

Manutenção preventiva em subestação em média tensão

Preventive maintenance in medium voltage substation

Mantenimiento preventivo en subestación de media tensión

DOI: 10.55905/oelv23n3-059

Receipt of originals: 2/17/2025

Acceptance for publication: 3/7/2025

Cristhopher Alves Mesquita

Graduado em Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade Federal de Goiás

Endereço: Goiânia, Goiás, Brasil

E-mail: cristhopher.eng@gmail.com

Fernando Nunes Belchior

Doutor em Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade Federal de Uberlândia

Endereço: Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil

E-mail: fnbelchior@ufg.br

John Edward Neira Villena

Doutor em Engenharia de Materiais

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Endereço: Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil

E-mail: johnneirav@ufg.br

RESUMO

Este trabalho visa expor técnicas de manutenção preventiva dos principais equipamentos presentes em uma subestação, através de procedimentos de ensaio e metodologias, além de apresentar um estudo de caso simples, abordando medições em uma subestação de média tensão de 750kVA em Aparecida de Goiânia-GO, realizando testes no transformador, chaves seccionadoras, transformadores de corrente, transformadores de potencial, disjuntor de média tensão, para-raios e muflas. Foram realizados os ensaios de resistência de isolamento, resistência de contato, análise do óleo isolante, relação do número de espiras e teste de trip do disjuntor, utilizando o megômetro, microhmímetro, *Transformer Turns Ratio* e maleta de testes de proteção.

Palavras-chave: Manutenção Preventiva, Subestação, Metodologia.

ABSTRACT

This project has as a goal to present preventive maintenance techniques for the equipment in a substation, addressing measurements in a 750kVA medium voltage substation in Aparecida de Goiânia-GO, conducting tests on the transformer, disconnect switches, current transformers, potential transformers, medium voltage circuit breaker, lightning arrester, and cable joints. The following tests were performed: insulation resistance test, contact resistance test, analysis of insulating oil, turns ratio test, and circuit breaker trip test, using the megger, microohmmeter, Transformer Turns Ratio, and protection test kit.

Keywords: Preventive Maintenance, Substation, Methodology.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo exponer técnicas de mantenimiento preventivo de los principales equipos presentes en una subestación, a través de procedimientos de prueba y metodologías. Además, se presenta un estudio de caso simple, abordando mediciones en una subestación de media tensión de 750 kVA en Aparecida de Goiânia-GO, realizando pruebas en el transformador, interruptores seccionadores, transformadores de corriente, transformadores de potencial, interruptor de media tensión, pararrayos y muflas. Se realizaron las pruebas de: resistencia de aislamiento, resistencia de contacto, análisis del aceite aislante, relación de número de espiras y prueba de disparo del interruptor, utilizando el megóhmetro, microhmímetro, Transformer Turns Ratio y maleta de pruebas de protección.

Palabras clave: Mantenimiento Preventivo, Subestación, Metodología.

1 INTRODUÇÃO

Manutenções elétricas são elementos que compõem todos os tipos de instalações elétricas e que estão presentes no cotidiano do técnico e engenheiro eletricista. O tipo de manutenção mais praticado é a manutenção corretiva, que tem como base apenas sanar problemas que requerem soluções imediatas e que atrapalham o processo produtivo. Dessa forma, a manutenção preventiva é um conjunto de atividades realizadas de forma planejada e sistemática com o objetivo de evitar ou mitigar falhas, defeitos e paradas não programadas em equipamentos, sistemas ou instalações. Essas atividades englobam inspeções periódicas, testes, limpezas, lubrificações, ajustes e substituições preventivas de componentes desgastados. A manutenção preventiva é o tema principal abordado por este trabalho, será explanado sua aplicação em subestações abrigadas de tensão 13,8kV.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir será apresentado de maneira ordenada e sequencial, cada um dos instrumentos utilizados nos testes que são realizados durante a manutenção preventiva.

2.1 DOCUMENTAÇÕES NECESSÁRIAS

Ao iniciar qualquer serviço de manutenção preventiva em uma subestação elétrica, a equipe responsável pelo serviço deve fornecer vários documentos que possam ser formalizados e úteis para a execução do serviço. Utilizando como base (BARROS, 2015), os documentos necessários são:

- ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) preenchida e recolhida por um profissional legalmente habilitado;
- Manual dos fabricantes dos equipamentos;
- Formulário de relatórios técnicos dos ensaios e verificações dos equipamentos;
- Folha de registro do relatório da manutenção anterior;
- Procedimentos de trabalho padronizado conforme item 10.11 da NR – 10;
- Documento da autorização comprobatória dos profissionais (NR – 10 (2019)).

2.2 DESENERGIZAÇÃO

Seguindo a seção 10.5.1 da NR – 10 (2019), um sistema está desenergizado e liberado para execução dos trabalhos, após realizar os seguintes procedimentos:

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

2.3 PROCEDIMENTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÕES PREVENTIVAS DE SUBESTAÇÕES

2.3.1 Avaliação do sistema isolante

A resistência dielétrica é importante em diversas aplicações, como em cabos elétricos, capacitores, transformadores e isoladores elétricos. Valores mais altos indicam que o material possui uma maior capacidade de suportar altas tensões sem falhar. É importante ressaltar que a resistência dielétrica de um material pode ser afetada por fatores como a temperatura, umidade, impurezas, envelhecimento do material e outros elementos presentes no ambiente, para tal. Por isso, é necessário selecionar materiais com a resistência dielétrica adequada para garantir a segurança e o bom funcionamento dos sistemas elétricos.

a) Ensaio de resistência de isolamento

De acordo com a CLAMPER (2014) Resistência de isolamento (RI) é a medida da capacidade de um material isolante de resistir à passagem de corrente elétrica através dele. É a medida da resistência oferecida pelo isolamento elétrico entre dois condutores.

Para medir a resistência de isolação, utiliza-se um equipamento chamado megôhmetro (Figura 2a), que aplica uma tensão elétrica de alta voltagem entre os condutores e mede a corrente que flui através do isolamento. A resistência resultante, na ordem de mega ohms, medida neste ensaio é a soma da resistência interna do condutor, mais a resistência de isolação, que é dividida em três componentes independentes:

- Corrente de deslocamento ou corrente de carga capacitiva (IC);
- Corrente de absorção (IA);
- Corrente de dispersão ou corrente de fuga por meio do dielétrico (IL).

Com isso, através da primeira lei de ohm representada pela Equação (1), tem-se:

$$R(M\Omega) = \left(\frac{V(kV)}{I(mA)} \right) \quad (1)$$

A corrente de carga capacitiva (IC) surge no início da energização e possui a mesma característica da corrente de carga do capacitor, isso ocorre devido ao efeito entre o condutor e a terra ou entre condutores e dependerão do tipo e da forma do material isolante. O valor atingido pela corrente IC tem seu valor máximo na energização e decresce rapidamente a um valor próximo a zero, quando a isolação foi eletricamente carregada por completo.

A corrente de absorção (IA), é responsável pela polarização dos dipolos elétricos que constituem a massa do dielétrico. Quando se mede equipamentos com baixa capacitância, tem-se nos primeiros segundos uma corrente alta que decresce vagarosamente próxima a zero, no decorrer de um longo período. A baixa capacitância é uma característica desejável em transformadores de potência, pois isso significa que há uma menor probabilidade de surgimento de correntes parasitas ou de problemas relacionados à interferência eletromagnética. Além disso, a baixa capacitância contribui para uma resposta mais rápida do transformador a mudanças na tensão elétrica. Ao ensaiar equipamentos de alta capacitância ou isolação com teor de umidade elevado e contaminado, não haverá decréscimo na corrente de absorção por um longo período (NBR 5383-1:2002, 2002)

Ponto de orvalho é a temperatura até a qual o ar deve ser resfriado para que o vapor de água presente condense na forma de orvalho ou geada. Em qualquer temperatura há uma quantidade máxima de vapor de água que o ar consegue manter. Essa quantidade máxima é chamada de pressão de saturação do vapor de água.

Dessa forma, quando um teste de RI é realizado, é de suma importância a utilização do termo higrômetro, para fazer a verificação contínua da temperatura e umidade, e limpeza dos contatos que receberão as garras de prova, com o auxílio da Tabela 1, pode-se aferir o ponto de orvalho da superfície e se poderá ou não ser realizada a medição da resistência de isolação.

A corrente de dispersão ou de fuga (IL), por meio do dielétrico, flui pelo interior da massa do dielétrico e pela sua superfície, de um condutor para a terra ou de um condutor para o outro e é de caráter irreversível. Constitui-se no componente mais importante na medição do ensaio de isolamento em corrente contínua quando se deseja

avaliar o estado em que se encontra o isolamento. Tal corrente é invariante com o tempo de aplicação de tensão e, nestas condições, se houver alguma elevação de seu nível é um forte indicativo que o isolamento pode vir a falhar. A Figura 1 mostra a corrente total com seus três componentes definidos anteriormente.

b) Análise do óleo isolante

O ensaio físico-químico e cromatográfico de óleo isolante são realizados para avaliar a qualidade do óleo isolante, identificar possíveis problemas e determinar a necessidade de manutenção ou substituição do óleo. O ensaio físico-químico envolve uma série de testes para avaliar as características físicas e químicas do óleo isolante. Alguns dos testes comuns da análise físico-química incluem:

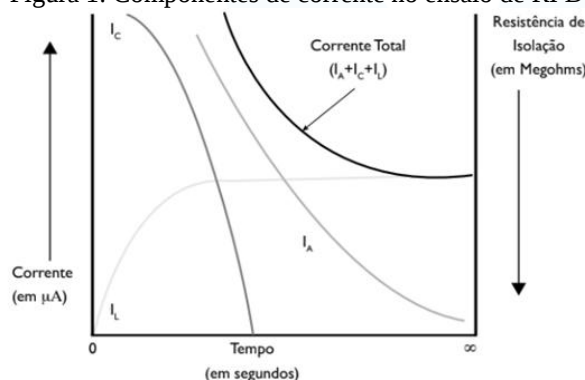
- Teor de água: mede a quantidade de umidade presente no óleo isolante, que pode causar degradação do isolamento.
 - Rigidez dielétrica: mede a resistência do óleo altas tensões elétricas sem falhar.
 - Tensão interfacial: avalia a tensão superficial entre o óleo isolante e a água, indicando a presença de contaminantes.
 - Densidade: analisa a densidade do óleo que pode indicar a presença de impurezas.
- No caso da análise cromatografia se analisa:
- Teor de gases dissolvidos: detecta e quantifica gases dissolvidos no óleo, como oxigênio, nitrogênio e dióxido de carbono, que podem indicar problemas no isolamento.

Tabela 1 - Cálculo do ponto de orvalho

Umid. relativa do ar (%)	Temperatura do ar (°C)									
	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
90	-6,5	-1,2	3,5	8,5	13,5	18,5	23,5	28,0	33,0	38,5
85	-7,5	-2,0	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,0	32,0	37,5
80	-8,0	-3,0	2,0	6,5	11,5	16,5	21,0	26,0	31,0	36,0
75	-8,5	-3,5	1,0	5,5	10,5	15,5	20,0	25,0	30,0	35,0
70	-9,5	-4,5	0,0	4,5	9,0	14,5	19,0	23,5	28,0	33,5
65	-10,0	-5,5	-1,0	3,0	8,0	13,0	17,5	22,0	27,0	32,0
60	-11,0	-6,5	-2,0	2,0	7,0	12,0	16,5	20,5	25,5	30,5
55	-11,5	-7,5	-3,0	1,0	5,5	10,5	15,0	19,5	24,0	29,0
50	-13,0	-8,5	-4,5	-0,5	4,0	9,0	13,5	18,0	22,5	27,0
45	-14,5	-9,5	-6,0	-1,5	2,5	7,0	12,0	16,0	20,5	25,5
40	-16,0	-11	-7,5	-3,5	1,0	5,5	9,5	14,0	18,0	23,0
35	-18,0	-12	-8,5	-5,0	-1,0	3,0	7,5	12,0	16,5	21,0
30	-19,0	-14,5	-10,5	-7,0	-3,0	1,5	5,5	9,5	13,5	18,0

Fonte: WEG (2023)

Figura 1. Componentes de corrente no ensaio de RI DC



Fonte: CIGRE Brasil, GT A2.05, (2013)

2.3.2 Medição das resistências de contato

O microhmímetro, (Figura 2b), é responsável por medir as baixas resistências de contato dos materiais elétricos nas subestações. Podem ser usados nas barras condutoras, nas chaves seccionadoras, nos disjuntores e nas resistências ôhmicas dos enrolamentos do transformador. O instrumento geralmente injeta correntes em dois pontos na faixa de 1 mA a 100 A durante o teste. A queda de tensão é causada pela corrente que circula pelo

equipamento, com isso, encontra-se a resistência de contato dada pela primeira Lei de Ohm, representada pela Equação (2).

$$R(m\Omega) = \left(\frac{V(\mu V)}{I(A)} \right) \quad (2)$$

O método dos quatro terminais, também conhecido como método de Kelvin, é usado nos ensaios para evitar erros de medição causados pelos cabos de prova do instrumento e a resistência de contato do equipamento durante o ensaio. Os valores medidos durante as aferições devem ser anotados e comparados com os valores encontrados na norma do equipamento sob ensaio e nos manuais do fabricante.

2.3.3 Medição da relação de espiras – TTR

TTR (*Transformer Turns Ratio*) (Figura 2c) é um termo usado para se referir a um equipamento de teste que mede a relação de transformação de um transformador. Ele é um dispositivo que determina a relação entre o número de voltas do enrolamento primário (N1) e o número de voltas do enrolamento secundário (N2), comparado com a razão da tensão no enrolamento primário (V1) e a tensão no enrolamento secundário (V2) de um transformador, dado pela Equação (3).

$$\left(\frac{N1}{N2} \right) = \left(\frac{V1}{V2} \right) \quad (3)$$

O teste TTR é realizado para verificar se a relação de transformação do transformador está de acordo com as especificações do projeto. Ele fornece informações importantes sobre a qualidade do transformador, como possíveis problemas de conexão, curto-circuito interno, problemas de isolamento ou falhas nos enrolamentos.

Os resultados do teste TTR são comparados com os valores teóricos ou especificações do fabricante para determinar se o transformador está funcionando corretamente. Uma diferença significativa entre os valores medidos e os valores

esperados, isso pode indicar a necessidade de reparo ou substituição do transformador.

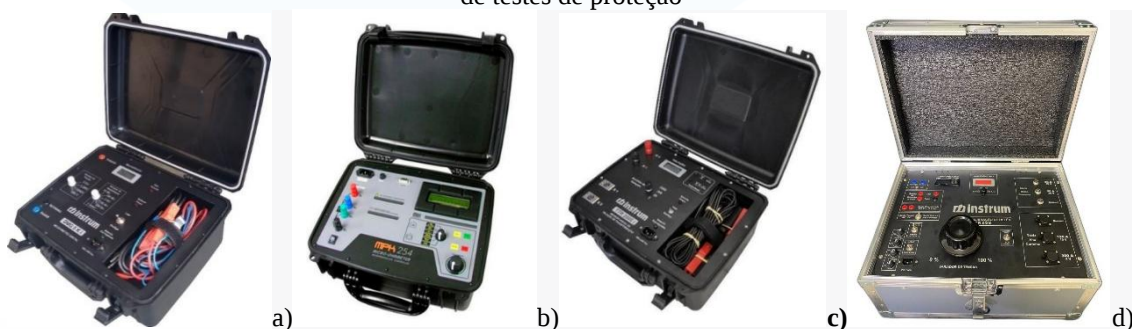
2.3.4 Maleta de testes de proteção

Uma maleta de testes que realiza o trip do disjuntor é conhecida como maleta de testes de proteção ou maleta de testes de relés (Figura 2d). Essas malas são equipamentos portáteis que permitem realizar uma variedade de testes em relés de proteção e dispositivos de disparo, incluindo o teste de trip do disjuntor.

O teste envolve a simulação de um evento de falha ou sobrecorrente para verificar se o disjuntor está respondendo corretamente e desligando o circuito dentro dos parâmetros esperados. Durante o teste, a maleta de testes envia um sinal de disparo para o relé de proteção, que por sua vez envia um comando para o disjuntor, fazendo-o abrir e interromper o circuito.

As malas de testes de proteção podem oferecer outras funcionalidades, como teste de sobrecorrente, teste de subtensão/sobretensão, teste de direcionalidade de corrente, teste de temporização, entre outros. Esses testes são realizados para garantir que os dispositivos de proteção e os sistemas de controle associados estejam funcionando corretamente e possam atuar de maneira eficaz para proteger o sistema elétrico contra falhas e condições anormais.

Figura 2 – Instrumentos: a) Megôhmmetro b) Microhmímetro c) TTR (Transformer Turns Ratio) d) Maleta de testes de proteção



Fonte: Instrum (2023)

2.3.5 Ensaio da resistência de isolamento

O ensaio realizado pelo megôhmetro deverá ser adequado de acordo com o instrumento de teste utilizado, obedecendo as características de uso e aos equipamentos a serem testados:

- Desenergizar o transformador;
- Desconexão dos cabos externos. Para o teste ser eficaz, todos os cabos devem ser desconectados das buchas, inclusive o cabo da bucha de neutro;
- Caso não seja possível a desconexão de todos os cabos, o teste deverá ter anotação detalhada de todo esquema de teste com a respectiva descrição;
- Curto-circuitar os terminais das buchas do primário e do secundário do transformador para ter-se uma melhor distribuição de potencial;
- O tanque do transformador deve ser aterrado;
- Inspecionar e fazer a limpeza das buchas, para garantir que a RI não será comprometida, com um pano seco ou embebido em álcool e deverá ser anotada toda irregularidade constatada;
- Verificar se os cabos do megômetro não estão se encostando ou tocando outras partes do equipamento, para evitar alterações na medição;
- Ajustar o megômetro seguindo as especificações do equipamento utilizado;
- Deve-se nivelar o megômetro, para o uso de medidores com indicador de ponteiros;
- Em megômetros manuais se faz necessário manter invariável a rotação do cambo especificada pelo fabricante, para que a tensão seja constante;
- Durante os testes, deve-se observar com cuidado o ponteiro do megômetro. Se ele apresentar oscilações excessivas provavelmente há mau contato, fugas intermitentes pela superfície do cabo de ligação ou interferência causada pelos circuitos energizados nas proximidades;
- Para que as leituras não sejam influenciadas por resistências em paralelo com a que está sendo avaliada, utiliza-se o cabo “Guarda”. Dessa forma, os terminais do

megômetro devem ser aplicados como mostrado na Tabela 2 (exemplo utilizando transformador com dois enrolamentos).

Tabela 2 - Conexões para teste em transformador de dois enrolamentos

Resistência entre	Circuitos conectados aos terminais		
	Line	Guard	Earth
Alta tensão em relação à Baixa tensão	AT	Carcaça	BT
Alta tensão em relação à Carcaça	AT	BT	Carcaça
Baixa tensão em relação à Carcaça	BT	AT	Carcaça

Fonte: Clamper (2014)

3 METODOLOGIA

Foi realizada a revisão de literatura através de pesquisas bibliográficas de trabalhos, livros, relatórios, manuais e normas, que foi utilizado como referencial para elaboração da fundamentação teórica. Na segunda parte que é o estudo de caso, foi realizada a coleta de dados em campo, juntamente com profissionais habilitados.

3.1 INSTRUMENTOS DE COLETAS DE DADOS

Durante a coleta de dados, foi realizada a inspeção detalhada dos componentes. Além disso, o emprego de diversas técnicas e instrumentos de medição como o megômetro, microohmímetro, TTR, maleta de testes de proteção e auxílio de planilhas para interpretação dos dados e verificação da condição em que o equipamento se encontra.

3.2 ESTUDO DE CASO

Foi retratada uma planta fabril de uma indústria farmacêutica que possui uma subestação de 750kVA apresentada pela Figura 3a, a qual possui suas cargas distribuídas em iluminação interna e externa, circuitos de emergência, sistema de refrigeração, sopradoras, injetoras, caldeiras, autoclaves, envasadoras, osmose reversa e rotuladoras. O

diagrama unifilar representado pela Figura 3b, auxiliará na compreensão dos elementos presentes na subestação e quais foram analisados durante a manutenção preventiva.

A subestação abrigada é formada por quatro cubículos ou postos:

- Um cubículo de medição;
- Um cubículo de proteção;
- Um cubículo de transformação.

3.2.1 Início da manutenção preventiva

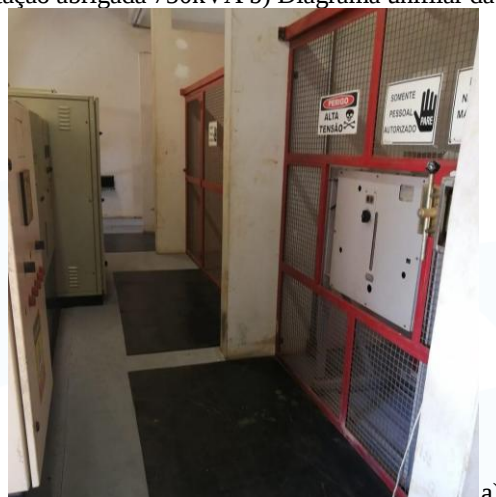
Para realizar a manutenção preventiva da subestação, uma série de procedimentos devem ser realizados de acordo e respeitando todas as normas e especificações supracitadas, seguindo o roteiro para realização da manutenção deve-se:

- Ter em mãos toda a documentação necessária para a manutenção, de acordo com o item 2.1 deste trabalho;
- Realizar os procedimentos de desenergização de acordo com o item 2.2;
- Realizar a manutenção preventiva dos equipamentos da subestação, através dos ensaios apresentados no item 2.3;
- Após a finalização das atividades de manutenção, realizar a reenergização da subestação através da sequência contrária do item 2.2;
- Verificar que todos os equipamentos estejam funcionando corretamente.

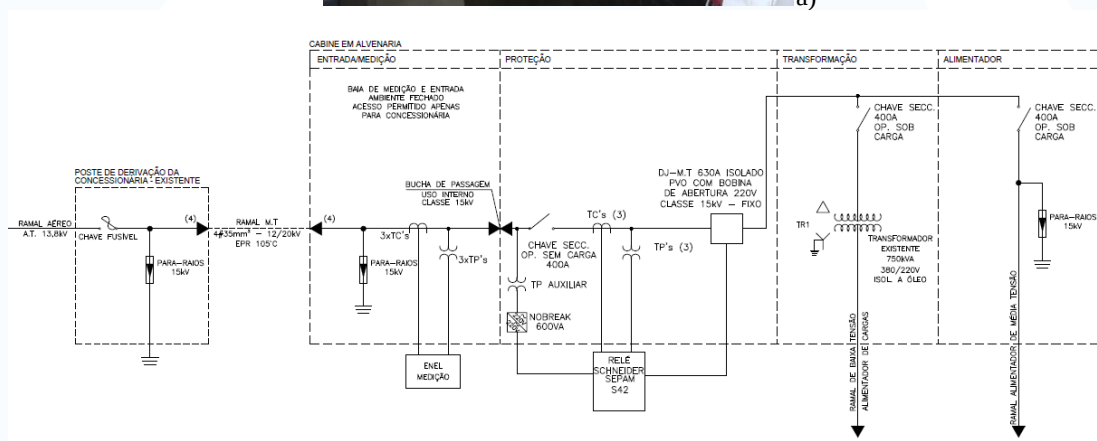
3.2.2 Ensaios realizados no cubículo de medição

Foi realizada a limpeza, lubrificação, reaperto e ou ensaios nos elementos presentes no cubículo de medição apresentado na Figura 4a, de acordo com a Tabela 3. Foram realizados ensaios de resistência de isolamento respeitando o procedimento 2.3.1 deste trabalho, nos para-raios e nas muflas.

Figura 3 – a) Subestação abrigada 750kVA b) Diagrama unifilar da subestação analisada



a)



b)

Fonte: Autor

3.2.3 Ensaios realizados no cubículo de proteção

Foi realizada a limpeza, lubrificação, reaperto e ou ensaios nos elementos presentes no cubículo de proteção (Figura 4b), de acordo com a Tabela 3. Foram realizados ensaios de resistência de isolação e resistência de contato respeitando os procedimentos 2.3.2 e 2.3.3 deste trabalho, na chave seccionadora e disjuntor de média tensão.

3.2.4 Ensaios realizados no cubículo de transformação

Foi realizada a limpeza, lubrificação, reaperto e ou ensaios nos elementos

presentes no cubículo de proteção (Figura 4c), de acordo com a Tabela 3. Foram realizados ensaios de resistência de isolamento, resistência de contato, relação de transformação e óleo isolante respeitando os procedimentos 2.3.2 e 2.3.4 deste trabalho, na chave seccionadora e transformador de potência.

Tabela 3 - Elementos dos cubículos

	Equipamento	Quantidade
Cubículo de medição	Para-raios	3
	Ramal de entrada	4x35mm ²
	TC	3
	TP	3
	Chave seccionadora	1
Cubículo de proteção	Disjuntor de média tensão	1
	TC	3
	TP	3
	Transformador	1
Cubículo de transformação	Chave seccionadora	1

Fonte: Autor

Figura 4 – a) Cubículo de entrada/medição b) Cubículo de proteção c) Cubículo de transformação



Fonte: Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CUBÍCULO DE MEDIÇÃO

Os resultados dos testes realizados no cubículo de medição serão apresentados pela Tabela 4, assim como a descrição dos equipamentos. O valor mínimo aceitável, para

essa classe de tensão, é de 15MΩ. Porém, em níveis operacionais, foi utilizado o valor de referência de 150MΩ. Com isso, observa-se que todos os valores de RI dos para-raios e das muflas estão de acordo com o valor mínimo exigido pela referência utilizada, ou seja, estão com uma boa resistência de isolamento e não será necessário a aplicação da manutenção corretiva sobre esses itens.

Tabela 4 - Ensaios

Dispositivo	Marca	Resistência de isolamento	
Para-raio	Raychem	Fase A com relação à Massa	2500MΩ
		Fase B com relação à Massa	2400MΩ
		Fase C com relação à Massa	2300MΩ
		Valor de referência	150MΩ
Muflas	Raychem	Fase A com relação à Massa	500MΩ
		Fase B com relação à Massa	625MΩ
		Fase C com relação à Massa	575MΩ
		Valor de referência	150MΩ

Fonte: Autor

4.2 CUBÍCULO DE PROTEÇÃO

Os resultados dos testes realizados no cubículo de proteção serão apresentados pelas Tabelas 5, 6 e 7, assim como a descrição dos equipamentos.

Para identificar qual corrente de fase deve ser injetada no relé de proteção para verificar-se as proteções será utilizada a Equação (5). Dessa forma, tem-se que a corrente de fase é 31,31A. Com isso, escolhendo alguns valores arbitrários de sobrecorrente, foi identificado os tempos de desarme realizados pelo relé de proteção.

$$I(A) = \frac{S(kVA)}{\sqrt{3} \times Vff(kV)} \quad (5)$$

Após a realização dos testes de RI, considerou-se valor de referência de 150MΩ. Por outro lado, para o teste da resistência de contato, considera-se o valor máximo de 300μΩ, onde, encontrando-se valores maiores que este, se faz necessário a manutenção corretiva do equipamento. Com isso, observa-se que todos os valores de RI, resistência de contato e teste de trip do disjuntor, nos elementos do cubículo de proteção, estão de

acordo com os valores exigidos pelas referências utilizadas.

Tabela 5 - Ensaio da chave seccionadora de média tensão

Chave seccionadora de média tensão de entrada	
Tipo	CT
Classe de isolamento	15kV
Corrente nominal (I.N)	400A
Fabricante	Moran
Resistência de isolamento	
Fase A com relação à Massa	770MΩ
Fase B com relação à Massa	1300MΩ
Fase C com relação à Massa	1050MΩ
Valor de referência	150MΩ
Resistência de contato	
Fase A = 75μΩ; Fase B = 77μΩ; Fase C = 80μΩ	
Valor Máximo	300μΩ

Fonte: Autor

Tabela 6 - Ensaio do disjuntor de média tensão

Disjuntor de média tensão	
Tipo	PVO
Classe de isolamento	17kV
I.N	630A
Fabricante	ALSTON
Resistência de isolamento	
Disjuntor Aberto	
Fase A com relação à Massa	10,7GΩ
Fase B com relação à Massa	9,5GΩ
Fase C com relação à Massa	12GΩ
Valor de referência	150MΩ
Disjuntor Fechado	
Fase A com relação à Massa	14GΩ
Fase B com relação à Massa	13GΩ
Fase C com relação à Massa	17GΩ
Valor de referência	150MΩ
Resistência de contato	
Fase A/A = 75μΩ; Fase B/B = 77μΩ; Fase C/C = 80μΩ	
Valor Máximo	300μΩ

Fonte: Autor

Tabela 7 - Ensaio de sobrecorrente no relé de proteção

Teste operacional no relé de proteção		
Fase	Corrente injetada (A)	Tempo de desarme (s)
Fase A	170	5,1
Fase B	150	7,2
Fase C	180	4,3
Neutro	100	3,2

Fonte: Autor

4.3 CUBÍCULO DE TRANSFORMAÇÃO

Os resultados dos testes realizados no cubículo de transformação serão apresentados pelas Tabelas 8 e 9, assim como a descrição dos equipamentos.

Tabela 8 - Ensaio da chave seccionadora

Chave seccionadora de média tensão do transformador	
Tipo	CT
Classe de isolamento	15kV
I.N	400A
Fabricante	Moran
Resistência de isolamento	
Fase A com relação à Massa	1100MΩ
Fase B com relação à Massa	970MΩ
Fase C com relação à Massa	850MΩ
Valor de referência	150MΩ
Resistência de contato	
Fase A = 70μΩ; Fase B = 82μΩ; Fase C = 75μΩ	
Valor Máximo	300μΩ

Fonte: Autor

De acordo com a NBR 7036:2022, os valores admissíveis para a RI dos transformadores imersos em líquido isolante são de 30MΩ para cada kV da classe de isolamento. Logo, como o menor valor de resistência obtido foi de 640 MΩ, e a classe de isolação estudada é de 15 kV, pode-se concluir que os valores encontrados satisfazem as condições de valores admissíveis em norma, comprovando assim, que o transformador em análise se encontra em boas condições quanto ao seu isolamento. Conforme já mencionado, o valor da resistência de contato não deve ser maior que 300μΩ, sendo necessária a manutenção corretiva do equipamento para valores maiores que este. Com isso, observa-se que todos os valores de RI, resistência de contato e relação de

transformação, nos elementos do cubículo de transformação estão até agora, de acordo com os valores exigidos pelas referências utilizadas.

Tabela 9 - Ensaios do transformador

Transformador a óleo	
Tipo de óleo isolante	B
Classe de tensão	13,8kV
Impedância	4,10%
Fabricante	SAGEL
Resistência de contato AT	
H1-H2 = 101 $\mu\Omega$; H2-H3 = 112 $\mu\Omega$; H3-H1 = 107 $\mu\Omega$	
Valor Máximo	300 $\mu\Omega$
Resistência de contato BT	
X0-X1 = 12 $\mu\Omega$ X0-X2 = 11 $\mu\Omega$; X0-X3 = 12 $\mu\Omega$	
Valor Máximo	300 $\mu\Omega$
Resistência de isolamento	
AT com relação à BT	33 G Ω
AT com relação à Massa	3 G Ω
BT com relação à Massa	640 M Ω
Valor Mínimo	450 M Ω
Ensaio da relação de transformação	
Fase A = 60,01 Fase B = 60,02; Fase C = 60,01	
Valor teórico	60

Fonte: Autor

Agora serão apresentados os testes de resistência de isolamento do transformador durante o período de 10 minutos, de acordo com a Figura 5. O índice de polarização, que mede a razão entre a resistência no 10º minuto e a resistência no 1º minuto, e o índice de absorção, que mede a razão entre a resistência nos primeiros 60 segundos e a resistência nos 30 segundos de teste, são retirados da Tabela 2 presente na seção 2.3.5 (Tabela 10). Ensaio da RI serão medidos através deste teste e apresentados como está a condição da isolamento transformador.

A resistência de isolamento é crescente com o tempo e não decai mesmo após 10 minutos, isso demonstra que a saúde da isolamento do transformador está muito boa, não há indícios de possíveis falhas na isolamento, pois tanto o índice de polarização quanto o índice de absorção estão em níveis altos.

A resistência de isolamento é crescente com o tempo e não decai mesmo após 10 minutos, mas esse crescimento não é igual ao da figura 5b em que a inclinação da curva

é maior. Isso demonstra que não se tem certeza sobre o nível de contaminação presente no transformador. Será necessário na próxima manutenção preventiva repetir esse teste e verificar se os índices irão diminuir, pois caso isso ocorra. Será necessário fazer a abertura do transformador para limpeza das bobinas e verificação do estado das bobinas, se há trincas ou rachaduras, através da manutenção corretiva.

A resistência de isolamento é crescente com o tempo e decai após 200 segundos, o crescimento até os 200 segundos é um bom sinal, pois significa que a isolamento não foi contaminada. Porém, é preocupante o fato de a resistência cair ao longo do tempo, isso pode significar que os níveis de umidade, poeira estão significativos. A figura 5c é diferente das 5a e 5b, devido à queda na isolamento com o decorrer do tempo, na próxima manutenção preventiva será necessário verificar com cautela os enrolamentos de baixa com relação à massa e verificar se os índices irão diminuir, pois caso isso ocorra. Será necessário fazer a abertura do transformador para limpeza das bobinas e verificação do estado das bobinas, se há trincas ou rachaduras, por meio da manutenção corretiva.

Dessa forma, será necessário fazer a repetição desses testes durante a próxima manutenção preventiva, a fim de verificar se a resistência continuará diminuindo, será necessário aguardar a próxima manutenção preventiva que ocorrerá após dois anos a partir do período da manutenção que ocorreu.

5 CONCLUSÃO

Foram apresentados os elementos que compõem a subestação, com base em normas e orientações de fabricantes, os processos realizados durante a ocorrência da manutenção preventiva, tais como inspeções visuais no transformador, medições das RI e análise do óleo isolante. Assim, conseguindo compreender melhor se os parâmetros usados durante a manutenção se enquadram com o padrão.

Além disso, foi possível conhecer os equipamentos de testes utilizados durante o processo de manutenção preventiva de uma subestação, de forma a adquirir conhecimento sobre seu funcionamento e importância para tais processos.

Por meio da análise prática em campo foi possível a aplicação dos conhecimentos adquiridos em teoria e a interpretação de resultados para avaliação da saúde da subestação e a correção de possíveis erros os quais poderiam trazer prejuízos futuros de grande impacto financeiro para a empresa.

Tabela 10 - Resultado do teste resistência de isolamento do

	Índice de absorção	índice de polarização
Transformador alta com relação à baixa	1,1363636	3,431373
	Duvidoso	Aceitável
Transformador alta com relação à massa	1,1363636	1,36
	Duvidoso	Duvidoso
Transformador baixa com relação à massa	1,8	1,428571
	Aceitável	Duvidoso

Fonte: Autor

Figura 5 – a) Ensaio da RI dos enrolamentos de alta com relação à baixa b) Ensaio da RI dos enrolamentos de alta com relação à massa c) Ensaio da RI dos enrolamentos de baixa com relação à massa



Fonte: Autor

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas - ABNT. **Máquinas Elétricas Girantes-** NBR 5383-1:2002. Rio de Janeiro: 1ª ed., 2002.

Associação Brasileira De Normas Técnicas - ABNT. **Recebimento, armazenagem, instalação e manutenção de transformadores de distribuição até a classe de tensão de 36,2 kV, imersos em líquido isolante** - NBR 7036:2022. RJ: 2ª Ed., 2022.

BARROS, B. F. G., Luis R., Cabine Primária - **Subestações de Alta Tensão de Consumidor**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2015.

CIGRE Brasil – Grupo de Trabalho. GT A2.05. **Guia de manutenção para transformadores de potência**. Rio de Janeiro:A2.05, 2013.

Clamper. **Ensaio de resistência de isolamento e de rigidez dielétrica** Cap VII. 102. ed. Minas Gerais: 2014.

INSTRUM. **Catálogo megôhmetro digital 5kV - modelo DMG 5KI**. Disponível em: <https://28704.cdn.simplo7.net/static/28704/sku/SGRD_32_001_DMG5KiFOTOweb.jpg>. Acesso em: 12 jan 2025.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO - MTE. NR-10 - **Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Aprovada pela portaria nº 915, de 30 de julho de 2019, publicada no D.O.U. em 31 de julho de 2019.

WEG. **Tabela de ponto de orvalho**. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h78/h36/WEG-transformador-de-potencia-catalogo-espanol.pdf>>, Acesso em 12 jan 2025.