).

2.1.3 MANUTENÇÃO CORRETIVA

Deveria ser a menos utilizada, pois só existe quando o equipamento falha ou cai abaixo de uma condição aceitável de operação. Segundo o Subcomitê de Manutenção do Grupo Eletrobrás (2010), é a manutenção realizada para corrigir as causas e os efeitos de ocorrências constatadas. Portanto, o desafio é detectar os problemas incipientes, antes que eles levem a uma falha total, e corrigir os defeitos com o menor tempo e custo possíveis, ou seja, buscar um melhor desempenho do equipamento, por meio da manutenção de melhoramento, e de maior uso da manutenção preventiva, reduzindo a necessidade de correções de emergências (GEBRAM, 2014).

2.2 MANUTENÇÃO EM SUBESTAÇÕES ABRIGADAS

Nesse tópico será apresentada uma revisão bibliográfica em relação à manutenção nas instalações e nos equipamentos de uma subestação abrigada.

2.2.1 ALVENARIA E SINALIZAÇÕES

Na parte de alvenaria e sinalizações não há ensaios a serem feitos, na sua maioria são inspeções visuais feitas periodicamente com intuito de encontrar anormalidades nas instalações.

Segundo (PAIVA, 2019) é interessante realizar as seguintes verificações:

- Inspeção visual das paredes e do teto, buscando sinais de infiltrações, rachaduras, mofo ou quaisquer danos visíveis à pintura.
- Inspeção visual de grades de proteção de transformadores e cubículos de transformação em geral.
- Inspeção visual das portas das cabines de transformação. Quando os transformadores se encontrarem desligados, em manutenção, deve-se inspecionar as dobradiças e aplicar óleo lubrificante ou pó de grafite nestas, para mantê-las em funcionamento normal.
- Inspeção visual da porta da subestação, aplicando óleo lubrificante ou pó de grafite nas dobradiças, quando necessário.
- Inspeção das trancas da porta da subestação e das cabines de transformação.
- Inspeção visual de janelas ou combogós, procurando por obstruções ou avarias.

2.2.2 INSPEÇÕES TERMOGRÁFICAS

A aplicação de termovisor nas instalações elétricas é um meio de detecção de possíveis falhas. É um procedimento de grande importância à manutenção, haja vista que possibilita efetivar a medição de temperatura à distância, sem a necessidade de contato físico, obtendo-se informações sobre as condições dos componentes medidos (GEBRAM, 2014).

A termografia é uma técnica utilizada em medições de temperaturas a partir da radiação naturalmente emitida pelos corpos no campo do infravermelho. Essa técnica possibilita a medição de temperatura a distância e a determinação de imagens térmicas (termogramas), as quais permitem uma análise quantitativa para a identificação de níveis isotérmicos e a determinação da temperatura de corpos a partir de radiação infravermelha naturalmente emitida por eles em função de sua temperatura absoluta. Uma das aplicações mais importantes se dá no campo dos sistemas elétricos. A medição é realizada com um instrumento denominado termovisor, e os resultados são comparados entre as radiações emitidas pelo objeto observado e a radiação de uma temperatura de referência que, normalmente, é a do meio ambiente (GEBRAM, 2014).

Nas inspeções realizadas com termovisor em períodos em que ocorre baixo carregamento (inferior a 50 % de carga), há dificuldades para detectar os pontos de defeitos, bem como para determinar valores confiáveis de temperatura. As inspeções realizadas nos mesmos locais, porém em horários de maior carregamento, acusam pontos de aquecimento que não são detectados nas condições anteriores (GEBRAM, 2014).

A Máxima Temperatura Admissível (MTA) é determinada utilizando valores indicativos provenientes de ensaios e experiências em campo para os componentes de diversos fabricantes. Esses dados são classificados de acordo com critérios específicos, assegurando o estabelecimento de limites seguros de temperatura para o funcionamento desses componentes.

A Tabela 1 contém o parâmetro para média tensão e a Tabela 2 os de baixa tensão.

Tabela 1 – Máxima temperatura admissível para equipamentos de média tensão.

Tipo do Equipamento	MTA
Média Tensão	30 °C + Temperatura Ambiente)

FONTE: R3Brasil, 2013

Tabela 2 – Máxima temperatura admissível para equipamentos de baixa tensão.

Equipamentos	MTA
Cabos Isolados e Terminais	70 °C
Barramentos e Conexões (Cobre / Alumínio)	100 °C
Contatos e Articulações de Seccionadoras e Disjuntores	100 °C
Corpos de Fusíveis	100 °C
Demais componentes	25 °C + Temperatura Ambiente

FONTE: R3Brasil, 2013

2.2.3 TRANSFORMADOR DE FORÇA

O transformador é um equipamento estático que, por meio de indução eletromagnética, transfere energia de um circuito, chamado de primário, para um ou mais circuitos, denominados, respectivamente, secundário e terciário. No entanto, é mantida a mesma frequência, porém com tensões e correntes diferentes. (GEBRAM, 2014)

2.2.3.1 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM TRANSFORMADORES DE FORÇA

A termografia em transformadores é uma ferramenta útil para a manutenção preventiva de transformadores, pois permite a detecção de problemas antes que eles se tornem graves (SANTOS, 2022).

O desequilíbrio de fases e sobrecargas elétricas, podem comprometer os equipamentos da subestação, gerando um custo adicional. Conexões elétricas frouxas ou corroídas, podem gerar danos no processo de produção de energia. Com a termografia, é possível detectar os pontos quentes, desequilíbrios de fase, falhas em isolamentos e outros problemas que podem afetar o desempenho e a segurança do transformador (SANTOS, 2022).

A Figura 6 ilustra uma inspeção termográfica em um transformador de força.

Figura 6 – Termografia em transformador de potência.



FONTE: insp-therm, 2021

2.2.3.2 ANÁLISE CROMATOGRÁFICA DE GASES DISSOLVIDOS NO ÓLEO ISOLANTE

A formação de gases em equipamentos elétricos imersos em óleo pode se dar devido ao processo de envelhecimento natural, e/ou em maior quantidade, como resultado de defeitos incipientes. A operação em presença de defeitos pode causar sérios danos aos equipamentos. Logo, é de grande interesse que se possa detectar o defeito em seu estágio inicial de desenvolvimento, podendo a natureza e a importância dos defeitos serem avaliadas a partir da composição dos gases e da taxa de crescimento com que são formados. (NBR 10576:2017)

Segundo a norma NBR 7070/2006, há uma lista de gases que devem ser determinados em um ensaio cromatográfico no Brasil, são os seguintes gases:

- Hidrogênio – H_2 ;
- Oxigênio – O_2 ;
- Nitrogênio – N_2 ;
- Metano – CH_4 ;
- Etano – C_2H_6 ;
- Etileno – C_2H_4 ;
- Acetileno – C_2H_2 ;

Monóxido de Carbono – CO;

Dióxido de Carbono – CO₂;

2.2.3.2.1 CLASSES DE FALHAS

A norma NBR 7274/2012 é uma das normas utilizadas para interpretação da análise dos gases de transformadores em serviço, essa, caracteriza os defeitos encontrados internamente no equipamento da seguinte forma:

Descargas parciais (DP) do tipo plasma frio (corona), resultando em um possível material ou substância depositada no isolamento celulósico, ou do tipo centelhamento, induzindo perfurações carbonizadas no papel, que podem não ser facilmente visualizadas;

Centelhamento (C1) ocorre entre partes metálicas na forma de ruptura dielétrica de alta densidade de ionização;

Descargas de baixa energia (D1), em óleo e/ou papel, evidenciada pela larga carbonização perfurante através do papel, carbonização da superfície do papel (trilha) ou partículas de carvão no óleo (como na operação de mudança de tap do comutador);

Descargas de alta energia (D2), em óleo e/ou papel, com potência evidenciada pela extensiva destruição e carbonização do papel, fusão do metal, extensiva carbonização do óleo e, em alguns casos, atuação da proteção do equipamento, confirmando a alta corrente;

Sobreaquecimento, no óleo e/ou papel, abaixo de 300 °C, o papel torna-se escurecido (T1); acima de 300 °C, o papel apresenta-se carbonizado (T2);

Sobreaquecimento de temperatura acima de 700 °C (T3), há evidência de carbonização do óleo, coloração do metal (800 °C) ou fusão do metal (> 1 000 °C)

A Tabela 3 traz as abreviações utilizadas para as falhas.

Tabela 3 – Tabela de abreviações utilizadas para os tipos de falhas.

DP	Descargas Parciais
C1	Centelhamento
D1	Descargas de baixa energia
D2	Descargas de alta energia
T1	Sobreaquecimento, $t < 300\text{ °C}$
T2	Sobreaquecimento, $300\text{ °C} < t < 700\text{ °C}$
T3	Sobreaquecimento, $t > 700\text{ °C}$

FONTE: NBR 7274/2012

2.2.3.2.2 EVOLUÇÃO DOS GASES

Os defeitos no equipamento, geralmente, têm início de forma sutil, apresentando baixos níveis de energia. Com o tempo, essas imperfeições podem progredir para situações mais sérias, caracterizadas por níveis elevados de energia, o que pode eventualmente levar a um alerta de presença de gás, quebra de isolamento elétrico e eventual falha.

Quando uma falha é identificada em seu início, isso não apenas sinaliza um aumento na concentração dos gases, mas também aponta para a possível transformação ao longo do tempo em uma falha de alta energia, que é mais perigosa quando chega ao seu estágio final.

É prudente evitar tirar conclusões definitivas sobre o estado operacional de um equipamento com base exclusivamente em uma única amostra. A experiência revela diversas ocorrências de erros desse tipo, muitas vezes relacionados a falhas no procedimento de coleta da amostra de óleo.

Em relação à concentração dos gases, um aumento maior que 10% comparado com os valores considerados normais é um pré-requisito para se admitir que uma falha está ativa. A evolução dos gases em altas taxas, como, por exemplo, 50% por semana, com falhas de alta densidade de energia (por exemplo, D₂ ou T₃), são consideradas graves, especialmente se excederem os valores de alarme. (ABNT NBR 7274:2012)

2.2.3.2.3 MÉTODOS PARA INTERPRETAÇÃO DOS GASES

Para a análise dos gases dissolvidos, existem vários métodos desenvolvidos com intuito de identificar uma taxa de crescimento dos gases e os possíveis causadores.

A norma "NBR 7274:2012 Interpretação da análise dos gases de transformadores em serviço" utiliza o "Método de Rogers" para identificar o gás de maior destaque gerado, pois diferentes tipos de falhas resultam na emissão de gases distintos.

Esse método utiliza três proporções de gases-chave:

$$\frac{CH_4}{H_2} \quad (2.1)$$

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} \quad (2.2)$$

$$\frac{C_2H_4}{C_2H_6} \quad (2.3)$$

Para classificar uma geração de gás e identificar uma falha específica, ele postula que os gases começam a ser gerados em pequenas quantidades quando a temperatura atinge um determinado nível. Por exemplo, a formação de hidrogênio começa em torno de 150 °C.

À medida que a temperatura aumenta, a concentração de acetileno começa a aparecer para valores acima de 500 °C, aumentando significativamente acima de 700 °C. Assim, em uma faixa de temperatura específica, a quantidade de um gás se torna maior do que a do outro.

Essas relações, seguem valores típicos que permitem uma estimativa da temperatura e a identificação do tipo de falha envolvida. A Tabela 4 contém as classificações das falhas conforme o resultado das relações dos gases.

Tabela 4 – Tabela de interpretação de análise de gases dissolvidos.

Caso	Falha Característica	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
DP	Descargas Parciais	NS	< 0,1	< 0,2
C1	Centelhamento	0 - 0,6	0,1 - 1	< 1
D1	Descargas de baixa energia	> 1	0,1 - 0,5	> 1
D2	Descargas de alta energia	0,6 - 2,5	0,1 - 1	> 2
T1	Sobreaquecimento, $t < 300$ °C	< 0,01	> 1	< 1
T2	Sobreaquecimento, 300 °C < $t < 700$ °C	< 0,1	> 1	1 - 4
T3	Sobreaquecimento, $t > 700$ °C	< 0,2	> 1	> 4

FONTE: NBR 7274/2012

Em relação ao Total de Gases Combustíveis Dissolvidos (TGCD) a norma recomenda não só a amostragem como também acompanhar a taxa de evolução.

A Tabela 5 contém os valores totais dos gases em partículas por milhão (ppm) segundo a sua classificação.

Tabela 5 – Concentração do total de gases combustíveis em ppm e classificação.

Concentração de gases combustíveis	Classificação
0- 400 ppm	Concentração de gases combustíveis baixa
400 - 900 ppm	Concentração de gases combustíveis médios
900 - 1 500 ppm	Concentração de gases combustíveis significativa
1500 - 2 500 ppm	Concentração de gases combustíveis alta
Acima 2 500 ppm	Concentração de gases combustíveis muito altas

FONTE: NBR 7274/2012

2.2.3.3 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO ISOLANTE

Os equipamentos elétricos empregados na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica frequentemente fazem uso de óleos minerais isolantes. Esses óleos desempenham um papel vital nesses dispositivos. Garantir a operação confiável dos equipamentos preenchidos com óleo requer a vigilância constante e a manutenção da qualidade do óleo.

Assim, manter a qualidade do óleo por meio de análises e inspeções regulares é de suma importância. Isso ajuda a identificar quaisquer mudanças adversas em suas propriedades físicas, químicas ou elétricas, permitindo intervenções preventivas antes que problemas mais sérios ocorram.

O óleo mineral isolante em serviço está sujeito à deterioração devido às condições de uso. O óleo em serviço é submetido a reação de oxidação devido à presença de metais e/ou compostos metálicos, que agem como catalisadores. Como consequência podem ocorrer mudanças de cor, formação de compostos ácidos e, em um estágio avançado da oxidação, precipitação de borra, que podem prejudicar as propriedades elétricas. (NBR 10576:2017)

2.2.3.3.1 TIPOS DE ENSAIOS

A norma NBR 10576:2017 - Óleo mineral isolante de equipamentos elétricos — Diretrizes para supervisão e manutenção, demonstra diversos tipos de ensaios utilizados para analisar a qualidade do óleo isolante, cada ensaio é regido por uma norma específica.

Dessa forma, os ensaios são divididos em grupos de acordo com suas características e periodicidade de realização.

- Grupo 1 - Ensaio de rotina;
- Grupo 2 - Ensaio de complementares;
- Grupo 3 - Ensaio de investigativos.

A Tabela 6 contém os tipos de ensaios conforme os grupos e as respectivas normas que os regem.

Tabela 6 – Ensaio para óleo mineral isolante.

Propriedades	Grupo	Subseção	Norma
Cor e aparência	1	5.2	ABNT NBR 14483
Densidade ^b	1	5.3	ABNT NBR 7148
Fator de perdas dielétricas	1	5.4	ABNT NBR 12133
Índice de neutralização (acidez)	1	5.5	ABNT NBR 14248 ABNT NBR 14448
Rigidez dielétrica	1	5.6	ABNT NBR IEC 60156
Tensão interfacial	1	5.7	ABNT NBR 6234
Teor de água	1	5.8	ABNT NBR 10710
Sedimento e borra	2	5.9	ANEXO A
Teor de inibidor ^c	2	5.10	ABNT NBR 12134
Bifenilas policloradas (PCB)	3	5.11	ABNT NBR 13882
Compatibilidade	3	5.12	ABNT NBR 14274
Enxofre corrosivo ^d	3	5.13	ABNT NBR 10505
Estabilidade à oxidação ^d	3	5.10	ABNT NBR 10504 ABNT NBR 15362
Partículas (contagem de partículas)	3	5.14	ISO 4407 ABNT NBR 14275
Ponto de fluidez ^b	3	5.15	ABNT NBR 11349
Ponto de fulgor e combustão ^b	3	5.16	ABNT NBR 11341
Resistividade	3	5.4	ASTM D 1169
Teor de DBDS	3	5.17	ABNT NBR 16412
Teor de passivador	3	5.18	ABNT NBR 16270
Viscosidade cinemática ^b	3	5.19	ABNT NBR 10441
Análise de gases dissolvidos (AGD)	1	5.20	ABNT NBR 7070 ABNT NBR 7274
Metais	2	5.21	ASTM D 7151
Ferrografia analítica e quantitativa	2	5.22	

FONTE: NBR 10576:2017

Com intuito de manter o escopo do trabalho, serão abordados apenas os ensaios do grupo 1, que são os ensaios de rotina.

- Cor e aparência
 - Segundo a norma NBR 10576:2017 a cor de um óleo isolante é quantificada por meio da luz transmitida e expressa numericamente ao compará-la com padrões de cores. Embora não seja uma característica crítica, esse valor numérico pode ser útil para fins comparativos. Um aumento repentino ou um número de cor excessivamente alto pode sugerir contaminação, ou deterioração do óleo. Além da cor, a aparência do óleo também pode revelar sinais como turbidez ou depósitos, indicativos da presença de contaminantes como água, borra insolúvel, carbono, fibras ou sujeira.
- Densidade
 - A densidade é usada para identificação do tipo de óleo. Em climas frios, a densidade do óleo pode ser importante na determinação de sua adequabilidade para uso. Por exemplo, cristais de gelo formados a partir de água separada podem flutuar no óleo de alta densidade e levar à abertura de arco elétrico na fusão posterior. Não há evidência de que a densidade seja afetada pela deterioração normal do óleo. (NBR 10576:2017)
- Fator de perdas dielétricas
 - A avaliação das perdas dielétricas é realizada através da medição do fator de potência ou fator de dissipação. Os limites aceitáveis para esses parâmetros variam conforme o tipo de equipamento, mas valores elevados do fator de dissipação dielétrica, assim como baixos de resistividade, podem prejudicar o fator de potência e a resistência de isolamento do equipamento elétrico. Geralmente, existe uma relação inversa entre as perdas dielétricas e a resistividade, com essa última diminuindo à medida que as primeiras aumentam. (NBR 10576:2017)
- Índice de neutralização
 - O índice de neutralização, também conhecido como acidez, refere-se à quantidade de componentes ácidos presentes no óleo isolante. Esse índice é uma medida direta dos ácidos formados devido à oxidação ácida que ocorre no óleo ao longo do tempo. Tais ácidos, juntamente com a presença de água e contaminantes sólidos, podem influenciar as propriedades dielétricas e outras características do óleo. A presença de ácidos não apenas impacta a degradação dos materiais celulósicos, mas também pode estar associada à corrosão de partes metálicas em transformadores. A taxa de aumento da acidez do óleo durante o serviço é um indicador significativo da

velocidade de envelhecimento do próprio óleo. (NBR 10576:2017)

- Rigidez dielétrica
 - A norma NBR 10576:2017 cita que a rigidez dielétrica refere-se à capacidade intrínseca do óleo para resistir a tensão elétrica aplicada. O óleo limpo e sem umidade possui uma rigidez dielétrica naturalmente elevada. No entanto, a presença de água livre e partículas sólidas, especialmente em combinação com níveis elevados de água dissolvida, tende a migrar para áreas de alta tensão elétrica, reduzindo significativamente a rigidez dielétrica. Portanto, a medição da rigidez dielétrica é principalmente utilizada para detectar a existência de contaminantes como água ou partículas. Um valor baixo de rigidez dielétrica pode sugerir a presença de um ou mais desses elementos. No entanto, é importante observar que uma alta rigidez dielétrica não garante necessariamente a ausência de contaminantes.
- Tensão interfacial
 - A tensão interfacial entre o óleo e a água é um ensaio para se detectar contaminantes polares solúveis e produtos de oxidação. Esta característica varia com rapidez durante os estágios iniciais de envelhecimento, mas tende a estabilizar quando a deterioração é ainda moderada.
 - Uma rápida redução da tensão interfacial, pode também, ser uma indicação de problemas de compatibilidade entre o óleo e alguns materiais do transformador (vernizes, gaxetas, etc.) ou de contaminação durante o enchimento com óleo.
- Teor de água
 - Segundo Cigré do Brasil, 2013 a água pode ser encontrada de duas formas principais nos equipamentos elétricos que utilizam óleo mineral, como transformadores de potência. A primeira forma é a água livre, que está fisicamente separada do óleo e pode estar emulsionada, resultando em uma aparência turva. Essa água livre também pode estar presente no papel ou isolamento celulósico dos equipamentos. A segunda forma é a água dissolvida no óleo isolante. É importante notar que a solubilidade da água no óleo é diretamente influenciada pela temperatura em que a mistura se encontra. Por outro lado, a água contida no isolamento celulósico não sofre mudanças significativas nas mesmas variações de temperatura.
 - A rigidez dielétrica e o teor de água estão fortemente correlacionados. Ambos são dependentes da temperatura e, portanto, é mais adequado medir o teor de água em diferentes temperaturas de operação do transformador, a fim de obter uma avaliação

confiável da umidade na isolação celulósica. (NBR 10576:2017)

- Análise de gases dissolvidos
 - Análise destinada a identificar a concentração dos gases formados durante a operação do equipamento, tópico abordado no item 2.2.3.2.
- Valores limites
 - Cada ensaio do óleo mineral é baseado em valores limites para uso, ou seja, quando determinado valor é verificado por meio de um ensaio, uma ação corretiva é necessária para solucionar o problema, com intuito de não danificar a operação do equipamento.
 - A Tabela 7 apresenta os valores limite para óleo em transformadores e reatores em uso.

Tabela 7 – Valores limite para óleo em transformadores e reatores em uso.

Característica	Método de ensaio	≤ 36,2 kV	> 36,2 kV ≤ 72,5 kV	> 72,5 kV ≤ 145 kV	> 145 kV
Aparência	Visual		Claro, isento de materiais em suspensão		
Rigidez dielétrica, KV eletrodo tipo calota, mín.	ABNT NBR IEC 60156	40	50	60	
Teor de água, mg/kg, máx.	ABNT NBR 10710	40	30	20	
Fator de perdas, %, máx. a 25 °C a 90 °C a 100 °C	ABNT NBR 12133	0,5 15 20		- 12 15	
Índice de neutralização mg KOH/g, máx.	ABNT NBR 14248	0,20	0,15		
Tensão interfacial, a 25 °C, mN/m, min.	ABNT NBR 6234	20	22	25	
Ponto de fulgor, °C, min.	ABNT NBR 11341	130 °C			
Sedimentos	Ver Anexo A	Nenhum sedimento ou borra precipitável deve ser detectado. Resultados inferiores a 0,02 % em massa devem ser desprezados			
Inibidor (DBPC)	ABNT NBR 12134	Reinibir para 0,3 % quando forem atingidos valores menores que 0,1 %			

FONTE: NBR 10576:2017

2.2.3.4 AÇÕES CORRETIVAS

As principais causas de contaminação do óleo podem ser químicas ou físicas. O tipo da ação corretiva a ser tomada, depende da causa do problema, uma avaliação dos resultados é necessário e ainda, verificar a viabilidade da ação corretiva.

A Tabela 8 contém quais ações corretivas devem ser tomadas diante do tipo de contaminação encontrada no óleo isolante.

Tabela 8 – Ações corretivas para contaminação física ou química do óleo isolante.

Causa principal	Sintomas	Ações corretivas
Física	Teor elevado de água Valor baixo de rigidez dielétrica Teor elevado de partículas Turvamento (não claro)	Recondicionamento (ver 11.1)
Química	Valor elevado de cor Baixa tensão interfacial Valor elevado de acidez Valor elevado do fator de perdas Presença de sedimentos e/ou borra Baixo teor de inibidor, para óleo inibido Baixo teor de passivador, para óleo passivado	Regeneração (ver 11.2) ou troca de óleo (ver 12) Restaurar a concentração original do aditivo de acordo com a Tabela 7

FONTE: NBR 10576:2017

2.2.3.4.1 RECONDICIONAMENTO

Segundo a NBR 10576:2017, o recondicionamento é um procedimento que visa eliminar ou diminuir a contaminação física do óleo por meio de métodos físicos, tais como filtração, desumidificação, desgaseificação, entre outros. Esse processo visa reduzir a quantidade de partículas e água presente no óleo. Além disso, ele pode também remover gases dissolvidos e outros componentes indesejados, como compostos furânicos. Para a remoção de água e partículas do óleo, são utilizados meios físicos como vários tipos de filtração, centrifugação e técnicas de tratamento termovácuo.

2.2.3.4.2 REGENERAÇÃO

É um processo que elimina ou reduz os contaminantes polares solúveis e insolúveis existentes no óleo por meio de processamento químico e físico. Os processos de regeneração requerem competência, equipamentos e experiência especiais. O produto resultante deve ser avaliado por meio de parâmetros críticos de modo a obter informações sobre a eficiência do processo e estimar o tempo de vida útil remanescente. (NBR 10576:2017)

2.2.3.5 PRINCIPAIS ENSAIOS ELÉTRICOS DE ROTINA EM TRANSFORMADORES DE FORÇA

Ensaio de rotina são essenciais para garantir a qualidade, segurança e desempenho contínuo dos transformadores elétricos, assegurando que eles estejam conforme as normas

e especificações estabelecidas. Ao realizar esses testes regularmente, é possível identificar possíveis problemas e tomar medidas corretivas ou preventivas, garantindo a operação confiável e eficiente dos transformadores ao longo do tempo (MAIA, 2023).

2.2.3.5.1 RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

A resistência de isolamento é a medida da dificuldade oferecida à passagem de corrente pelos materiais isolantes. Seus valores se alteram com a umidade e com a sujeira, alterações da capacitância do isolamento, da resistência total, das perdas superficiais e da temperatura do material, constituindo-se em uma boa indicação da deterioração dos equipamentos elétricos provocada por estas causas (PAULINO, 2014).

Deve-se observar, entretanto, que as várias normas sobre este assunto estabelecem que este ensaio não se constitui em critério para aprovação ou rejeição do equipamento. Pelas suas características, constata-se que é bastante útil para a verificação de curtos-circuitos francos, ficando a identificação dos defeitos menos pronunciados a cargo dos ensaios com tensão alternada, de tensão aplicada e tensão induzida (PAULINO, 2014).

Para a medição de grandes resistências, como é o caso da resistência de isolamento, é utilizado um equipamento chamado megôhmetro, popularmente conhecido como megger. Esse, injetará uma tensão contínua com valores entre 500 V e 10.000 V, com isso uma pequena corrente circulará no circuito e o equipamento vai medir a resistência advinda da tensão injetada e da corrente que foi induzida.

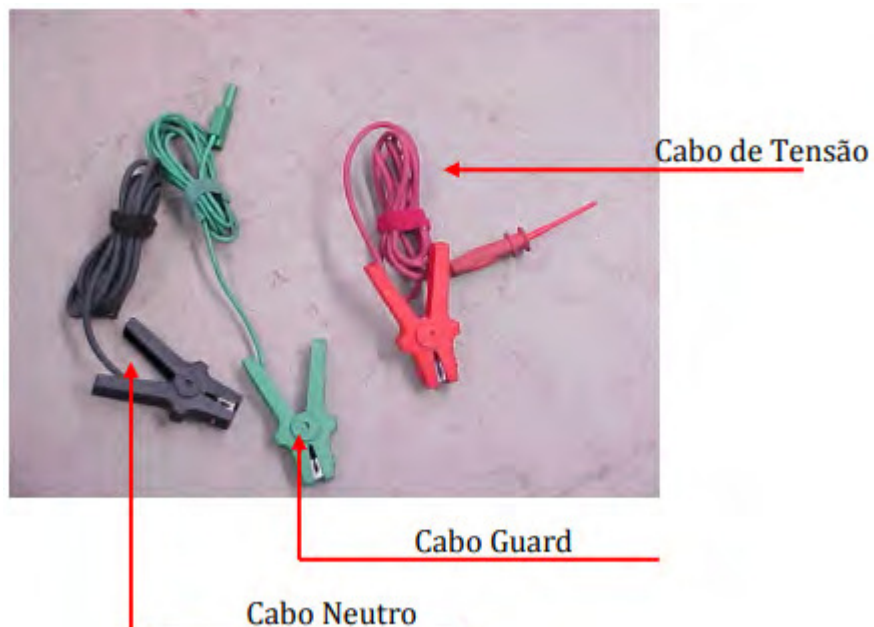
As Figuras 7 e 8 ilustram respectivamente um megôhmetro digital com seus botões mais as conexões e os cabos utilizados para a ligação ao megôhmetro e ao transformador.

Figura 7 – Megôhmetro digital.



FONTE: GCMME, 2010

Figura 8 – Cabos para ligação no megôhmetro.



FONTE: GCMME, 2010

O cabo "Guard" é utilizado pelo megôhmetro para eliminar o efeito das correntes superficiais e das resistências parasitas que podem interferir nas medições.

Segundo (PAULINO, 2014), a sequência do teste deve ser a seguinte:

- Desenergizar o transformador;
- Desconectar os cabos externos. Os ensaios de resistência de isolamento devem ser executados com todos os cabos do transformador desconectados das buchas, inclusive o cabo da bucha de neutro;
- Caso não seja possível a desconexão dos cabos, deve-se proceder à anotação detalhada do esquema de teste com respectiva descrição;
- Curto-circuitar os terminais das buchas de um mesmo enrolamento para obter uma melhor distribuição do potencial;
- O tanque do transformador deve ser aterrado;
- Inspeccionar e limpar as buchas com pano seco ou embebido em álcool e anotar qualquer irregularidade constatada;
- Cuidar para que os cabos do megôhmetro não toquem em outras partes do equipamento, ou se toquem, para evitar alteração na medida da resistência do isolamento;
- Ajustar o megôhmetro segundo especificações do equipamento utilizado;
- Deve ser obtida a temperatura dos enrolamentos;
- A tensão de teste depende da classe de tensão do equipamento, o megôhmetro deve ser ajustado conforme a valores da Tabela 9.

Tabela 9 – Tensões de teste conforme a tensão nominal do equipamento.

Tensão do equipamento (V)	Tensão de teste (V)
<1000	500
1000 a 2500	500 a 1000
2501 a 5000	1000 a 2500
5001 a 12000	2500 a 5000
>12000	10000

FONTE: PAULINO, 2014

- De forma que as leituras não sofram influências de resistências em paralelo com a que se está avaliando, deve-se utilizar do cabo "GUARDA". Assim, os terminais do megôhmetro deve ser aplicado como mostrado na Tabela 10.

As medições, geralmente, são realizadas por períodos de tempos pré-determinados que variam de 30 segundos a no máximo 10 minutos. Esses valores de resistência, são comparados e recebem o nome de "Índice de polarização" e "Índice de absorção" e seus valores são um dos indicadores do estado do isolamento.

Tabela 10 – Conexão para teste em transformador de dois enrolamentos.

Resistência entre	Circuitos conectados aos terminais		
	Linha	Guarda	Terra
Alta tensão - Baixa tensão	Alta tensão	Carcaça	Baixa tensão
Alta tensão - Carcaça	Alta tensão	Baixa tensão	Carcaça
Baixa tensão - Carcaça	Baixa tensão	Alta tensão	Carcaça

FONTE: PAULINO, 2014

A Tabela 11 contém os indicadores de polarização e absorção.

Tabela 11 – Valores para diagnóstico dos índices de polarização e absorção.

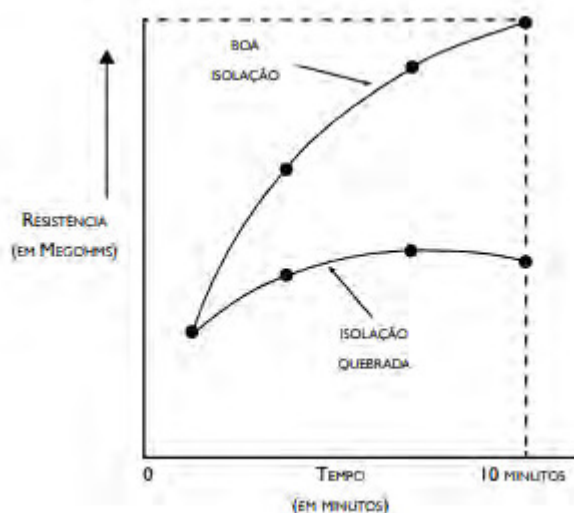
Condições de isolamento	Índice de absorção ($R_{1\text{min}}/R_{30\text{seg}}$)	Índice de polarização ($R_{10\text{min}}/R_{1\text{min}}$)
Pobre	<1,0	<1,0
Duvidoso	1,0 a 1,4	1,0 a 2,0
Aceitável	1,4 a 1,6	2,0 a 4,0
Bom	>1,6	>4,0

FONTE: PAULINO, 2014

Baseado nos valores dos teste e no histórico do equipamento é possível identificar falhas graves de isolamento ou ter uma ideia do grau de degradação. Uma boa resistência de isolamento apresenta uma curva característica quando ensaiada que deve ser levada em consideração ao avaliar os resultados.

A Figura 9 ilustra a curva característica de uma resistência de isolamento quando submetida a um ensaio.

Figura 9 – Curva característica em um ensaio de resistência de isolamento.



FONTE: CIGRE Brasil, GT A2.05, 2013

2.2.3.5.2 RESISTÊNCIA ÔHMICA DOS ENROLAMENTOS

Os procedimentos para a determinação de resistências ôhmicas estão entre os mais usuais. Consistem geralmente na determinação da resistência elétrica utilizando corrente contínua a uma determinada temperatura (PAULINO, 2015).

O princípio utilizado por esses métodos consiste na medição da tensão entre os terminais do objeto sob teste e, ao mesmo tempo, a medida da corrente que passa pelo objeto. Efetua-se assim o cálculo da resistência ôhmica por meio da lei de Ohm. Após a realização dos testes, além da correção da medida realizada para a temperatura de referência, o testador deve comparar os valores obtidos no teste com o histórico do objeto sob teste e os resultados de testes anteriores ou mesmos dados de fábrica. Essa comparação irá balizar a análise final do teste (PAULINO, 2015).

Para a aferição dos valores, há basicamente 3 métodos a ser utilizados: Método da queda de tensão, ponte Wheatstone ou ponte de Kelvin. Assim, para utilizar alguns dos métodos, é necessário montar seu circuito ou utilizar um equipamento que automatize o processo como o microhmímetro.

O método da queda de tensão, também chamado de método do voltímetro e amperímetro, consiste na medida da resistência R percorrida pela corrente I e da tensão sobre a resistência sob ensaio V . Respectivamente, a corrente I e a tensão V são medidas com um amperímetro e um voltímetro (PAULINO, 2015).

Para obter resultados precisos da resistência ôhmica de baixo valor podemos encontrar 2 tipos de ligações. A primeira medição são as pontes de Wheatstone cujo princípio é realizar a medição da resistência ôhmica através do equilíbrio da corrente elétrica no modelo do circuito da ponte Wheatstone (ENGENHARIA, 2023).

O segundo método é a conexão com a ponte de Kelvin ou ligação a 4 fios, este método utiliza 2 canais de tensão e 2 canais de corrente. Estes circuitos são independentes para realizar a medição da resistência ôhmica com baixos valores desconsiderando a resistência ôhmica dos cabos do microhmímetro (ENGENHARIA, 2023).

Descrição do teste utilizando um microhmímetro segundo (GCMME, 2010) adaptado:

Para o ensaio, a corrente utilizada não deve ser superior a 15% da corrente nominal do enrolamento considerado.

- Verificar se o transformador a ser testado está completamente desenergizado;

- Desconectar os terminais das buchas do transformador de barramentos, linhas, etc. Eles devem ficar livres de quaisquer conexões.
- Conectar os cabos de ligação no transformador conforme a tabela 12.

Tabela 12 – Ligações para medição de resistência ôhmica dos enrolamentos.

Medição	Ligação
1	H1 - H3
2	H2- H1
3	H2- H3
4	X1 - X0
5	X2 - X0
6	X3 - X0

FONTE: GCMMEI, 2010

- Ligar o equipamento
- Aumentar a corrente até o valor máximo (15% da corrente nominal do enrolamento sob ensaio)
- Verificar a leitura da resistência.

2.2.3.5.3 FATOR DE POTÊNCIA DA ISOLAÇÃO

A finalidade desse teste é identificar a presença de umidade na isolação do transformador.

Segundo (CARRIÃO, 2019) a medição do Fator de Potência do Isolamento dos transformadores é realizada por equipamento específico para este fim (Medidor de Fator de Potência).

No mercado, existem dois padrões de tensão nominal para os equipamentos de teste: 2.500 Vca e 10.000 Vca. Para transformadores com enrolamentos de tensão nominal até 69 kV podem ser utilizados ambos os valores de teste (CARRIÃO, 2019).

Segundo (GCMMEI, 2010) podem ser executados 3 tipos de medições:

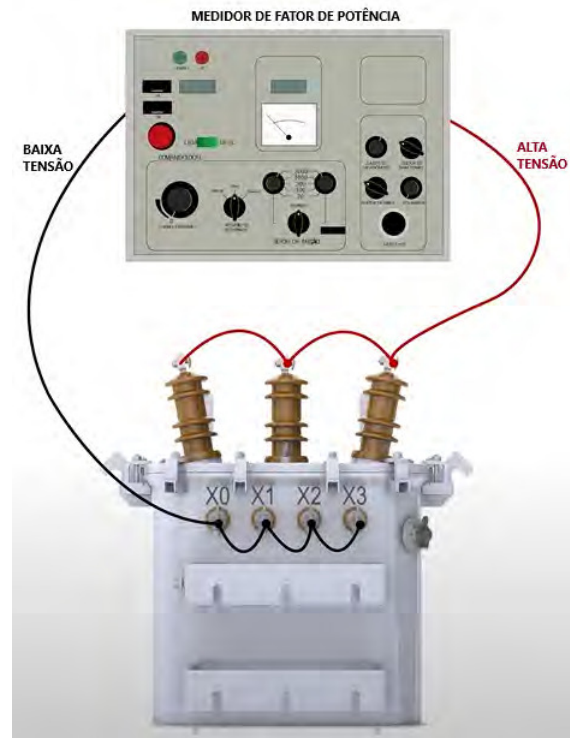
UST – Medida do fator de potência entre o enrolamento de Alta Tensão e Baixa Tensão

GUARD – O fator de potência medido é o do enrolamento de Alta Tensão com a Carcaça

GROUND – O fator de potência medido é o do enrolamento de Alta Tensão e Baixa Tensão mais o fator de potência entre o enrolamento de Alta Tensão e a Carcaça.

A Figura 10 ilustra a conexão do medidor de fator de potência do isolamento com os terminais do transformador.

Figura 10 – Conexão para medir o fator de potência entre alta e baixa tensão do transformador.



FONTE: MESH ENGENHARIA, 2023

A descrição do ensaio segundo (GCMMEEL, 2010):

- Verificar se o transformador a ser testado está completamente desenergizado;
- Desconectar os terminais das buchas do transformador de barramentos, linhas, etc. Eles devem ficar livres de quaisquer conexões;
- Curto Circuitar todos os enrolamentos;
- Aterrizar o equipamento;
- Conectar o cabo de alta tensão;
- Conectar cabo de baixa tensão;
- Selecionar o tipo de medição (UST, GUARD, GROUND);
- Ligar o equipamento;
- Aplicar Alta Tensão;
- Ajustar a saída de tensão para 2,5 kV;
- Ajustar a escala de leitura conforme o necessário;
- Fazer a leitura de VA e W;

- Inverter a polaridade e fazer nova leitura de VA e W.

Por fim, segundo o setor elétrico, todos os valores obtidos devem estar na temperatura de 20 °C que é de referência. Dessa forma, caso a temperatura ambiente não seja a de referência, é necessário fazer uma correção nos valores utilizando a Fórmula 2.4.

$$FP_c = FP_m \cdot F \quad (2.4)$$

Em que:

FP_c = É o fator de potência corrigido;

FP_m = É fator de potência medido;

F = Fator de correção, conforme a temperatura ambiente no local do teste.

A Tabela 13 contém os valores para correção do fator de potência medido consoante a temperatura.

Tabela 13 – Tabela da correção de temperatura.

°C	Fator de correção
5	1,41
10	1,25
15	1,11
20	1,00
25	0,90
30	0,80
35	0,71
40	0,65

FONTE: IEC 60060, 2013

Os valores devem ser comparados com os testes de fábrica do transformador ou, em caso da ausência dos mesmos, com histórico de medições anteriores realizadas no transformador (CARRIÃO, 2019).

2.2.3.5.4 RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO

A verificação da relação do número de espiras dos enrolamentos do transformador é um recurso valioso para se verificar a existência de espiras em curto-circuito, de falhas em comutadores de derivação em carga e ligações erradas de derivações (GCMME, 2010).

A ABNT NBR 5356 estabelece que este ensaio deve ser realizado em todas as derivações, o que se constitui uma boa prática, principalmente na recepção do transformador.

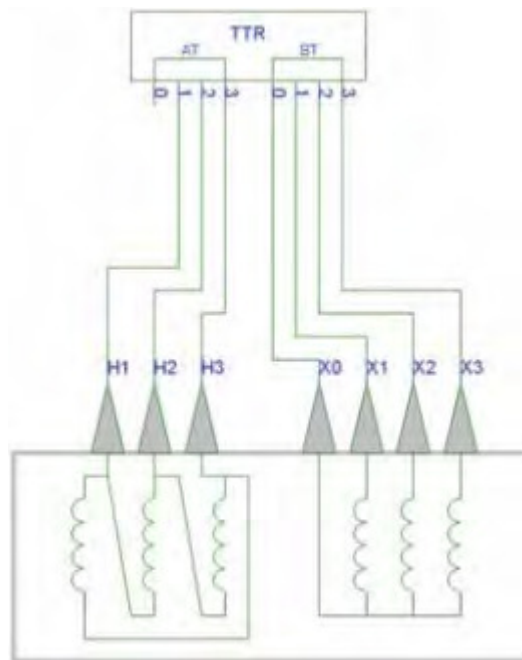
Observa-se que as tensões deverão ser sempre dadas para o transformador em vazio (PAULINO, 2013).

Podem ser utilizados vários métodos para a medição da relação de transformação, sendo que o mais comum, devido a sua praticidade, é o método do potenciômetro, ou o método em que se utiliza o TTR para realizar a medição (Transformer Turn Ratio Test) (CARRIÃO, 2019).

O TTR utilizado poderá ser trifásico ou monofásico, apenas atentando para realizar a medição em todas as fases no último caso.

A Figura 11 ilustra a conexão de um TTR trifásico ao circuito de um transformador.

Figura 11 – Conexão padrão de um TTR a um transformador.



FONTE: CARRIÃO, 2019

As relações obtidas deverão ser as seguintes:

- H1-H3 / X1-X0
- H2-H1 / X2-X0
- H2-H3 / X3-X0

É necessário calcular o erro entre os valores medidos e o valores de fábrica dos enrolamentos. O erro pode ser calculado com a seguinte fórmula.

$$E(\%) = \frac{R_m - R_p}{R_p} \times 100\%$$

Em que:

$E (\%)$ = Erro percentual;

R_m = Relação medida no teste;

R_p = Relação dos enrolamentos na placa do equipamento.

Segundo a norma já citada, ABNT NBR 5356 o erro permitido é de 0,50% no máximo.

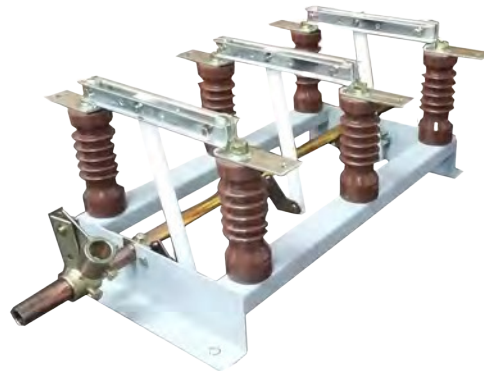
2.2.4 CHAVE SECCIONADORA

As chaves seccionadoras são equipamentos utilizados para isolar da rede elétrica, equipamentos do sistema, tais como disjuntores e transformadores. As chaves também podem ser utilizadas, em alguns casos, para energização desses equipamentos (CARRIÃO, 2020).

Esse equipamento tem muita utilização em sistemas de média tensão (MT) e alta tensão (AT). Sendo que em MT pode ser manual ou motorizado seu acionamento e em AT só pode ser motorizado (ENGENHARIA, 2022).

A Figura 12 ilustra o equipamento.

Figura 12 – Chave Seccionadora trifásica de média tensão com acionamento manual.



FONTE: MORAN, 2021

2.2.4.1 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM CHAVES SECCIONADORAS DE MÉDIA TENSÃO

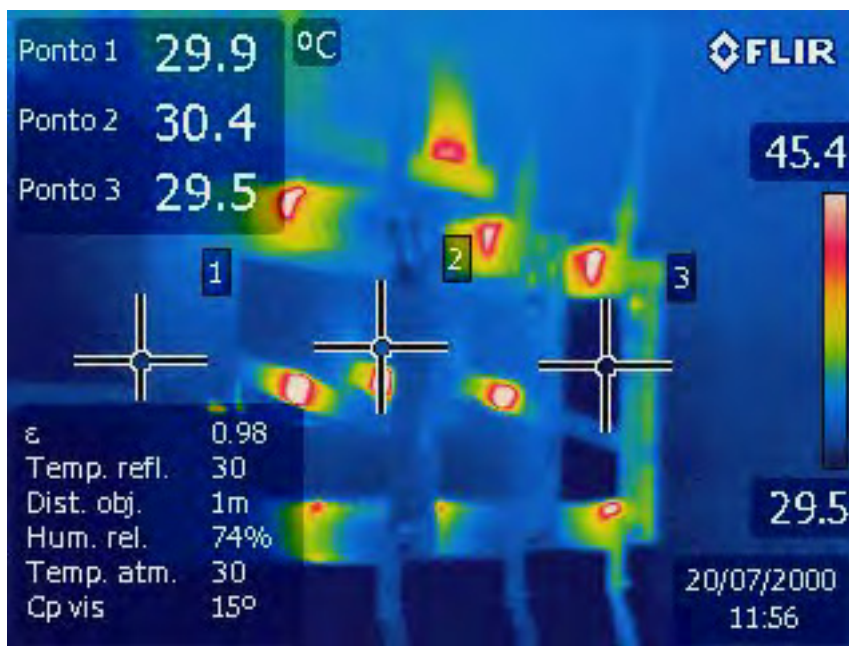
Em chaves seccionadoras de média tensão é comum a termografia com intuito de identificar pontos quentes em conexões, contatos e isoladores.

Através da análise das imagens é possível detectar pontos de desgastes, corrosão e mau contato, que podem ocasionar o aquecimento do componente diminuindo sua vida útil e se

não tratado elevando a chance de um acidente.

A Figura 13 ilustra uma inspeção termográfica realizada na chave seccionadora de média tensão da Figura 5 que encontra-se na subestação leste.

Figura 13 – Termografia em chave seccionadora de média tensão



FONTE: Autor, 2021

2.2.4.2 INSPEÇÕES PERIÓDICAS

Basicamente, o que se aplica às chaves seccionadoras periodicamente, enquanto elas estão em operação, são apenas inspeções visuais de isoladores, contatos, mecanismos de operação, fiação de controle, contatos auxiliares, ferragens, conectores de energia, de controle e de aterramento, fixações, alinhamento, nivelamento, pintura e galvanização e suporte. Os demais procedimentos necessitam que elas permaneçam desenergizadas, pois envolverão manobras de abertura e fechamento, ou ao menos, sem carga, se o objetivo for apenas verificar o funcionamento de seus mecanismos de abertura e fechamento (CARRIÃO, 2020).

2.2.4.3 RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

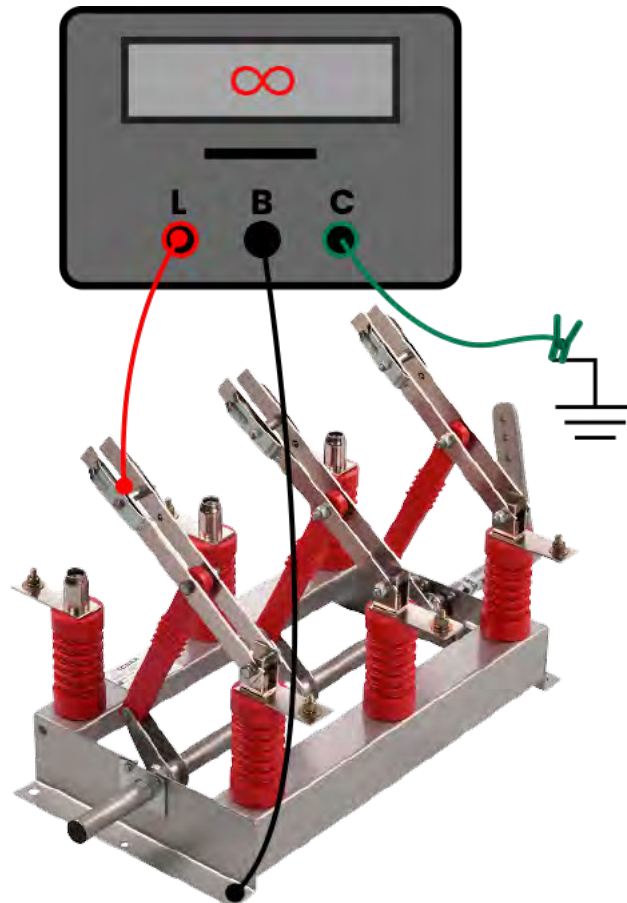
A medição da resistência ôhmica do isolamento das chaves é realizada por meio do uso de um Megôhmetro e tem como finalidade avaliar o estado do isolamento do equipamento. (CARRIÃO, 2020).

O ensaio de resistência de isolamento na chave seccionadora é similar ao descrito em

2.2.3.5.1, inclusive podem ser feitas as mesmas conexões contidas na Tabela 10 para medição dos terminais.

A Figura 14 ilustra uma das possíveis conexões entre megôhmetro e chave seccionadora.

Figura 14 – Ensaio com a AT na parte condutora e na BT na carcaça Megôhmetro



FONTE: MESH ENGENHARIA, 2023

Ainda, é possível fazer os mesmos cálculos como descritos na Tabela 11 e usar as considerações de curva característica do isolamento ilustrada da Figura 9.

2.2.4.4 RESISTÊNCIA DE CONTATO

O ensaio de resistência de contato é realizado com o intuito de verificar a correta passagem da corrente por todos os terminais da chave sem interferências. Esse, é executado com um microhmímetro com uma escala de corrente maior, nesse caso 100 A, para que as resistências dos cabos sejam desprezadas.

Os terminais do equipamento devem ser conectados as entradas e saídas de cada fase

da chave seccionadora e medição deve ser realizada.

O melhor critério para aceitação do valor medido é compará-lo com a faixa de resistência aceitável informada pelo próprio fabricante do equipamento. Em caso de ausência desse, pode-se considerar um valor entre 100 a 200 $\mu\Omega$ como bastante razoável (CARRIÃO, 2020).

Em caso de se verificar um valor elevado nas medições, deve-se averiguar qual dos pontos de contato da seccionadora está ocasionando este valor de resistência total elevado e executar as correções e ajustes mecânicos necessários para que o problema possa ser regularizado, e assim, se evitar problemas no sistema, tais como o aparecimento de pontos quentes (CARRIÃO, 2020).

2.2.5 DISJUNTOR

Os disjuntores de média tensão são dispositivos elétricos fundamentais para garantir a segurança e a eficiência de sistemas elétricos. Os disjuntores de média tensão são aqueles que conseguem interromper correntes elétricas de até algumas centenas de milhares de amperes e tensões de até 72,5 kV (TRIFÁSICA, 2023).

Os mais utilizados para Média Tensão são os:

- Disjuntores a gás (SF_6);
- Disjuntores a vácuo;
- Disjuntores a óleo.

A Figura 15 ilustra um disjuntor de Média Tensão a vácuo.

Figura 15 – Disjuntor de Média Tensão a Vácuo.



FONTE: I-TENSÃO COMERCIAL

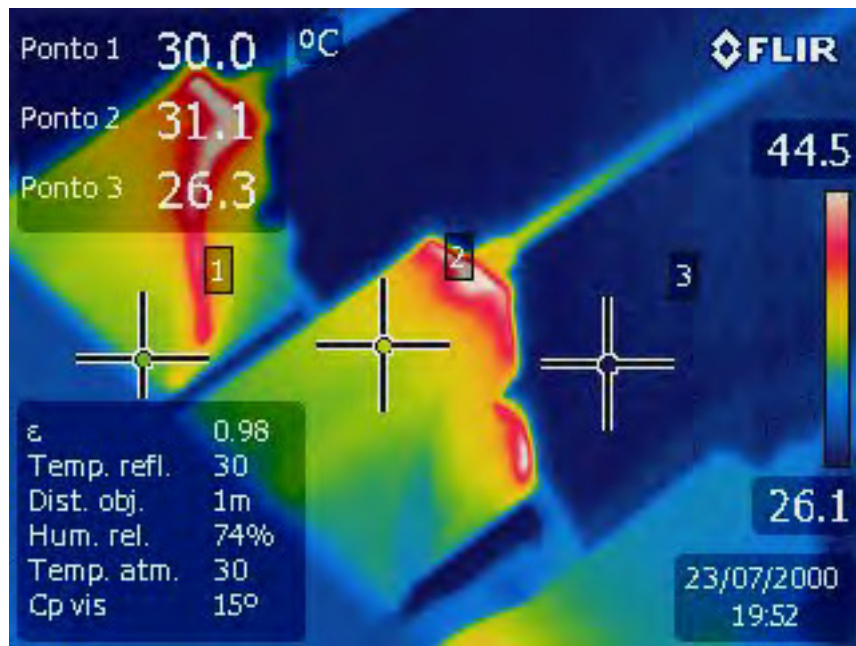
2.2.5.1 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM DISJUNTORES DE MÉDIA TENSÃO

Em disjuntores de média tensão a termografia consiste em identificar pontos quentes nas suas conexões e isoladores. As conexões com os transformadores de corrente quando não apertadas corretamente podem causar pontos quentes e fugas de corrente. Ainda, pontos quentes identificados nos isoladores, geralmente significam que esses componentes estão com o isolamento ruim e próximo da falha total.

Dessa forma, é de extrema importância a termografia para identificar os defeitos e garantir o perfeito funcionamento do equipamento.

A Figura 16 ilustra a termografia dos transformadores de corrente localizados na parte traseira de um disjuntor de média tensão.

Figura 16 – Termografia nos transformadores de corrente de um disjuntor de média tensão.



FONTE: Autor, 2021

2.2.5.2 RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

O princípio para esse ensaio é o mesmo que o descrito para Transformadores em 2.2.3.5.1. Dessa forma, também é utilizado um megôhmetro para as medições.

Segundo (BARROS; GEDRA, 2015) o objetivo do ensaio é avaliar a situação dos bastões de acionamento e isoladores de entrada e saída de cada fase.

A Tabela 14 contém as conexões para serem feitas entre megôhmetro e terminais do disjuntor.

Tabela 14 – Conexão dos cabos do megôhmetro aos terminais do disjuntor.

Posição	Disjuntor Aberto	Disjuntor Fechado
Linha	Saída Fase	Saída Fase
Terra	Entrada Fase	Carcaça
Guarda	Carcaça	Sem Conexão

FONTE: Autor, 2024

2.2.5.3 RESISTÊNCIA DE CONTATO

A medição das resistências tem o intuito de verificar se os contatos por onde circulam a corrente estão conduzindo de forma adequada.

O ensaio é realizado de forma similar ao que foi descrito em 2.2.4.4 e suas considerações são válidas.

(GCMME, 2010) faz a descrição do ensaio:

- Conectar os cabos de corrente nos polos do disjuntor;
- Conectar um cabo do microhmímetro na entrada de um polo e a outra no respectivo terminal de saída, no polo onde se queira medir a resistência de contato;
- Ligar o microhmímetro;
- Selecionar o modo leitura de corrente;
- Colocar ajuste de corrente em zero;
- Aplicar corrente conhecida, geralmente no valor de 100A;
- Colocar o microhmímetro no modo de leitura de resistência;
- Fazer a leitura da resistência de contato;
- Fazer o mesmo procedimento para os outros polos;
- Conferir com os resultados com os limites especificados pelo fabricante.

2.2.5.4 OUTRAS INSPEÇÕES E ENSAIOS

Afim de verificar o correto funcionamento do equipamento, outras inspeções podem ser realizadas para garantir a perfeita condição das peças e contatos. São os seguintes procedimentos, segundo (PAIVA, 2019):

- Verificar a abertura e fechamento do disjuntor de média tensão, local, elétrica e remotamente, quando o equipamento for capacitado para tanto;
- Verificar a simultaneidade de abertura e fechamento das fases. (Quando possível, utilizando um osciloscópio);
- No mecanismo de acionamento, deve-se verificar o estado das molas, travas, motor, engrenagem, articulações, dispositivo de carregamento de mola, indicadores de posição, contador de operação, bobina de ligar, desligar e de mínima tensão, blocos de terminais, estado da fiação e dos isoladores e contatos de rolete. Todo esse conjunto deve ser limpo e cuidadosamente lubrificado;
- Nas câmaras de extinção deve-se verificar se existem trincas ou rachaduras;
- Em caso de realizar abertura dos polos, conferir o estado dos contatos, que devem ser limpos;
- Em disjuntores a óleo, realizar a substituição do óleo isolante.

2.2.6 PARA-RAIOS

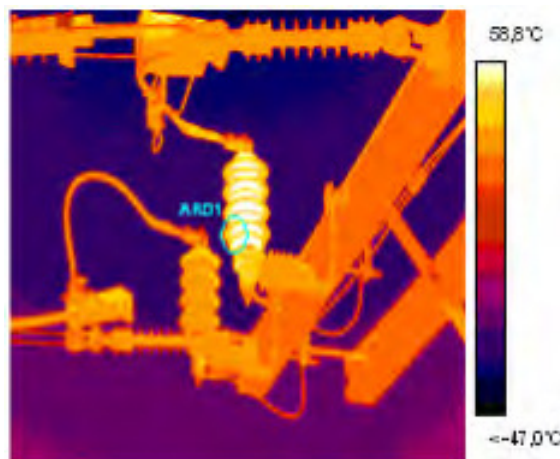
Segundo (PAIVA, 2019) os serviços e ensaios a serem realizados em para-raios consistem, na parte elétrica, apenas na medição da resistência de isolamento, medida utilizando um megôhmetro, com o terminal LINE conectado à parte superior do para-raios e o terminal GUARD conectado à parte inferior do para-raios. Ademais, executar as seguintes atividades:

- Verificar as condições dos isoladores, em busca de trincas e rachaduras, e realizar a troca caso necessário;
- Reaperto dos conectores fase e terra;
- Realizar a limpeza do corpo do para-raios.

2.2.6.1 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM PARA-RAIOS

A análise termográfica nos para-raios é de grande importância, com ela é possível identificar pontos de fragilidade do equipamento, que concentram altas temperaturas. Ainda, é possível acompanhar a evolução das termografias e dessa forma, identificar o grau e a velocidade de degradação do material do equipamento.

Figura 17 – Termografia em para-raios de 15kV.



FONTE: (ÁLVARES, 2008).

2.2.7 TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS

Como o próprio nome sugere, estes equipamentos destinam-se à alimentação, por meio de seus enrolamentos secundários, de instrumentos da subestação, seja para fins de medição, seja para fins de proteção (DIAS, 2022)

2.2.7.1 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS

A termografia, como é uma técnica não invasiva, tem grande importância para identificar problemas térmicos ou elétricos em transformadores de potencial e corrente. Sabe-se que, alguns desses equipamentos ficam fechados em um cubículo controlado pela concessionária de energia, são os chamados instrumentos da medição, assim fazer a inspeção sem precisar solicitar a presença da concessionária é de grande valia.

Ademais, há ainda os transformadores de potencial que alimentam os demais circuitos de baixa tensão da subestação, esses também devem ser inspecionados a fim de encontrar falhas. Por fim, os transformadores de corrente da medição que ficam conectados atrás do disjuntor, como desenvolvido em 2.2.5.1.

2.2.7.2 INSPEÇÕES VISUAIS

Para garantir que o equipamento está em perfeitas condições de uso, periodicamente é necessário fazer inspeções minuciosas em busca de trincas, trilhamentos ou qualquer elemento na carcaça que possa diminuir a capacidade de isolamento do equipamento.

Ainda, durante as manutenções pode ser realizada a limpeza do equipamento com um pano macio e álcool isopropílico.

2.2.7.3 RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

Como explicado em outros tópicos, o ensaio de resistência de isolamento em transformadores de corrente e potencial tem a finalidade de analisar a capacidade de isolação entre os terminais de conexão e a carcaça do equipamento. Nesse, é utilizado um megôhmetro, mas deve ser respeitada a classe de tensão do equipamento ao executar o teste.

Usualmente a tensão utilizada no primário varia entre 1 e 15 kV, a depender do megôhmetro utilizado, e a do secundário é realizada em 500 V.

As conexões contidas na Tabela 10 devem ser seguidas para realização do ensaio.

2.2.8 BARRAMENTOS DE MÉDIA TENSÃO E ISOLADORES TIPO PEDESTAL

O barramento é composto por ligas metálicas, em sua maioria o cobre e pode ser de vários tipos: redondo, não redondo, isolado, não isolado. Na subestação, esse componente é utilizado como condutor de média tensão entre cabines e cubículos, são geralmente feitos

de cobre e rígidos, devido a seu custo ser menor que um condutor isolado, sua resistência e condutividade serem ótimas.

A finalidade de um isolador é não permitir a passagem de corrente de um ambiente, local, estrutura para outra, podem ser feitos de porcelana, vidro, resina polimérica, etc.

Nas subestações abrigadas, os barramentos ficam dispostos lado a lado de maneira paralela garantindo sua isolação e são fixados e elevados com a ajuda de isoladores do tipo pedestal.

Em relação aos barramentos, sua manutenção em regra consiste em reaperto geral das conexões, limpeza, repintura para conservação quando necessário.

Quando se fala nos isoladores, é necessário verificar seu estado de conservação, se não há trilhamentos, realizar limpeza e reaperto. Ainda, pode ser realizado ensaios de resistência de isolamento conforme 2.2.3.5.1, contudo devido ao baixo custo do isolador a qualquer sinal de problema a troca imediata é recomendada.

O sistema de barramento junto aos isoladores do tipo pedestal pode ser visualizado na Figura 18.

Figura 18 – Barramentos de média tensão e isoladores tipo pedestal.



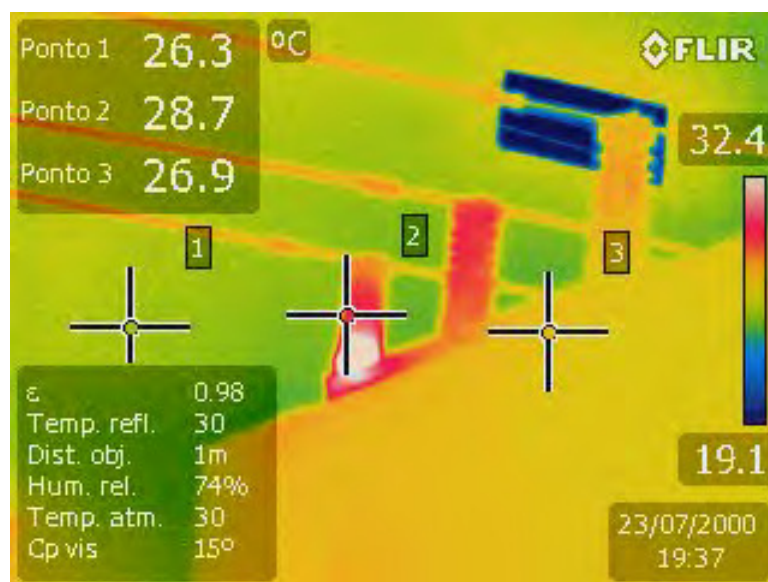
FONTE: Autor, 2021.

2.2.8.1 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM BARRAMENTOS DE MÉDIA TENSÃO E ISOLADORES TIPO PEDESTAL

A termografia nos barramentos e isoladores tipo pedestal tem o intuito de identificar pontos quentes nas conexões e nos isoladores. Esses, podem significar conexões frouxas, pontos com muita sujeira causados pela poluição ambiental, efeito corona, ocasionando a diminuição da resistência e criando pontos futuros de fuga de corrente nos isoladores.

Na Figura 19 pode ser visualizado um exemplo de inspeção termográfica em barramentos e isoladores do tipo pedestal.

Figura 19 – Termografia de barramentos de média tensão e isoladores tipo pedestal.



FONTE: Autor, 2021.

2.2.9 PAINÉIS ELÉTRICOS DE BAIXA TENSÃO

Painel elétrico de baixa tensão é um quadro elétrico que disponibiliza controle e proteção garantida aos circuitos dos sistemas de distribuição elétrica. O painel elétrico de baixa tensão propicia controle, medição, monitoração e comunicação remota, e também de equipamentos auxiliares (MCEIG, 2023)

Com a manutenção de painéis elétricos é possível evitar acidentes ocasionados por curtos circuitos e até mesmo incêndios. Por isso, o atraso na realização da manutenção de painéis elétricos pode ser prejudicial ao equipamento e aos profissionais que o operam, pois, a manutenção feita corretamente evita problemas futuros e não desgasta os equipamentos (MONTER, 2023).

2.2.9.1 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM PAINÉIS ELÉTRICOS DE BAIXA TENSÃO

A termografia painel elétrico pode ser considerado um dos processos mais importantes, eficientes, precisos e seguros para manutenção preditiva. Alguns dos problemas mais identificados em painéis elétricos podem ser causados por baixa tensão nas fases, problemas na entrega de energia, defeito de isolamento em cabos, falha no dimensionamento de cargas na instalação elétrica (DBO, 2021).

A aplicação da termografia para painel elétrico em um sistema de manutenção preditiva auxilia a evitar falhas nos componentes elétricos, garantindo o funcionamento contínuo do quadro elétrico no local (DBO, 2021).

Figura 20 – Termografia em um painel de baixa tensão.



FONTE: DBO CONSULTORIA, 2021

Segundo (SOARES, 2013) os procedimentos de verificação devem ser os seguintes:

- Ajustes e limpeza geral das estruturas metálicas;
- Verificação dos pontos de oxidação e tratamento anti-corrosivo;
- Limpeza geral do gabinete;

- Ajustes e limpeza de contatos e terminais (alimentação, controle, aterramento, entre outros.);
- Medições das correntes, observando existência de subdimensionamento;
- Verificação das lâmpadas ou leds indicadoras de energização do painel;

2.2.10 CUBÍCULO DE MEDIÇÃO

No cubículo de medição é onde ficam os equipamentos da concessionária de energia, como transformadores de corrente e potencial da medição e os barramentos faz a interligação do padrão de entrada aos equipamentos desse cubículo.

O local é selado e os únicos que podem acessar são colaboradores da concessionária, assim a manutenção periódica consiste apenas em uma inspeção visual nos equipamentos, com intuito de identificar trilhamentos, sujeira, e pontos quentes através da termografia. Contudo, ao identificar qualquer anormalidade, a concessionária deve ser acionada para fazer a troca dos equipamentos.

2.2.10.1 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA NO CUBÍCULO DE MEDIÇÃO

A termografia no cubículo de medição visa identificar pontos quentes nos equipamentos da concessionária e nas conexões dos barramentos.

Caso seja identificada alguma anormalidade, a concessionária deve ser avisada para que uma de suas equipes retire o ponto quente ou troque o equipamento.

3 CRONOGRAMA DE MANUTENÇÃO

Devido a características de equipamentos e ambiente, todo cronograma de manutenção deve ser adaptado a realidade do local. Dessa forma, o presente cronograma foi desenvolvido especialmente para a subestação em questão.

A referida subestação tem histórico recorrente de umidade, junto a sujeira do ambiente que potencializam descargas parciais e corona nos equipamentos.

3.1 TRANSFORMADOR

- Inspeção visual em buchas, radiadores, tanque e conexões;
 - Inspeção mensal.
 - Inspeção após qualquer tipo de ocorrência.
- Termografia de buchas, radiadores, tanque e conexões;
 - Inspeção trimestral.
- Reapertar conexões;
 - A cada semestre.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Verificar o nível do óleo isolante;
 - Inspeção semestral.
- Coletar amostra do óleo isolante para análise físico-química;
 - Coleta semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Coletar amostra do óleo isolante para cromatografia;
 - Coleta semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Realizar ensaio de resistência de isolamento;
 - Ensaio semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Realizar ensaio da resistência ôhmica dos enrolamentos;
 - Ensaio semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Realizar ensaio do fator de potência da isolação;
 - Ensaio anual.

- Ensaio imediato caso os valores dos ensaios do óleo derem alterados.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Realizar ensaio da relação de transformação;
 - Ensaio anual.
 - Ensaio imediato caso os valores dos ensaios do óleo derem alterados.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.

3.2 CHAVE SECCIONADORA

- Inspeção visual nos contatos dos terminais, das facas e nos isoladores;
 - Inspeção mensal.
 - Inspeção após qualquer tipo de ocorrência.
- Inspeção termográfica de contatos, conexões e isoladores;
 - Inspeção trimestral.
- Limpeza e lubrificação dos contatos e isoladores;
 - Semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Inspecionar o sistema de abertura e fechamento, inclusive com vara de manobra;
 - Inspeção semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Reapertar conexões;
 - Reaperto semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Realizar ensaio de resistência de isolamento;
 - Inspeção semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Realizar ensaio da resistência de contato;
 - Inspeção semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.

3.3 DISJUNTOR

- Inspeção visual, no tanque, relé e transformadores de corrente (se possível);
 - Inspeção mensal.

- Inspeção após qualquer tipo de ocorrência.
- Inspeção termográfica dos transformadores de corrente, terminais e isoladores;
 - Inspeção trimestral.
- Limpeza dos terminais, isoladores e transformadores de corrente;
 - Limpeza semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Reapertar conexões;
 - Reaperto semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Verificar a câmara de extinção de arco junto aos contatos fixos e móveis;
 - Inspeção semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Inspecionar e lubrificar todo o mecanismo de acionamento como: molas e seu dispositivo de carregamento elétrico e mecânico, bobinas, indicadores de posição, contador de operações, fios e conexões;
 - Inspeção semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Testar o funcionamento para abertura e fechamento;
 - Inspeção semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Realizar ensaio de resistência de isolamento;
 - Inspeção semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Realizar ensaio da resistência de contato;
 - Inspeção semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.

3.4 PARA-RAIOS

- Inspeção visual no corpo do equipamento, procurando trincas, trilhamentos;
 - Inspeção mensal.
 - Inspeção após qualquer tipo de ocorrência.
- Inspeção termográfica da carcaça e terminais;

- Inspeção trimestral.
- Limpeza da carcaça;
 - Semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Reaperto das conexões;
 - Reaperto semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Realizar ensaio de resistência de isolamento;
 - Inspeção semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.

3.5 TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS

- Inspeção visual na carcaça em busca de trincas, trilhamentos e camadas de sujeira;
 - Inspeção mensal.
 - Inspeção após qualquer tipo de ocorrência.
- Inspeção termográfica da carcaça e terminais;
 - Inspeção trimestral.
- Limpeza da carcaça;
 - Semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Reaperto das conexões;
 - Reaperto semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Realizar ensaio de resistência de isolamento;
 - Inspeção semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.

3.6 BARRAMENTOS DE MÉDIA TENSÃO E ISOLADORES TIPO PEDESTAL

- Inspeção visual nos barramentos e isoladores do tipo pedestal;
 - Inspeção mensal.
 - Inspeção após qualquer tipo de ocorrência.
- Inspeção termográfica dos barramentos e isoladores do tipo pedestal;

- Inspeção trimestral.
- Reaperto das conexões;
 - A cada semestre.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Realizar ensaio de resistência de isolamento;
 - Diante de alguma ocorrência ou situação atípica identificada nas demais inspeções preventivas.

3.7 QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO (QGBT)

- Inspeção visual em medidores, barramentos, conexões e demais estruturas;
 - Inspeção mensal.
 - Inspeção após qualquer tipo de ocorrência.
- Inspeção termográfica do quadro geral;
 - Inspeção trimestral.
- Limpeza dos equipamentos do quadro;
 - Semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Reaperto das conexões;
 - Reaperto semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.
- Testar o funcionamento dos dispositivos seccionadores e de proteção;
 - Inspeção semestral.
 - Após alguma ocorrência envolvendo o equipamento.

3.8 CUBÍCULO DE MEDIÇÃO

- Inspeção visual dos equipamentos da medição e barramentos;
 - Inspeção mensal.
 - Inspeção após qualquer tipo de ocorrência.
- Inspeção termográfica dos equipamentos da medição e barramentos;
 - Inspeção trimestral.

3.9 TABELA RESUMO DO CRONOGRAMA DE MANUTENÇÃO

Com intuito de sintetizar as atividades planejadas no cronograma e seus prazos, foi desenvolvida a tabela ilustrada na Figura 21 para acompanhamento do cronograma de manutenção.

Figura 21 – Tabela resumo do cronograma de manutenção.

EQUIPAMENTOS	CRONOGRAMA DE MANUTENÇÃO												SUBESTAÇÃO:			
													ANO:			
													ENG RESPONSÁVEL:			
	PERIODICIDADE	ENSAIOS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
TRANSFORMADOR	MENSAL	INSPEÇÃO VISUAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	TRIMESTRAL	TERMOGRAFIA	X			X			X			X				
	SEMESTRAL	ANÁLISE FÍSICO QUÍMICA	X						X							
		ANÁLISE CROMATOGRAFICA	X						X							
		RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO	X						X							
		RESISTÊNCIA ÔHMICA DOS ENROLAMENTOS	X						X							
	ANUAL	FATOR DE POTÊNCIA	X													
		RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO	X													
CHAVE SECCIONADORA	MENSAL	INSPEÇÃO VISUAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	TRIMESTRAL	TERMOGRAFIA	X			X			X			X				
	SEMESTRAL	RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO	X						X							
		RESISTÊNCIA DE CONTATO	X						X							
DISJUNTOR	MENSAL	INSPEÇÃO VISUAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	TRIMESTRAL	TERMOGRAFIA	X			X			X			X				
	SEMESTRAL	RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO	X						X							
		RESISTÊNCIA DE CONTATO	X						X							
TRANSFORMADOR DE INSTRUMENTOS	MENSAL	INSPEÇÃO VISUAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	TRIMESTRAL	TERMOGRAFIA	X			X			X			X				
	SEMESTRAL	RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO	X						X							
BARRAMENTOS DE MÉDIA TENSÃO E ISOLADORES PEDESTAL	MENSAL	INSPEÇÃO VISUAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	TRIMESTRAL	TERMOGRAFIA	X			X			X			X				
	SEMESTRAL	RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO	X						X							
QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO	MENSAL	INSPEÇÃO VISUAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	TRIMESTRAL	TERMOGRAFIA	X			X			X			X				
CUBÍCULO DE MEDIÇÃO	MENSAL	INSPEÇÃO VISUAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	TRIMESTRAL	TERMOGRAFIA	X			X			X			X				
PARA-RAIOS	MENSAL	INSPEÇÃO VISUAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	TRIMESTRAL	TERMOGRAFIA	X			X			X			X				

FONTE: Autor, 2024

A tabela está disponível em: Tabela-Resumo.PDF

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse relatório foi apresentado uma revisão bibliográfica dos ensaios mais comuns em equipamentos de subestações abrigadas de média tensão, foi explanado uma visão geral do equipamento, quais ensaios realizar e como realizar.

Com base na bibliografia, foi proposto um cronograma de manutenção adaptado para as condições da subestação, considerando características, histórico de ocorrências e possíveis falhas. Contudo, para ter o efeito desejado, é evidente a necessidade da execução das manutenções como proposto no cronograma e o acompanhamento da evolução de cada equipamento, com intuito de prever falhas e corrigir de forma preventiva e não corretiva.

Além do apoio em bibliografias já consagradas e em artigos, o processo para criação do cronograma também teve como base a experiência adquirida no dia a dia devido ao contato com manutenções de subestações em determinada concessionária de energia da região.

É evidente que em subestações de maior porte, uma análise mais detalhada é necessária contendo estudos sobre a tendência de falhas de cada equipamento com base nos dados do fabricante, contudo para o tipo e tamanho da subestação em questão, não se faz necessário.

Dessa forma, com a ajuda do cronograma espera-se que a subestação em questão diminua a quantidade de ocorrências que necessitam de atuações corretivas emergenciais e passe apenas a ter manutenções preventivas e preditivas, o que favorece o planejamento para adquirir novos equipamentos e traz mais confiança ao sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, B. F. D.; GEDRA, R. L. **Cabine primária**: Subestações de alta tensão de consumidor. 4. ed. São Paulo: Érica, 2015. 192 p.
- CARRIÃO, F. H. D. Equipamentos para ensaios em campo: Transformadores. **O setor Elétrico**, São Paulo - SP, 2019. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/Fasciculo_Equipamentos_para_ensaios_em_campo.pdf>.
- CARRIÃO, F. H. D. Equipamentos para ensaios em campo: Testes em chaves seccionadoras. **O setor Elétrico**, São Paulo - SP, 2020. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/Edicao%20160_Equipamentos.pdf>.
- CCPG. **Temperatura máxima admissível (MTA) em componente elétrico**. 2021. Disponível em: <<http://www.ccpge.org.br/resources/M%3%A1xima%20temperatura%20Admiss%3%ADvel%20%28MTA%29.pdf>>. Acesso em 10/07/2021.
- COSTA, J. C. de O. **Notas de aula sobre equipamentos elétricos em sub-estações**. Brasília: [s.n.], 2011. 45 p.
- DBO. **O que é termografia em painéis elétricos?** 2021. Disponível em: <<https://www.dboconsultoria.com.br/post/o-que-%C3%A9-a-termografia-em-pain%C3%A9is-el%C3%A9tricos>>. Acesso em 17/12/2023.
- DIAS, Y. A. Equipamentos para ensaios em campo: Equipamentos elétricos de potência: visão geral dos principais ativos e boas práticas de engenharia de manutenção. **O setor Elétrico**, São Paulo - SP, 2022. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2022/04/Edicao-185_Final_simples-22-29-1-1.pdf>.
- DUALIBE, P. **Subestações: Tipos, Equipamentos e Proteção**. 1999. Disponível em: <<http://www.vieiraevarela.com.br/arquivos/SE.pdf>>. Acesso em 20/12/2023.
- ENGEFAZ. **Conceitos de Manutenção**. 2023. Disponível em: <<https://www.engefaz.com/conceitos-de-manutencao/#:~:text=Conceitos%20de%20Manuten%C3%A7%C3%A3o%20refere%2Dse,de%20forma%20segura%20e%20eficiente.>> Acesso em 21/12/2023.
- ENGELÉTRICA. **Termografia**. Disponível em: <http://www.engeletrica.com.br/anexo_termografia.pdf>. Acesso em 10/07/2021.
- ENGENHARIA, M. **Ensaio em Chaves Seccionadoras**. 2022. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/ensaio-em-chaves-seccionadoras-mesh-engenharia/?originalSubdomain=pt>>. Acesso em 17/12/2023.
- ENGENHARIA, M. **Microhmímetro**. 2023. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/microhm%C3%ADmetro-mesh-engenharia/?originalSubdomain=pt>>. Acesso em 10/12/2023.
- FILHO, B. A. P. **Gestão da Manutenção de Subestação - Estudo de Caso Em Uma Indústria de Eletroeletrônicos, Implementação de Indicadores**. 61 p. Monografia (Graduação) — Universidade Federal do Ceará Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Elétrica Programa de Graduação Em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2019.
- FILHO, J. M. **Manual de equipamentos elétricos**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos, 2013. 1215 p.

GCMME. **Apostila de manutenção em subestação**. Minas Gerais: [s.n.], 2010. 23 p.

GEBRAM, A. P. **Manutenção e operação de equipamentos de subestações**. Porto Alegre: Bookman, 2014. 234 p.

GERADORA, A. **O QUE É UMA SUBESTAÇÃO?** 2016. Disponível em: <<https://www.ageradora.com.br/o-que-e-uma-subestacao/>>. Acesso em 20/12/2023.

JÚNIOR, D. P. P. **Manutenção em subestações da universidade de Brasília em conformidade com a NR10**. 88 p. Monografia (Graduação) — Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia Curso de Graduação Em Engenharia Elétrica, Brasília, 2016.

MAIA, B. **Ensaio de tipo e rotina em transformadores: processos e diferenças**. 2023. Disponível em: <<https://conteudo.hvex.com.br/lab/ensaio-de-tipo-e-rotina-em-transformadores-processos-e-diferencas/>>. Acesso em 10/12/2023.

MCEIG. **Painel elétrico de baixa tensão**. 2023. Disponível em: <<https://www.mceig.com.br/painel-eletrico-de-baixa-tensao/>>. Acesso em 17/12/2023.

MENDES, D. C. V. P. **Subestações: guia de projeto e estudo de caso**. 104 p. Monografia (Graduação) — Universidade Federal do Ceará Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2018.

MONTEIRO, B. de S.; FERNANDES, M. F.; SILVA, A. V. da; LEITE, L. H. de M. **Inspeção em Subestações Utilizando a Termografia**. 2010.

MONTER. **Manutenção de painéis elétricos**. 2023. Disponível em: <<https://www.montereletrica.com.br/manutencao-paineis-eletricos/>>. Acesso em 17/12/2023.

PAIVA, C. G. P. **Elaboração de cronograma de manutenção anual de subestação de 15 kv – estudo de caso**. 117 p. Monografia (Graduação) — Universidade Federal do Ceará Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2019.

PAULINO, M. E. de C. **Manutenção de transformadores: Polaridade e relação em transformadores de potência. O setor Elétrico**, São Paulo - SP, 2013. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2014/06/ed-100_Fasciculo_Cap-V-Manutencao-de-transformadores.pdf>.

PAULINO, M. E. de C. **Ensaio de resistência de isolamento e de rigidez dielétrica. O Setor Elétrico**, São Paulo - SP, 2014. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2014/08/ed-102_Fasciculo_Cap-VII-Manutencao-de-transformadores.pdf>.

PAULINO, M. E. de C. **Ensaio de resistência ôhmica de enrolamentos e avaliação do comutador sob carga: Tipos de falhas e defeitos em transformadores de potência. O Setor Elétrico**, São Paulo - SP, 2015. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2014/05/ed-99_Fasciculo_Cap-IV-Manutencao-de-transformadores.pdf>.

QUEIROZ, L. C. de. **Manutenção da subestação abrigada do IFPB - Campus João Pessoa**. 2021. 46 p. Relatório de Estágio, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba.

R3BRASIL. **Termografia**. 2013. Disponível em: <<http://www.r3brasil.com.br/2013/01/termografia-termografia-e-uma.html>>. Acesso em 14/12/2023.

SANTOS, J. L. O. dos. **Qual a importância da realização da termografia em transformadores?** 2022. Disponível em: <<https://portalspda.com.br/termografia/termografia-em-transformadores>>. Acesso em 15/12/2023.

SILVA, R. R.; QUEIROZ, R. K. B. D. S.; SILVA, V. A. D.; FERREIRA, P. R. N. **Instrução técnica de manutenção da subestação 13,8kv da católica do tocantins – campus I.** 64 p. Monografia (Graduação) — UniCatólica - Centro Universitário Católica do Tocantins, Palmas, 2019.

SOARES, L. L. **Manutenção de subestações classe 15 KV, procedimentos e ensaios segundo normas aplicáveis da ABNT e mte.** 105 p. Monografia (Graduação) — Universidade Federal do Ceará Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Elétrica Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2013.

SOUZA, M. N. **A importância da manutenção preventiva de subestações na previsão e eliminação de problemas futuros: um estudo de caso.** 104 p. Monografia (Graduação) — Universidade Federal do Ceará Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Elétrica Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2017.

THERM insp. **Termografia Em Sistemas Elétricos: Entenda A Importância!** 2021. Disponível em: <<https://insp-therm.com.br/termografia-em-sistemas-eletricos-importancia/>>. Acesso em 12/12/2023.

TRIFÁSICA. **O que é um disjuntor de média tensão?** 2023. Disponível em: <<https://trifasica.com.br/o-que-e-um-disjuntor-de-media-tensao/>>. Acesso em 17/12/2023.

WILLICH, J. **Manutenção de subestação de energia: o que é + checklist.** 2023. Disponível em: <<https://www.produttivo.com.br/blog/manutencao-de-subestacao-de-energia/#:~:text=Uma%20rotina%20de%20manuten%C3%A7%C3%A3o%20de,melhorando%20a%20conserva%C3%A7%C3%A3o%20dos%20equipamentos.>> Acesso em 20/12/2023.

ÁLVARES, R. C. **Diagnóstico de Falhas em Para-Raios Utilizando Termografia.** Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belo Horizonte–MG, 2008.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850

Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, João Pessoa (PB)

CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TCC Lucas Cândido

Assunto:	TCC Lucas Cândido
Assinado por:	Lucas Queiroz
Tipo do Documento:	Relatório
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Lucas Cândido de Queiroz, ALUNO (20171610016) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - JOÃO PESSOA, em 28/10/2024 23:47:59.

Este documento foi armazenado no SUAP em 28/10/2024. 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: 1292737
Código de Autenticação: a68f9a8415

