UNIVERSIDADE POLITÉCNICA – A POLITÉCNICA

ESEUNA – ESCOLA SUPERIOR DE ESTUDOS UNIVERSITÁRIOS DE NAMPULA

"ESTUDO DAS TÉCNICAS DE ANÁLISE DA QUALIDADE DO LÍQUIDO ISOLANTE DO TRANSPOFORMADOR, ATRAVÉS DOS ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS"

ESTUDO DE CASO**:** TRANSFORMADOR DE POTENCIA 101 – SUBESTAÇÃO DE 110kV – CIDADE DE NAMPULA

JOSÉ MANUEL LÁZARO BRAZ

NAMPULA, 2019

JOSÉ MANUEL LÁZARO BRÁZ

"ESTUDO DAS TÉCNICAS DE ANÁLISE DA QUALIDADE DO LÍQUIDO ISOLANTE DO TRANSPOFORMADOR, ATRAVÉS DOS ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS"

ESTUDO DE CASO: TR101 – SUBESTAÇÃO DE 110kV – CIDADE DE NAMPULA

TUTOR ENG.º SELIMANE AMADE

Monografia apresentada a Universidade Politécnica – ESEUNA, para obtenção de grau de Licenciatura em Engenharia Elétrica.

NAMPULA, 2019

Índice

Declaração de honra i
Dedicatória ii
Agradecimento iii
Epígrafe iv
Lista de Siglas v
Lista de abreviaturas vi
Lista de Gráficos vii
Lista de Tabelas viii
Lista de Figuras ix
Resumo x
Abstract xi
1.INTRODUÇÃO 1
1.1. Tema 1
1.2. Formulação do Problema 1
1.3. Justificativa 2
1.4. Delimitação do estudo 2
1.5. Objectivo do Trabalho 2
1.5.1. Objectivo Geral 2
1.5.2. Objectivos específicos 3
1.6. Dados estatísticos da pesquisa 3
1.6.1. Universo da monografia 3
1.6.2. Amostra da Monografia 3
1.7. Hipóteses 3
1.8.Metodologia do trabalho 4
1.8.1.Quanto ao método de abordagem 4
1.8.2.Pesquisa quanto ao tipo 4
1.8.3. Quanto ao procedimento 4
1.9.Pesquisa bibliográfica 5
1.9.1.Estudo de campo 5
1.10.Instrumentos de colecta de dados 5

1.10.1.Pesquisa documental 5
1.10.2.Instrumentos de colecta de dados 5
1.10.2.1.Observação 5
1.10.2.2.Entrevista 6
1.10.2.3.Análise de Dados 6
2.1. Conceitos Fundamentais 7
2.1.1.Transformador 7
2.1.2.Disponibilidade 7
2.1.3.Óleo mineral isolante 7
2.1.4.Degradação química do óleo 7
2.1.5.Electricidade 7
2.1.6.Subestação eléctrica 7
2.1.7.Falha 8
2.2. Característica técnica e construtiva do Transformador de Potência 8
2.2.1. Enrolamentos 8
2.2.2. Núcleo 8
2.2.3.Isolamento 8
2.2.4.Relé Buchholz 8
2.2.5.Válvula de alívio de pressão 9
2.2.6.Refrigeração 9
2.3. Relação Matemática de Transformador 9
2.3.1. Potência do Transformador 9
2.4. Tipos de isolamentos 10
2.4.1.Isolamento sólido 10
2.4.2. Isolamento líquido 10
2.4.3. Isolamento gasoso. 10
2.4.4.Isolamento a seco 11
2.5..Tipos de manutenção 11
2.51. Manutenção preventiva 11
2.5.2.Manutenção Correctiva 12
2.6..Impacto de manutenção inadequada 12

2.7.Óleo mineral isolante 12
2.7.1.Funções básicas do óleo mineral isolante: 13
2.7.2.Condições Ideais do óleo mineral isolante 13
2.8. Propriedades físicas 13
2.8.1.Propriedades químicas 14
2.8.2.Propriedades eléctricas 14
2.9. Tipos de óleo mineral isolante 14
2.10.Avaliação das qualidades do óleo mineral isolante 15
2.11. Técnicas de preservação do óleo isolante 16
2.12. Membrana e bolsa de nitrogénio 16
2.12.1. Maquina termo vácuo 16
2.12.2. Sílica gel 17
2.12.3. Contaminação e degradação do óleo mineral isolante em serviço 17
2.14. Falhas operacionais do Transformador 18
2.15. Tratamento de óleo mineral isolante 19
CAPITULO III 20
3. ESTUDO DAS CARACTERISTICAS FÍSICO QUÍMICAS DO ÓLEO MINERAL ISOLANTE 20
3.1. Avaliação da cor do óleo mineral isolante 20
3.2. Rigidez dieléctrica do óleo mineral isolante 20
3.3. Teor de Água no óleo mineral isolante 21
3.4. Índice de Acidez 21
3.5. Tensão interfacial 22
3.6. Factor de potência (FP) 22
3.7. Densidade 23
3.8. Viscosidade 23
3.9. Análise de gases dissolvidos. 23
3.10. Interacção ambiental e humana do óleo mineral 24
CAPITULO IV 25
4.RESULTADO DO ESTUDO SOBRE AS CARACTERISTICAS FÍSICO QUÍMICAS DO OMI DO TRANSFORMADOR TR101, PERIÓDO DE 2015; 2016 E 2018 25

4.1. Resultados de análise de gases, rigidez dieléctrica e humidade do Transformador T101 Ano 2015. 25

4.2. Resultados de análise de gases, rigidez dieléctrica e humidade do Transformador T101 Ano 2016. 26

4.3. Resultados de análise de gases, rigidez dieléctrica e humidade do Transformador T101-Ano2018. 26

5. Avaliação do impacto dos gases dissolvidos em óleo 27

6.Discussão de dados 27

7.Conclusão 29

8. Sugestões 30

9.Referências bibliográficas 31

ANEXO 33

APÊNDICE 38

Declaração de honra

Com zelo, firmeza e honestidade, declaro por minha honra que esta Monografia é resultado da minha investigação e orientações do meu tutor.

O seu conteúdo é original e todas fontes consultadas estão devidamente mencionadas no trabalho e nas referências finais.

Nampula Maio de 2019

_____

(José Manuel Lazaro Braz)

Dedicatória

Dedico à Deus pela salvação da minha alma e por colocar pessoas especiais ao meu lado.
Aos meus gémeos Shelton e Shelcia e esposa Josina Zicai Braz, pelo amor e paciência nas horas ausentes em busca de conhecimentos.

Agradecimento

Quero agradecer ao meu Supervisor Eng.º Selimane Amade pelo todo suporte dado nas suas sábias palavras tanto de motivação, como de orientação.

A Electricidade de Moçambique pela concessão de bolsa de estudo.
Aos meus Pais Braz e Júlia Maria Pia, meus irmãos Arnaldo e Carolina, "memória" que foram tão importantes no meu crescimento.Eterna saudade!
Finalmente, dedico a mana Constância, única irmã presente, pelo apoio moral, perseverança e humildade.

Epígrafe

"Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, elas são o trilho para achar as que estão certas”

Carl Sagan

Lista de Siglas

% - Por cento (percentagem)

& - e

°C – Grau centígrado

C2H2 – Acetileno

C2H4 – Etileno

CH4 – Metano

H2 – Hidrogénio

CO2 – Dióxido de carbono

CO – Monóxido de carbono

CH4 – Metano

Lista de abreviaturas

EDM – Electricidade de Moçambique

TR – Transformador

TP – Transformador de Potencia

TE – Transformador elevador

TD - Transformador de distribuição

TA – Transformador abaixador

P – Potencia

P1 – Potencia no primário

P2 – Potencia no secundário

SF6 – Hexa fluoreto de enxofre

OMI – Óleo mineral isolante

OMP – Óleo mineral parafínico

OMN – Óleo mineral nafténico

TIF - Tensão inter facial

FP – Factor de potência

Fig. – Figura

DGA/ GDA – Analise de gases dissolvidos

PCB – Poli cloro bifenil

RD – Rigidez dieléctrica

KV – Kilo volts

SE – Subestação

Fig. – Figura

Lista de Gráficos

Grafico.1. Questão sobre o desempenho do TR101 nos últimos 4 anos. ……43
Gráfico 2. Questão sobre a periodicidade de manutenção do transformador TR101……..43
Gráfico 3. Questão sobre a idade e tempo de serviço do TR10. …….44

Lista de Tabelas

Tabela 1. Tensão e teor de água admissível.. 21

Tabela 2, TIF versos tensão em kV. 22

Tabela 3. Resultados de análise de gases, rigidez e humidade do Transformador T101 - 2015. 25

Tabela 4. Resultados de análise de gases, humidade e rigidez do T101. Ano 2016. 26

Tabela 5. Resultados de análise de gases; humidade e rigidez dieléctrica 2018. 26

Lista de Figuras

Fig.1. Diagrama unifilar da Subestação de Nampula – Central 110kV. …..……38

Fig.2. Amostra de óleo mineral isolante novo……...……..39

Fig3. Sílica gel em boas condições……...……39

Fig.4. Características construtivas de Transformador de Potencia……...…40

Fig.5. Papel kraft……...……40

Fig.6. Sistema de isolamento (liquido e sólido) em degradação……...……41

Fig.7. Sistema de isolamentos (sólido e liquido) em degradação.……..……..41

Fig.8. Transformador de potência TR101 apresentando vazamentos -- SE de Nampula 110kV……44

Fig.9. Siliga gel do TR101 (saturada)……..…….45

Fig.10. Amostra do óleo isolante do TR101.……..……..45

Resumo

O óleo mineral isolante é um líquido fabricado a partir da refinação dos hidrocarbonetos há uma temperatura de 300 a 400°C e é usado em alguns equipamentos eléctricos, principalmente em grandes quantidades nos Transformadores de Potencia como dieléctrico e refrigerante da parte activa. O desempenho do transformador depende do estado do seu isolamento, uma vez que o óleo isolante está sujeito a decomposição, contaminação e degradação devido às condições adversas de operação em que está sujeito, como os (fenómenos eléctricos, térmicos, químicos e mecânicos), que podem criar desprendimento de pequenas quantidades de água, humidade, ferrugem, gases entre outros que começam a saturar o óleo diminuindo a capacidade de isolamento e refrigeração. Estes e outros fenómenos podem ocorrer durante o processo normal de operação do Transformador, colocando em risco a integridade e desempenho do mesmo, como também a qualidade no fornecimento de energia eléctrica. Para salvaguardar a vida útil deste valioso e caro equipamento, são feitas análises físico químicas das características do óleo isolante, que permitem fornecer dados sobre o estado real de operação dos seus componentes, principalmente a sua pare activa constituída por núcleo, enrolamentos e outros acessórios submersos em óleo isolante. Portanto, uma vez que o Transformador em estudo apresenta estado de envelhecimento avançado, vazamento e alteração da cor do líquido isolante, falhas e deterioração precoce de sílica gel, incentivou ao autor a levar a cabo esse estudo para detectar possíveis alterações que estejam a decorrer no sistema de isolamento, principalmente o óleo que é responsável pela maior parte das avarias que acontecem em Transformadores.

Palavras-chave: Transformador. Óleo mineral isolante. Contaminação e degradação. Isolamento. Agentes contaminantes.

Abstract

Insulating mineral oil is a liquid manufactured from the refining of the hydrocarbons there is a temperature of 300 to 400 °C and used in some electrical equipment, mainly in large quantities in the Power Transformers as dielectric and refrigerant of the active part. The performance of the transformer depends on the state of its insulation, since the insulating oil is subject to decomposition, contamination and degradation due to adverse operating conditions such as (electrical, thermal, chemical and mechanical phenomena), which can create release of small amounts of water, moisture, rust, gases among others that begin to saturate the oil reducing the insulation and cooling capacity. These and other phenomena may occur during the normal operation process, posing a risk to the integrity and performance of the transformer, as well as the quality of the power supply. In order to safeguard the life of the transformer, the physical and chemical analyzes of the insulating oil are carried out to provide data on the actual state of operation of its components, especially its active stop consisting of core, windings and other accessories submerged in insulating oil. Therefore, once the transformer under study shows a state of advanced aging, leakage and alteration of the color of the insulating liquid, flaws and early deterioration of the silica gel, it encouraged the author to carry out this study to detect possible alterations that are taking place, avoiding damage and insecurity in the operation of this equipment.

Key words: Transformer. Insulating mineral oil. Contamination and degradation. Isolation. Contaminant agents.

1.INTRODUÇÃO

O óleo mineral isolante (OMI) é largamente utilizado em equipamentos eléctricos, principalmente em grandes quantidades nos transformadores com a finalidade de isolar e proporcionar refrigeração adequada, garantindo o desempenho e a eficácia operativa nesta máquina eléctrica. É necessário que se conheçam as características físico químicas do óleo mineral isolante, assim como as condições operativas, de envelhecimento e desgaste para avaliar o nível de contaminação deste. Objectivo da realização deste estudo permite conhecer os ensaios que são fundamentais no diagnóstico de anomalias do óleo mineral isolante, tais como: alto teor de borra ou lama, presença de água, humidade, substâncias polares, coloração inadequada, diminuição da capacidade dieléctrica, contaminação com gases e elevado grau de constituintes ácidos. Destes resultados obtidos da análise físico Química, pode-se perceber sobre a eficácia e a importância desses ensaios para descobrir a qualidade dos isolamentos líquido e sólido, e da necessidade de substituir ou regenerar o óleo, dependendo dos resultados, visto que mais de 60% de avarias em Transformadores são devido aos problemas relacionados com seu isolamento.

1.1. Tema

MARCONI E LAKATOS (2003:218) *"o tema é o assunto que se deseja provar ou desenvolver, pode surgir de uma dificuldade prática enfrentada pelo coordenador da curiosidade científica, de desafios encontrados na leitura de outros ou da própria teoria''*

Para esta monografia, a pesquisa se baseia no "**Estudo das técnicas de análise da qualidade do liquido isolante do Transformador, através dos ensaios Físico químicos"**

1.2. Formulação do Problema

Venture (2002, P.99) afirma que *"problema a ser investigado não é formulado como sendo uma pergunta, nem como uma proposição ou uma simples frase de constatação. Deve ser formulado numa frase que induza a percepção de existir uma relação de causa-efeito do impacto não desejado ou problemático, e que requer atenção para solução"*

Durante o funcionamento normal dos transformadores, o óleo isolante está sujeito ao processo de envelhecimento devido aos fenómenos químico, térmico, mecânico e eléctrico que ocorrem no seu interior, resultando na deterioração do seu isolamento, e como consequência o aumento de falhas e comprometimento do desempenho do sistema eléctrico. Neste contexto pretende –

se saber as causas que proporcionam degradação do líquido isolante e aumento de falhas do Transformador T101 de 35MVA, instalado na Subestação de Nampula 110kV.

1.3. Justificativa

Segundo Trujillo (2001) apud Best (1979:152) "*justificativa é a parte do trabalho que apresenta respostas a questão do porque da realização da pesquisa".*

A realização deste estudo permite conhecer o estado actual do sistema de isolamento constituído de óleo mineral isolante e papel kraft, no interior do Transformador e eliminar ou reduzir as causas que originam falhas no funcionamento do Transformador em estudo, pois as perdas financeiras causadas pela avaria de um transformador são incalculáveis devido a interrupção da produção industrial, sem contar com custos associados a reposição do sistema num tempo recorde, considerando as exigências dos consumidores.

1.4. Delimitação do estudo

Segundo (CERVO & BERVIAN, 2002: 81*). "O tema de uma pesquisa é qualquer assunto que necessite melhores definições, melhor precisão e clareza do que já existe sobre o mesmo"*.

Sendo assim, o estudo desta monografia foi levado a cabo no período entre 2015 a 2018, no Transformador de Potencia T101, Subestação de Nampula 110kV.

1.5. Objectivo do Trabalho

A definição dos objectivos determina o que o pesquisador quer atingir com realização ao trabalho de pesquisa. Segundo Cervo (2002)."*Objectivo é sinónimo de meta a atingir e, pode ser Objectivo geral e objectivo específico".*

1.5.1. Objectivo Geral

Para Cervo (2002) "*O objectivo geral está ligado a uma visão global e abrangente do tema. Relaciona-se com o conteúdo intrínseco, quer dos fenómenos e eventos, quer das ideias estudadas. Vincula se directamente a própria significação da investigação proposta".*

Neste contexto, o objectivo geral desta pesquisa é de diagnosticar causas relacionadas com a degradação do óleo mineral isolante e surgimento de falhas que comprometem o pleno funcionamento e integridade do Transformador TR101.no intervalo de 2015 a 2018.

1.5.2. Objectivos específicos

Lakatos & Marconi (2003),*" Os objectivos específicos têm função intermediária e instrumental permitindo, de um lado, atingir Objectivo geral e de outro lado aplicar este em situações particulares"*.

Em função do objectivo geral, são traçados seguintes objectivos específicos:

- Conhecer características físico-químicas do óleo mineral isolante do Transformador TR101, período de 2015 a 2018;
- Determinar características dieléctricas e a evolução de gases dissolvidos em óleo mineral isolante do Transformador TR101, no período 2015 a 2018;
- Compreender causas que podem dar origem a contaminação e degradação do óleo mineral isolante do Transformadores TR101.

1.6. Dados estatísticos da pesquisa

1.6.1. Universo da monografia

De acordo com Ventura (2002), *"o universo ou população é um conjunto de seres animados ou inanimados que apresentam pelo menos uma característica em comum"*.

Para presente trabalho, constituiu universo da pesquisa 10 Técnicos de Manutenção das Subestações da EDM , Direcção de Transmissão Norte.

1.6.2. Amostra da Monografia

Trujillo (1974. P 79), citado por Lakatos & Marconi (2003) afirma que uma *"Amostra é uma parcela convenientemente seleccionada do universo (população), subconjunto do universo"*.

De entre 10 técnicos de Manutenção da Direcção de Transporte Norte, a amostra seleccionada foi de 7 indivíduos técnicos de Manutenção de Subestação que possuem conhecimentos sobre Transformadores.

1.7. Hipóteses

Como lecciona Silva & Menezes (2001, P.32) "*hipótese é uma afirmação categórica (uma suposição), que tenta responder ao problema levantado pelo tema escolhido para a pesquisa"*. Para esta monografia, constituem hipóteses as prováveis soluções:

No entender de Fernandez (1979,P.109), *"Hipótese é uma afirmação categórica (uma suposição), que tenta responder ao problema levantado pelo tema escolhido para a pesquisa"*.

- O estudo das características físico químicas do óleo mineral isolante do Transformador possibilita conhecer as razoes da degradação do óleo isolante e o surgimento de falhas;
- A avaliação do nível de contaminação do óleo e da presença de gases dissolvidos pode constituir provável solução para reduzir ou eliminar falhas no funcionamento do Transformador.
- Tratamento termo vácuo ou substituição do óleo mineral isolante pode ser viável solução para reduzir ou evitar a contaminação do óleo isolante.

1.8.Metodologia do trabalho

Para Kôche (1978) *"Nas investigações, em geral, nunca se utiliza apenas um método ou uma técnica, e nem somente aqueles que se conhecem, mas sim, todos que forem necessários ou apropriados para determinado caso*".

Como afirma Lakatos & Marconi (2008), *"a especificação da metodologia de pesquisa é a que abrange maior número de itens, pois responde a um só tempo as questões, como?, com quem?, onde?, quanto?"*.

1.8.1.Quanto ao método de abordagem

É, portanto, denominado método de abordagem, que engloba o indutivo, o dedutivo, o hipotético dedutivo e o dialéctico. Quanto ao método de abordagem foi aplicado método hipotético indutivo pois, segundo (Lakatos & Marconi:2003),"*com este método inicia se a percepção de uma lacuna nos conhecimentos acerca do qual formula se as hipóteses e, pelo processo dedutivo testa a ocorrência de fenómenos abrangidos pela hipótese"*.

1.8.2.Pesquisa quanto ao tipo

Na perspectiva do Gil (2002) *"Uma pesquisa, tendo em vista seus objectivos pode ser classificada da seguinte forma: Pesquisa exploratória, descritiva e Pesquisa explicativa"*.

Quanto ao tipo a pesquisa é exploratória na qual segundo Gil (1999), *"Nessa pesquisa tem se como objectivo proporcionar maior familiaridade com o problema, objecto de pesquisa, permitindo a construção de hipóteses ou a tornar a questão da pesquisa mais nítida"*.

1.8.3. Quanto ao procedimento

"*Uma pesquisa, quanto aos seus procedimentos técnicos, pode ser classificada da seguinte forma: Pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa experimental, levantamento,*

estudo de campo e estudo de caso concretamente dito". Desta forma, foram empregues seguintes tipos de pesquisa, quanto aos procedimentos:

1.9.Pesquisa bibliográfica

Através de consultas em material já elaborado de acordo com os objectivos da pesquisa. Para (Cervo:1978) *a bibliografia permite ao pesquisador o reforço na análise de suas pesquisas ou manipulação de suas informações.* Dessa forma, a pesquisa bibliográfica é um trabalho de natureza exploratória que propicia bases teóricas para auxiliar no exercício reflexivo e critico sobre as técnicas de análise das propriedades do líquido isolante em estudo.

1.9.1.Estudo de campo

Para Bello (1978) "*o estudo do campo permite obter informações sob determinado aspecto e realidade pois, ele permite identificar e obter provas a respeito de objectivos sobre os quais o indivíduo não tem consciência, mas que orientam seu comportamento"*.

1.10.Instrumentos de colecta de dados

Através de questionário dirigido aos participantes com intuito de obter mais detalhes sobre o assunto, o autor optou por fazer levantamento de dados.

1.10.1.Pesquisa documental

Através de uso de materiais que podem ser reelaborados de acordo com objectivos da pesquisa.

1.10.2.Instrumentos de colecta de dados

Sobre a colecta de dados em relação ao trabalho, utilizou-se instrumentos como a observação, entrevista e análise de dados.

1.10.2.1.Observação

"Observação é um elemento básico de investigação científica, ela desempenha um papel importante no processo da descoberta, obriga o investigador a um contacto mais directo com a realidade" (ALVAREZ 1991:560).

"A observação examina"in loco" factos e fenómenos, podendo trazer uma exploração mais exaustiva do que se pretende investigar" (BELLO:2005).

1.10.2.2.Entrevista

Segundo Lakatos & Marconi (2003) "*A entrevista consiste no desenvolvimento de precisão, focalização, fidedignidade e validade de certo acto social como a conversação”. Trata-se, pois, de uma conversação efectuada face a face, de maneira metódica proporcionando ao entrevistado, verbalmente a informação necessária*.

1.10.2.3.Análise de Dados

A análise de dados é um processo que envolve retrocessos entre dados pouco concretos e conceitos abstractos, entre raciocínio indutivo e dedutivo, entre descrição e interpretação.

Segundo Gil (1999) “*análise tem como objectivo organizar e sumariar os dados de tal forma que possibilitem o fornecimento de respostas ao problema proposto para investigação*”.

CAPITULO II

2.1. Conceitos Fundamentais

2.1.1. Transformador

De acordo com Fernandes *(2009), "transformador é um equipamento de operação estática que por meio de indução electromagnética transfere energia de um circuito, chamado primário, para um ou mais circuitos denominados, respectivamente, secundário e terciário, sendo, no entanto, mantida a mesma frequência, porém com tensões e correntes diferentes"*.

2.1.2. Disponibilidade

Probabilidade de que sistema esteja operando adequadamente quando exigido.

2.1.3. Óleo mineral isolante

Morais (1993, P.179) "*diz que o óleo mineral isolante é uma mistura de hidrocarbonetos de base predominantemente parafínica, nafténica ou aromática que derivam principalmente da destilação e refinação do petróleo bruto*".

2.1.4. Degradação química do óleo

"É um fenómeno que resulta da perda de propriedades do óleo como resultado das reacções complexas entre as substâncias orgânicas do óleo e os materiais contidos no transformador" (MILASCH, 1984, P. 59).

2.1.5.Electricidade

Para Kinderman (1999, P.129) "*Electricidade é uma propriedade física que se manifesta através da atracção ou repulsão entre as partes da matéria."*

2.1.6. Subestação eléctrica

Segundo Kinderman (1999, P.131)"*Subestação eléctrica é o conjunto de equipamento eléctrico que envolve aparelhagem de manobra, protecção, transformação e de compensação, que tem função de adequar o fluxo de energia em sistema de potência"*.

2.1.7.Falha

No dicionário português,*"Falha é o estado anormal de um material, produto, serviço ou sistema que seja uma ameaça a sua operação"*. Falha de um transformador é uma anomalia que leva forçosamente à interrupção do funcionamento do mesmo.

2.1.8.Transformador

Para Morais (2003) *Transformador é um equipamento eléctrico estático com dois ou mais enrolamentos que por indução electromagnética converte diferentes níveis de tensão entre a fonte ligada ao primário e a carga alimentada ligada ao secundário.*

2.2. Característica técnica e construtiva do Transformador

Segundo Morais (2003) um transformador é constituído por parte activa (interna) e parte externa (dos acessórios). Para este Autor, constituem a parte activa os enrolamentos, o núcleo e sistema de isolamento composto por óleo isolante e papel kraft. A parte externa é formada de sistema de refrigeração, bushings, relé de sobrepressão, relé Buchholze termómetros de óleo e de temperatura.

2.2.1. Enrolamentos

Os enrolamentos são formados de bobinas que em geral são feitas de cobre e recebem uma camada de verniz sintético como isolante.

2.2.2. Núcleo

Em geral o núcleo é construído de um material ferro magnético, responsável por transferir a corrente induzida no enrolamento primário para o enrolamento secundário.

2.2.3.Isolamento

O isolamento do Transformador compõe o dieléctrico que pode ser normalmente constituído de óleo isolante e papel kraft.

2.2.4.Relé Buchholz

Conhecido como detector de gases, este dispositivo tem a função de detectar anormalidades no transformador através da monitoria de gases de fluxo de óleo acumulados entre o conservador e tanque principal.

2.2.5.Válvula de alívio de pressão

Uma válvula de alívio de pressão foi concebida como dispositivo de segurança para desviar a pressão quando o sistema pressurizado encontra um problema que conduz a um aumento perigoso de pressão.

2.2.6.Refrigeração

"É o conjunto de dispositivos do sistema de refrigeração que tem como finalidade dissipar o elevado calor, mantendo o em padrões normais". (Milasch, 1984:157)

Transformadores quanto à finalidade

Em geral, quanto a finalidade os transformadores podem ser:

- Transformadores de potência
- Transformadores de distribuição

Esta função ocorre quando o número de espiras no enrolamento secundário for menor que no primário

2.3. Relação Matemática de Transformador

Para Moura (1978:109), as tensões de entrada T1 e tensões de saída T2 induzidas no enrolamento dependem da relação de números de espiras, N1 enrolamento primário e N2 enrolamento secundário.

V1 – Tensão no enrolamento primário; V1 tensão no secundário.

$$\mathbf{N1/N2 = V1/V2}$$

$\mathbf{N1/N2 = I2/I1}$ OndeI1 é corrente no enrolamento primário, enquanto" I2 " é a corrente no enrolamento secundário.

Observamos que relação de espiras entre primário e secundário para as correntes é o inverso do que acontece com as tensões.

A tensão de saída (V2) de um transformador está directamente relacionada a tensão (V1) aplicada ao primário através da relação entre o número de espiras (N1) do primário e (N2) do secundário o que matematicamente se expressa por:

$\mathbf{I2/I1 = K = V1/V2 = N1/(N2}$)Onde "K "é a razão de transformação.

2.3.1. Potência do Transformador

$$\mathbf{P1 = P2}$$

Onde: P1 é Potência no enrolamento primário

P2: Potência no enrolamento secundário

2.4. Tipos de isolamentos

Segundo Morais (2003) os materiais isolantes utilizados como meio isolante em transformadores de potência são em sua maioria o papel kraft e o óleo mineral, embora em alguns casos especiais e raramente se usam o ar seco e gás Sf6.

O papel é utilizado para recobrir os condutores visando a evitar curto-circuito entre eles, e o óleo para isolar os enrolamentos do tanque principal do transformador e dissipar o calor da parte activa constituída principalmente por bobina e núcleo.

2.4.1.Isolamento sólido

O papel é o principal isolamento sólido para transformador de alta potência. Ele é constituído de celulose que é um polímero orgânico de vegetais. Na forma de camadas finas envolvendo os enrolamentos ou na forma de tubos aplica se para promover o isolamento eléctrico entre níveis de tensão e entre fases. Mesmo sendo, o papel Kraft, o mais utilizado no isolamento sólido de transformador, quando se deseja prover uma resistência a altas temperaturas, emprega-se um papel especial termo estabilizado, que é um papel cuja celulose sofre um tratamento térmico especial suportando temperaturas na ordem de 180 ºC a 200 ºC. (MORAIS, 2003, P.78).

2.4.2. Isolamento líquido

Entre isolantes líquidos, o óleo mineral isolante é o mais empregue devido a sua melhor relação entre custo e benefício.

Porém, apesar dessa vantagem possui a maior inconveniência em relação aos óleos isolantes obtidos dos vegetais, por este ser altamente inflamável e não biodegradável, ocorrendo maior risco de contaminação do meio ambiente e da saúde humana em casos de um vazamento acidental e contacto com solo e homem.

2.4.3. Isolamento gasoso.

Os transformadores imersos em hexafluoreto de enxofre apresentam aspectos construtivos especiais, diferentes dos outros tipos de isolamento (liquido; sólido e a seco). O núcleo magnético é formado pelo empacotamento da chapa de aço e sem pernos de aperto, sustentado por uma estrutura de ferro. Os enrolamentos são isolados com materiais sintéticos e podem ser

do tipo bobina ou do tipo em barras de cobre, conforme a intensidade da corrente eléctrica que os atravessa. Estes enrolamentos encontram-se encerrados no interior de uma cuba hermética. Todo o gás utilizado no transformador com isolamento gasoso está contido na cuba, com um valor de pressão de 1 a 4 bares (Almeida:2004)

2.4.4.Isolamento a seco

Amaral (2007:165) afirma que este tipo de isolamento é aplicado em transformadores que tem por objectivo reduzir a tensão de fornecimento da concessionária para a tensão nominal de trabalho, cujos enrolamentos são através de bobinas de cobre com protecção resinada. Este tipo de isolamento é muito utilizado em ambientes internos.

2. 5. Tipos de manutenção

Para Bertly (2003:193), os tipos de manutenção mais aplicáveis a manutenção de transformadores são:

- Manutenção preventiva
- Manutenção Correctiva

2.5.1. Manutenção preventiva

Segundo Bertly (2003) "O *termo associado à manutenção preventiva é o de prever e prevenir"*. Esse é o grande objectivo de manutenção preditiva de Transformador prevenir e prever as falhas nos Transformadores ou sistemas por meio do acompanhamento de diversos parâmetros, permitindo a operação contínua pelo maior tempo possível. Para este autor, "a manutenção preditiva é o acompanhamento periódico dos equipamentos, baseado na análise de dados recolhidos através da monitoria ou inspecção em campo.

A manutenção preventiva indica as condições reais de funcionamento dos equipamentos com base em dados que informam o seu desgaste ou processo de degradação.

Cigre (2009:84), assegura que a manutenção preventiva possui seguintes vantagem:

- Aumento da vida útil do equipamento;
- Controlo dos materiais e melhor gestão;
- Diminuição dos custos nas reparações;
- Melhoria da produtividade das empresas;
- Limitação da quantidade de peças de substituição;

- Melhoria da segurança;

2.5.2.Manutenção Correctiva

Antonello, Humberto at alI (2007:PP.134-159) "*Manutenção Correctiva é uma operação realizada para restaurar qualquer peça do equipamento que falhou ou degradou até chegar a um ponto onde precisa de uma acção correctiva para assim, evitar uma perda no desempenho.*

Trata da correcção dos danos actuais e não iminentes. Este tipo de manutenção acarreta mais custo para as Empresas, por isso em muitas das hipóteses é recomendado um contrato de manutenção preventiva com outras agências.

2.6.Impacto de manutenção inadequada

- A oxidação do óleo isolante;
- Desgaste da pintura;
- Deterioração de acessórios;
- Surgimento de pontos quentes na parte activa;
- Deterioração do óleo isolante afectando o isolamento sólido;
- Vazamento de óleo isolante devido a falhas no sistema de vedação;
- Aparecimento de borra no isolamento líquido;
- Diminuição da rigidez dieléctrica devido a humidade;
- Aumento significativo na probabilidade de perda do equipamento (Moura:1979)

2.7.Óleo mineral isolante

Segundo Fernandes (2009), Óleo Mineral Isolante (OMI) O óleo mineral é originado da destilação do óleo cru (petróleo), da fracção de 300 a 400°C, e pode ser de carácter naftênico (tipo A) ou parafínico (tipo B), dependendo do tipo de petróleo do qual o mesmo é originado, sendo o tipo A mais utilizado em equipamentos de manobra e transformadores.

Durante a operação do Transformador, o OMI degrada e mudanças consideráveis ocorrem nas suas propriedades físicas, químicas e eléctricas. Como consequências ocorre: alteração nas propriedades isolantes do óleo, aceleração do processo de degradação da celulose e formação de borra (material que se deposita na parte activa dos transformadores, dificultando a transferência de calor).

2.7.1.Funções básicas do óleo mineral isolante:

- Isolante; e
- Refrigerante.

Para isolar deve estar livre de humidade e de contaminantes;

Para resfriar deve possuir baixa viscosidade e baixo ponto de fluidez para facilitar sua circulação.

2.7.2.Condições Ideais do óleo mineral isolante

- Baixa viscosidade;
- Alto poder dieléctrico;
- Alto ponto de fulgor;
- Estar livre de ácidos, álcalis e enxofre corrosivo;
- Resiste à oxidação e à formação de borras;
- Ter baixa fluidez e não atacar os materiais usados na construção de transformadores;
- Ter baixa perda dieléctrica e não conter produtos que possam agredir o homem ou o meio ambiente.

2.8. Propriedades físicas

- **Viscosidade:** deve ser baixa para circular com facilidade e dissipar adequadamente o calor.
- **Ponto de Fulgor**: para a segurança dos equipamentos com relação à possibilidade de incêndios, deve-se assegurar um ponto de fulgor mínimo adequado.
- **Tensão Interfacial:** indica a existência de substâncias polares dissolvidas no óleo. Estas substâncias prejudicam as propriedades dieléctricas do óleo, além de contribuírem para o seu envelhecimento. Um alto valor é desejável.
- **Cor:** o óleo isolante novo costuma ser claro. O escurecimento em serviço indica sua deterioração.
- **Ponto de Fluidez**: sendo a temperatura abaixo da qual o óleo deixa de escoar, esta característica deve ser compatível com a mínima temperatura em que o óleo vai ser utilizado.
- **Densidade:** influi na capacidade de transmissão de calor do óleo. Nos óleos isolantes encontra-se entre 0,850 e 0,900, estando mais próxima de um dos dois valores

segundo sua predominante composição em hidrocarbonetos (parafínicos ou nafténicos).

2.8.1.Propriedades químicas

- **Estabilidade à oxidação:** é importante para o bom desempenho do óleo e durabilidade do sistema isolante. A oxidação é decorrente da conservação do óleo e das próprias condições de operação e se manifesta através de borra e de acidez do óleo. Estes efeitos indesejáveis podem ser atenuados através da utilização de aditivos antioxidantes.
- **Acidez e água**: devem ser extremamente baixos para evitar a passagem de corrente elétrica, reduzir a corrosão e aumentar a vida de todo o sistema.
- **Compostos de enxofre (sulfatos):** devem estar ausentes para evitar que o óleo cause corrosão ao cobre e à prata existentes nos equipamentos.
- **Tendência à evolução de gases:** esta característica mede a tendência de um óleo desprender ou absorver gases.

2.8.2.Propriedades eléctricas

- **Rigidez dieléctrica:** é a capacidade do óleo de resistir à passagem da corrente eléctrica. Quanto mais puro estiver o óleo, maior a rigidez dieléctrica. Humidade, partículas sólidas e gases dissolvidos prejudicam a capacidade isolante do óleo. A rigidez dieléctrica é fortemente afectada quando o óleo possui iões e partículas sólidas higroscópicas. Neste caso é preciso tratar o óleo com aquecimento e filtragem.
- **Factor de potência:** é uma indicação das perdas dieléctricas no óleo. O óleo será melhor, quanto menores forem estas perdas. O factor de potência mede a contaminação do óleo por água e contaminantes sólidos ou solúveis.

2.9. Tipos de óleo mineral isolante

a) Para Arrante (2009) Não há óleo dieléctrico no mercado que possua todas estas características reunidas, portanto, no projecto do equipamento, as limitações de cada fluido devem ser levadas em consideração. De acordo com Arrante, os óleos mais comuns utilizados para transformadores são :**a)Óleo mineral nafténico (OMP) e b) Óleo mineral Parafínico (OMN)**

- **Óleo mineral nafténico**

É de base mineral e sem inibidor (sem antioxidante). Nesse caso, o óleo é de natureza asfáltica e possui pouca parafina em sua composição. Este tipo de fluido é utilizado com pouca predominância nos transformadores, em comparação ao de base parafínico.

- **O óleo mineral parafínico**

Considera se o óleo mineral isolante de base mineral e natureza parafínica, tendo hidrocarbonetos com maior predominância global, acrescidos com antioxidantes para seu uso em equipamentos eléctricos com maior empregue como isolante, por sua excelente performance principalmente na alta tensão, Este petróleo praticamente não contém asfalto em sua composição.

2.10.Avaliação das qualidades do óleo mineral isolante

É complexo estabelecer-se regras rigorosas e rápidas para a avaliar a qualidade do óleo em serviço ou os limites de ensaios porque qualquer avaliação e acção correctiva deve apenas ser adoptada após a devida consideração dos resultados de todos os ensaios recomendados. A tendência de tais resultados ao longo de um intervalo de tempo é considerada informação essencial para se chegar a uma decisão final sobre o estado do óleo isolante. A condição do óleo pode ser classificada como “satisfatória”, “razoável” ou “insatisfatória”

a) **Satisfatória**

Considera se óleo em condições satisfatórias quando este mantém as suas periodicidades dentro dos parâmetros desejados; ou melhor satisfaz com as finalidades do mesmo que é de isolar e refrigerar o calor desenvolvido durante a operação do transformador.

b) **Razoável**

Considera se razoável o óleo quando a sua contaminação é detectada, mas, que pode funcionar devendo ser recomendada regeneração do mesmo.

c) **Insatisfatória**

Deterioração detectada anormal.

2.11. Técnicas de preservação do óleo isolante

A fim de garantir isolamento e eficiência operativa do transformador, são adoptados sistemas de preservação do óleo através de montagem de secador de humidade (sílica gel) e membrana ou bóia no interior do conservador que possibilita que o óleo isolante não entre em contacto com humidade, água e oxigénio atmosféricos. Porem, como os transformadores estão instalados em regiões quentes ou húmidas, a eficiência de sílica gel fica comprometida uma vez que parte da humidade atmosférica penetra no transformador devido a deterioração do secador de humidade, dai, a contaminação do óleo (MORAIS: 2003).

2.12. Membrana e bolsa de nitrogénio

Segundo Milasch (1998: 99-101), Os Transformadores de potência mais modernos são equipados para além da membrana, também com bolsa de nitrogénio para melhor protecção do óleo contra penetração de humidade. Entretanto, tais membranas permitem a passagem de oxigénio e de água. Para prevenir a contaminação do óleo isolante por humidade e oxigénio, tanto em transformadores com membrana quanto naqueles apenas com filtro de sílica gel, desenvolveu se um sistema que consiste em preencher o espaço acima do nível do óleo no tanque de expansão com nitrogénio seco. A expansão do gás é possibilitada por uma bolsa de plástico flexível acoplada ao tanque de expansão, a qual se instala num tanque de aço ao lado do transformador.

O desempenho do sistema de bolsa de nitrogénio é melhor do que aquele esperado para o sistema de preservação de óleo por meio de membranas, isso se deve a certa facilidade de penetração de oxigénio no caso da membrana.

2.12.1. Maquina termo vácuo

As máquinas termo vácuo são utilizadas para retirar a humidade do transformador por meio da secagem do óleo através de aquecimento e da aplicação de vácuo. Para transformadores com elevado teor de humidade, eficiência do processo é muito baixa. A maior parte da humidade não é retirada, pois fica retida no papel isolante e, em pouco tempo é necessária uma nova secagem do óleo (ARANTE 2011).

2.12.2. Sílica gel

A fim de que seja mantido elevado índice dieléctricos do óleo isolante, os transformadores são equipados com ***secadores de ar*** os quais devido à capacidade de absorção de humidade, secam o ar aspirado que flui ao transformador. Segundo Milasch (1984:84) "*o secador de ar é utilizado para a retirada de humidade do interior do transformador, conhecido como pulmão do transformador, este dispositivo retira a humidade do ar que entra no transformador utilizando sílica gel"*.Durante o funcionamento normal do transformador, o óleo aquece e dilata, expulsando o ar do conservador através do secador. Havendo diminuição da carga do transformador ou da temperatura ambiente, também haverá abaixamento da temperatura do óleo, acompanhada da respectiva redução do volume. Forma-se, então, uma depressão de ar no conservador e o ar ambiente é aspirado através da câmara e do agente secador, o qual absorve a humidade contida no ar, que entrará em contacto com o óleo.

2.12.3. Contaminação e degradação do óleo mineral isolante em serviço

Um dos sérios problemas que pode surgir no interior do transformador é a deterioração no seu sistema de isolamento composto de óleo isolante e papel. A degradação do óleo e de outros compostos do isolamento, como a celulose ou o papel impregnado com óleo, gera a formação de gases. Se uma falha incipiente estiver presente a concentração dos gases e sua taxa de formação aumentam significativamente.

De acordo com Santana (2010) os principais gases envolvidos na degradação do isolamento líquido são: hidrogénio, monóxido e dióxido de carbono, metano, etano, etileno e acetileno.

Para Santana, as alterações das características do óleo são devido às condições de serviço em que esta submetido o transformador.

"*A degradação do isolamento é acelerada se o transformador estiver frequentemente sobrecarregado ou devido a presença de elementos estranhos no óleo como a água, oxigénio, humidade e o contacto deste com substâncias quimicamente activas de vários materiais que constituem o conjunto do isolamento*" (MESSIAS:1993).

Ainda para Messias (1993), para que o óleo esteja contaminado, existem duas formas nomeadamente:

a) **Contaminação externa**

Devido a entrada de oxigénio no tanque proveniente da atmosfera, causada pela perda de hermeticidade; vazamento ou derrame do óleo pelas juntas do transformador; desgaste das superfícies externas devido a corrosão do material e, má conservação da sílica gel.

b) **Contaminação interna**

É algo difícil de ser controlado pois é resultado de reacções químicas que ocorrem durante funcionamento do funcionamento do transformador.

2.14. Falhas operacionais do Transformador

Moura (1078) afirma que "*entre os constituintes de Transformador de potencia o seu isolamento é basicamente constituído por isolante líquido e sólido*".

Esse destaque se da porque são esses elementos que as falhas operativas têm o seu inicio. Na sua abordagem sobre falhas em equipamentos eléctricos, o autor diz que "*a identificação de falhas por meio de avaliação das concentrações de gases dissolvidos em óleo é feita através dos ensaios físico químicos, os quais resultam das concentrações dos gases dissolvidos em óleo*". Estes ensaios se baseiam na concentração de que as falhas provenientes de descargas parciais, descargas eléctricas, efeito corona, sobreaquecimento, baixa rigidez dieléctrica, entre outras interagem com o óleo provocando alterações em suas propriedades, causando degradação do sistema de isolamento sólido e liquido e como consequência, surgem falhas no equipamento.

Dentre as principais causas que condicionam a redução da vida útil de um transformador pode se citar:

a) Erro de construção/dimensionamento;
b) Vibrações;
c) Operação em altas temperaturas;
d) Descargas atmosféricas e surtos;
e) Sobrecargas;
f) Falta de manutenção ou manutenção irregular
g) Deterioração do isolamento e,
h) Operação negligenciada.

Dessas, são mais relevantes as descargas atmosféricas, deterioração do isolamento e, excesso de temperatura e manutenção inadequada.

2.15. Tratamento de óleo mineral isolante

Certas características do óleo isolante devem ser mantidas, ou recuperadas, quando em serviço.

De acordo com o tipo de contaminantes que o óleo pode apresentar, Bertly (2003:57) distingue dois tipos de tratamento, a saber:

- **a)** Tratamento físico ou purificação
- **b)** Tratamento físico-químico ou regeneração.

Estes tipos de tratamento distinguem se de seguinte forma:

- **a)** O tratamento do tipo físico remove a água, gases e partículas sólidas, por meios físicos.
- **b)** O tratamento do tipo físico-químico se fundamenta na capacidade de absorção que alguns materiais possuem, por natureza ou adquiridos através de tratamento específico.

No dizer do Santana (2010), as contaminações mais comuns de óleo isolante podem ser classificadas em:

- **a)** Contaminação grossa**:** constituída por partículas de líquidos em emulsão, sólidos em emulsão e espumas coloidais.
- **b)** Contaminação por partículas constituída de metais dissolvidos**:** Contaminação por partículas constituídas de líquidos, sólidos e gases dissolvidos.
- **c)** Contaminações por impurezas primárias no óleo normalmente são impurezas provenientes durante o processo de fabricação dos materiais que compõem a parte interna do Transformador.
- **d)** Contaminação por impurezas secundárias no óleo: são as acumuladas como produtos da oxidação durante o funcionamento do equipamento, essas impurezas são constituídas por sólidos, ácidos, gases e água.

CAPITULO III

3. CARACTERISTICAS FÍSICO QUÍMICAS DO ÓLEO MINERAL ISOLANTE.

No óleo são realizados diversos ensaios físico-químicos para identificação de alterações no mesmo, tais como: rigidez dieléctrica, aparência, teor de água, factor de potência, tensão interfacial, densidade, acidez e a análise de gases dissolvidos em óleo.

Os valores obtidos nestes testes são comparados aos valores pré-estabelecidos em normas, pois estes, fora dos limites especificados indicam necessidade de correcção (Fernandes, 2009. P.134).

De acordo com este Autor, os principais ensaios físico químicos realizados para diagnosticar possíveis problemas que estejam ocorrendo com o sistema de isolamento são:

- Cor e aparência;
- Rigidez dieléctrica;
- Teor de água;
- Índice de neutralização (Acidez);
- Tensão Interfacial (TIF);
- Factor de potência;
- Densidade;
- Viscosidade;
- Gases dissolvidos em óleo (DGA).

3.1. Avaliação da cor do óleo mineral isolante

A variação da cor pode ser uma indicação de contaminação do óleo isolante e, é normalmente atribuível à oxidação ou à contaminação por carbono, pois essa contaminação, tende à escurecer o óleo (Santana, 2010).Para este autor, este ensaio pode ser realizado em campo, para além de verificar a cor do óleo, detecta a existência de partículas sólidas e gotículas de água em suspensão. Segundo) A observação da aparência da amostra é importante já que detecta a presença de resíduos e água livre e emulsionada no óleo.

3.2. Rigidez dieléctrica do óleo mineral isolante

De acordo com Cigre (2007), a rigidez dieléctrica é definida como a tensão na qual ocorre a passagem de corrente eléctrica entre dois eléctrodos, sob as condições prescritas pelo teste. De

maneira geral, a rigidez dieléctrica de um óleo isolante expressa a sua resistência à passagem da corrente eléctrica.

O valor da tensão de ruptura é acentuadamente influenciado pela eventual existência de impurezas, que, muitas vezes não podem ser eliminadas. Essas impurezas são, sobretudo gases, água e pequenas porções de sólidos. Outro factor importante que influi sobre rigidez do óleo é a temperatura.

Cada isolante líquido possui um dado limite de temperatura até o qual pouca influência é notada. No caso do óleo mineral é 80ºC

3.3. Teor de Água no óleo mineral isolante

Como lecciona Almeida (2004, P.99) A água pode estar presente no óleo devido a falhas de vedação do equipamento e como produto da degradação. Pode se encontrar tanto emulsionada com o óleo ou no estado livre, tendo sua solubilidade elevada rapidamente com o aumento de temperatura.

No estado emulsionado, até mesmo em pequenas quantidades, a água promove passagem de corrente eléctrica através do óleo provocando diminuição da rigidez dieléctrica, portanto a redução na capacidade isolante do mesmo e à consequente de formação de arco.

Tensão	Teor de Agua
Menor ou igual a 75Kv	Menor ou igual a 25ppm
Maior que 72,5kV e Menor ou igual que 245kV	Menor ou igual a 15ppm
Maior que 245Kv	Menor ou igual a 10ppm

Tabela 1. Tensão e teor de água admissível. Fonte: Almeida (2004).

3.4. Índice de Acidez

Durante as solicitações do transformador, o óleo sofre oxidação e consequentemente há formação de ácidos que degradam o papel e corroem as partes metálicas, diminuindo a vida útil do equipamento.

O índice de neutralização é definido como o número de miligrama de KOH (hidróxido de potássio) necessários para neutralizar os ácidos presentes em um grama de óleo ou gordura (Moretto: 1998:97).

3.5. Tensão interfacial

"*Na superfície de separação entre o óleo e a água forma-se uma força de atracão entre as moléculas dos dois líquidos que é chamada de tensão interfacial, sendo medida em N/m".* Messias (1993:99).

Uma diminuição da tensão interfacial indica, com bastante antecedência, o início da deterioração do óleo. A medida desse parâmetro no sistema água óleo visa inferir a quantidade de substâncias polares presentes no óleo, uma vez que tais substâncias tendem a concentrar-se na interface do sistema. Dessa forma, a quantificação dessa propriedade é utilizada como um meio de avaliar e monitorar o estado de oxidação do óleo e, diagnosticar indirectamente o estado de degradação do papel, uma vez que os compostos polares são oriundos da oxidação tanto do óleo quanto do papel. O limite mínimo permitido para óleo novo é de 40 Dynas/cm a 25ºC e, quando o óleo esta em uso o seu valor é de aproximadamente 18 dynas/cm e 17dynas para um óleo que deve ser descartado.

Tensão	Tensão Interfacial (TIF) a 25ºC
Menor que 72.5Kv	Maior que 22mN/m
Maior que 72,5kV e 245Kv	Maior ou igual a 22mN/m
Maior que 245kV	Maior ou igual a 25mN/m

Tabela 2, TIF versos tensão em kV. Fonte: Messias (1993)

3.6. Factor de potência (FP)

O factor de dissipação ou de potência é chave para determinar a presença de contaminantes que afectam as propriedades dieléctricas do óleo.

Um valor alto de FP é um indicador de presença de contaminantes ou de produtos de deterioração e, indica a existência de substâncias polares dissolvidas em óleo.

Estas substâncias contaminantes além de contribuírem para o envelhecimento do isolamento prejudicam as propriedades dieléctricas do óleo. A determinação de perdas dieléctricas pode

ser realizada através de medição de factor de potência ou factor de dissipação que é a capacidade do óleo de resistir a passagem da corrente eléctrica (MESSIAS:1999).

3.7. Densidade

Para (Milasch 1999), A densidade ou gravidade específica do óleo isolante é uma propriedade física muito importante para o funcionamento do transformador, já que se o óleo estiver muito denso, ele não conseguirá fluir por dentro dos tubos que passam na bobina, ocasionando um aquecimento excessivo do transformador. Através da densidade determina se o tipo de óleo presente.

3.8. Viscosidade

Segundo Moretto (1998:108) a viscosidade dos óleos pode ser definida coma a resistência que o fluido oferece ao escoamento contínuo.

É uma propriedade física fundamental para o óleo isolante, já que esse tipo de fluido tem como um dos objectivos principais refrigerar o transformador, sendo assim, necessita ter baixa viscosidade para que o líquido circule rapidamente entre as fontes de calor e o meio externo, e circule por todo o canal de refrigeração dos enrolamentos.

Com isso podemos concluir que a quantidade de calor que o óleo é capaz de transferir do transformador para o meio ambiente depende da viscosidade do óleo.

3.9. Análise de gases dissolvidos.

Almeida (2004:152) a análise de gases determina a concentração de gases dissolvidos no óleo. A formação de gases no interior do transformador pode ser causa de algum tipo de problema como por exemplo o mau contacto entre componentes internos; fugas de energia entre espiras; correntes de curto-circuito e tempo de trabalho prolongado do transformador com cargas elevadas.

Através de cromatografia gasosa é possível quantificar a concentração dos gases H_2, O_2, N_2, CH_4, CO, CO_2, C_2H_4, C_2H_6, C_2H_2. Que permitem avaliar a evolução de gases em relação às análises anteriormente realizadas.

3.10. Interacção ambiental e humana do óleo mineral

De acordo com Antonelo, Humberes at all (2007) desde inicio de 1867 até meados dos anos 80 era usado poli cloro bifenil (PCB) como aditivo para inibir o poder de ignição e aumentar a resistência térmica e rigidez do óleo mineral isolante.

Este composto constitui uma classe de organoclorados resultantes da adição de átomos de cloro ao bifenilo, que são altamente tóxicos e prejudiciais a saúde e ao meio ambiente.

A exposição de organismos ao PCB também conhecido por ascarel ocorre através da ingestão e contacto directo com a água, alimentos, sedimentos contaminados, como também pela inalação.

O efeito mais comum de exposição ao PCB é o cloroacne, uma escamação dolorosa que desfigura a pele. Essas substâncias quando dentro do organismo dos seres vivos são transportadas pela corrente sanguínea até aos músculos e fígado. Sendo assim, as falhas relativas a explosão de transformadores que resulta em vazamento de óleo em geral, é bastante nociva ao meio ambiente (água, ar, solo) e aos seres vivos.

Para eliminar os perigos de contaminação com PCB**,** foram adoptadas medidas sobre descontaminação e eliminação de fabrico dos óleos contendo PCB ou ascarel.

CAPITULO IV

4.RESULTADO DO ESTUDO SOBBRE AS CARACTERISTICAS FÍSICO QUÍMICAS DO OLEO MINERAL ISOLANTE DO TRANSFORMADOR TR101, PERIÓDO DE 2015; 2016 E 2018.

Neste capítulo serão feitas inferências (deduções) sobre os valores obtidos durante os testes de análise de gases dissolvidos em óleo, humidade, teor de água e rigidez dieléctrica do Transformador de Potencia em estudo.

Para (Santos, 2000), A a*nálise e interpretação representam aplicação lógica dedutiva e indutiva do processo de investigação".*

Uma análise criteriosa e exaustiva das tendências de evolução de gases dissolvidos no óleo mineral isolante do Transformador permite determinar o estado real de operação deste equipamento e detectar problemas e causas relacionadas com as perturbações interna que originam alterações das características do isolamento, originando contaminação e degradação do mesmo e, consequentemente o surgimento de falhas.

4.1. Resultados de análise de gases, rigidez dieléctrica e humidade do Transformador T101 Ano 2015.

ANO 2015	Valores Medidos	Valor limite [ppm]				
		Normal	Evolução	%	Anormal	Critica
Hidrogénio (H_2)	14	<100			100 – 700	> 700
Dióxido de carbono (CO2)	**3958**	**<2500**	**1468**	**37**	**2500 - 4000**	**> 4000**
Monóxido de Carbono	300	<350			350 - 570	> 570
Etileno (C_2H_4)	**426**	**<50**	**377**	**88.4**	**50 - 100**	**> 100**
Etano (C_2H_6)	**471**	**<65**	**407**	**86.4**	**65 - 100**	**> 100**
Metano (CH_4)	60	<120			120 - 400	> 400
Acetileno (C_2H_2)	**68.1**	**<2**	**66**	**96.9**	**2 a 5**	**> 5**
Humidade	**28**	**<15**	**13**	**46.7**		
Rigidez dieléctrica	**70.1**	**Recomendado:> 50kV/2.5mm**				

Tabela 3. **Resultados de análise de gases, rigidez e humidade do Transformador T101 - 2015. Fonte: EDM/DTNO.**

4.2. Resultados de análise de gases, rigidez dieléctrica e humidade do Transformador T101 Ano 2016.

ANO 2016	**Valores**	**Valores limitem [ppm]**				
	Medidos [ppm^2]	**Normal**	**Evolução**	**%**	**Anormal**	**Critico**
Hidrogénio (H_2)	8	<100			100 – 700	> 700
Dióxido de carbono (CO_2)	**3190**	**<2500**	**69**	**2.1**	**2500 - 4000**	**> 4000**
Monóxido de Carbono (CO)	201	<350			350 - 570	> 570
Etileno (C_2H_4)	**99**	**<50**	**49.1**	**49.59.**	**50 - 100**	**> 100**
Etano (C_2H_6)	**228**	**<65**	**163.1**	**71.5**	**65 - 100**	**> 100**
Metano (CH_4)	46	<120			120 - 400	> 400
Acetileno (C_2H_2)	**12.8**	**<2**	**109**	**14.8**	**2 a 5**	**> 5**
Humidade	**23**	**<15**	**8.1.**	**35.2**		
Rigidez dieléctrica	**70.1**	**>50kV/2.5mm**				

Tabela 4. Resultados de análise de gases, humidade e rigidez do T101. Ano 2016. Fonte: EDM/DTNO.

4.3. Resultados de análise de gases, rigidez dieléctrica e humidade do Transformador T101- Ano2018.

Gases dissolvidos no óleo e humidade Ano 2018	**Valores**			**Valor limite [ppm]**		
	Medidos [ppm^2]	**Evolução**	**%**	**Normal**	**Anormal**	**Critico**
Hidrogénio (H_2)	8			<100	100 – 700	> 700
Dióxido de carbono	2030			<2500	2500 – 4000	> 4000
Monóxido de Carbono	201			<350	350 – 570	> 570
Etileno (C_2H_4)	**65**	**16**	**24.6**	**<50**	**50 – 100**	**> 100**
Etano (C_2H_6)	**69**	**4**	**5.79**	**<65**	**65 – 100**	**> 100**
Metano (CH_4)	36			<120	120 – 400	> 400
Acetileno (C_2H_2)	<0.5			<2	2 a 5	> 5
Humidade	**28**	**5.1**	**46.7**	**<15**		
Rigidez dieléctrica (RD)	**47.2Kv**			**>50kV/2.5mm**		

Tabela 5 Resultados de análise de gases; humidade e rigidez dieléctrica 2018. Fonte: EDM/DTNO

5.Avaliação do impacto dos Gases dissolvidos em óleo

A presença e evolução de gases no óleo do pode provocar a contaminação e degradação do mesmo afectando deste modo o sistema de isolamento constituído de papel e óleo. Neste contexto, abaixo são indicados alguns gases e suas respectivas consequências no isolamento.

- Acetileno (C2H2): Arco;
- Etileno (C2H4): Óleo Super aquecido;
- Hidrogénio (H2): electrolise;
- Monóxido de Carbono (CO): Celulose super aquecida;
- Hidrogénio (H2): Descargas Corona no óleo;
- Metano (C2H6): Descargas Corona no óleo;
- Hidrogénio (H2): Descargas Corona no papel;
- Dióxido de Carbono (CO2): Celulose super aquecida e descargas Corona no papel. (Santana, 2010)

6.Discussão de dados

Em relação as tendências de evolução (contaminação do óleo isolante) observa se o seguinte:

Em 2015 observamos 4 gases dos quais Dióxido de carbono; etileno; etano e acetileno na razão de 37%; 88.4; 86.4; e 96.4% respectivamente. Em relação a humidade e rigidez dieléctrica do óleo foi de 46.7% e 70.1kV/2.5.mm2. Apesar de o índice de contaminação por humidade ser elevado, observa se uma rigidez admissível segundo os parâmetros estabelecidos pelo fabricante que neste caso, deve ser maior ou igual a 50kV/2.5mm2.

Referente aos anos 2016 e 2018 a evolução é de 5 e 3 gases nomeadamente:

Dióxido de carbono (2.1%); 49.59% de etileno; Etano 71.5 e acetileno com 14.8%, uma humidade de 35.2% em relação ao valor considerado normal. Não houve variação do valor de rigidez dieléctrica de óleo.

Por fim temos a evolução de gases, humidade e rigidez dieléctrica detectados em 2018 que se relaciona com seguintes valores: 24.6 e 5.79% de gases dissolvidos em óleo isolante, em destaque para etileno e etano respectivamente. Neste ano, notou se uma evolução da humidade na razão de 46.7% em relação ao ano de 2016 que foi de 35.2% em relação ao valor admissível.

Sobre as 3 questões levantadas foram inqueridos 7 indivíduos dos quais 5 são técnicos de manutenção do equipamento de alta tensão e dois são operadores do sistema na Subestação onde se encontra o objecto em estudo e, foram obtidas seguintes opiniões:

Na questão sobre o desempenho do Transformador T101 nos anos 2015; 2016; 2017 e 2018, quarenta por cento (40%) dos inqueridos dizem que o desempenho foi bom embora apresentar algumas falhas, e 60% do total da amostra afirma que o desempenho do TR101 nos últimos 4 anos não foi bom, tecnicamente apresentava muitas falhas.

Em relação a periodicidade de manutenção e a análise físico química de óleo isolante neste transformador, oitenta por cento (80%) de participantes afirmaram que a manutenção de transformadores em causa não tem sido regular, contra 20% que declararam ser regular, apesar de ser um transformador velho.

A indisponibilidade de alguns aparelhos de teste, sendo apenas 2 aparelhos disponíveis em toda Divisão Norte (Aparelho de rigidez dieléctrica e de analise de gases), assim como a falta de calibração periódica dos aparelhos condiciona para a não efectivação dos testes durante a manutenção dos transformadores visto que a calibração é feita fora do Pais e, quando são enviados para fora levam muito tempo para voltar a origem.

Por fim, a última questão baseou se em procurar saber a idade do Transformador, sendo30% desconhecerem a idade e, 70% dizem que o mesmo tem 39 anos de serviço.

7.Conclusão

Devido a sua elevada importância na manutenção dos transformadores, o óleo mineral isolante (OMI) tem um papel fundamental na vida útil dos transformadores, pois além de remover o calor gerado nas bobinas ele é um importante elemento isolante. Porém, o OMI está sujeito a sofrer mudanças em suas propriedades físicas, químicas e eléctricas com o passar do tempo. Dessa forma, para que ocorra o pleno funcionamento dos transformadores, é necessário que haja uma análise físico-química do óleo utilizado através de ensaios como: índice de neutralização, teor de água, tensão interfacial, rigidez dieléctrica e entre outros para a verificação do estado de envelhecimento do óleo, para alem de que será possível quantificar a concentração dos gases baseada na avaliação da evolução em relação às análises anteriores e com isto remediar possíveis transtornos de paradas indesejáveis do equipamento e a diminuição de custos de manutenção, perda de produção e riscos de operação.

Alguns dos gases encontrados nos interiores dos transformadores devem ser eliminados caso o seu volume esteja elevado, é o caso do oxigénio. Sua presença acelera o envelhecimento do óleo. Em outros casos, como do acetileno, devemos analisar em sua origem onde está ocorrendo a formação e sua taxa de crescimento, pois é severamente perigosa a sua formação, podendo levar a queima e colapso do transformador.

.

8. Sugestões

Tendo em vista o risco de operar um equipamento sem o conhecimento prévio do estado operacional dos seus componentes, sugere se:

- Instalação de um dispositivo (D.G.A) "on-line" com um sensor que permite medir e monitorar on-linea presença de contaminantes no óleo isolante do Transformador, principalmente humidade, água e oxidação que são perigos do isolamento.
- Reduzir a periodicidade na realização de testes, principalmente os testes de análise físico química do óleo isolante.
- Os gestores das Empresas e responsáveis pelas manutenções dos equipamentos não devem encarar custos de manutenção como desperdícios, mas, como investimento apropriado para garantia da qualidade e confiança com os equipamentos e melhoria cada vez mais dos serviços.
- Por fim, a especialização e motivação devem ser potenciadas de modo a elevar os níveis de conhecimento dos seus trabalhadores.

9.Referências bibliográficas

1. ALMEIDA, A. *Analise das propriedades Físico-químicas do isolamento liquido. Guia para Manutenção de transformadores de potência*, 4ed, Lisboa, Porto editora.2004.
2. ALVAREZ, B. *Estudo dos critérios para a especificação de transformadores de potencia.*1991. 2ed.Brasil. SP.
3. AMARAL, Nádia Bentz de Souza. *Estudo sobre critérios para a especificação de transformadores elevadores de estações geradoras.*2007. 2ed. Lisboa, porto editora.2007.
4. ARRANTE, C. *Caracterização Físico-Química e dieléctrica de Óleos Biodegradáveis para transformadores eléctricos*, 3ªed. Lisboa, Porto.2009.
5. ANTONELLO, I.; HUMERES, E.; SOUZA, I. G. de; DEBACHER, N. A. *Determinação de ascarel em óleo isolante de transformadores*.4 ed, Brasil, S.P. 2007.
6. BELLO, J. (2005) *Metodologia Cientifica Manual para elaboração de textos académicos, Monografia, Dissertações e Teses*, Rio de Janeiro
7. BERTLY, A. *Análise das propriedades Físico-químicas do isolamento líquido. Guia para Manutenção de transformadores de potência*, 4ª ed, Lisboa, Porto editora.2003.
8. CIGRE. *Guidelines for conducting design reviews for transformer*.2.ed. Florida, 2009.
9. CERVO, Amado L. Bervian.*Metodologia cientifica para uso dos estudantes Universsitarios*.2ªed. S. Paulo: Brasil, 1978.
10. DOS SANTOS, Elton. Diniz; COVACIC, Márcio Roberto; GEROMEL, Luiz Henrique. *Análise do Encapsulamento de Bobinas de Alta Tensão Utilizando Medição de Descargas parciais e Sistemas Inteligentes.* 2011.São Paulo.
11. FERNANDES, P. O. *Manutenção Preventiva e Preditiva de Transformadores*. Apostila SDM do Brasil Ltda, ano 2009.
12. FERNANDEZ, Juan António Rodrigues. *A hipótese na investigação científica: o problema da formulação da hip6tese e a qualidade da pesquisa*. São Paulo:1979 (Tese de Mestrado).
13. GIL, A. C. *Como elaborar projectos de pesquisa.* 2ª. ed. São Paulo: Atlas, 1999.
14. KINDERMANN, Geraldo. *Protecção de Sistemas Eléctricos de Potencia*.1^{a} Edicao.Vol.1 Floria nopolis, 1999.
15. KÓCHE, José Carlos. *Fundamentos de metodologia científica*. 3.ed. Porto Alegre. 1978

16. LAKATOS, Eva Maria & MARCONI, Maria Andrade, *Fundamentos de metodologia científica*. 4.ed., São Paulo, Atlas, 2008.
17. LAKATOS, Eva Maria, MARCONI, Maria Andrade, *Metodologia do trabalho Científico*, 7ª Edição, Editora ATLAS S.A – 2003.
18. MILASCH, *Manutenção de transformadores em líquido isolante*.2ed. São Paulo:1984.
19. MORAIS, R.M.N. *Manutenção de Transformadores em líquido isolante*, São Paulo: 2003.
20. MOURA. A.L *Equipamentos eléctricos de alta tensão*, 6ª Edição. Rio de Janeiro:1978.
21. MESSIAS. C. B. *Técnicas de ensaios físico químicos de isolamento líquido*, 5ª edição. S.P.Brasil.1993.
22. SANTANA. *Estudo de envelhecimento térmico do papel isolante*, Rio de Janeiro, 2010
23. TRUJILLO, Ferrari Afonso. *Metodologia de ciência*. 2ª.ed. Rio de Janeiro.1974.
24. VENTURE A. *Manual de metodologia científica para trabalhos de pesquisa*, Rio de Janeiro, 2002

ANEXO

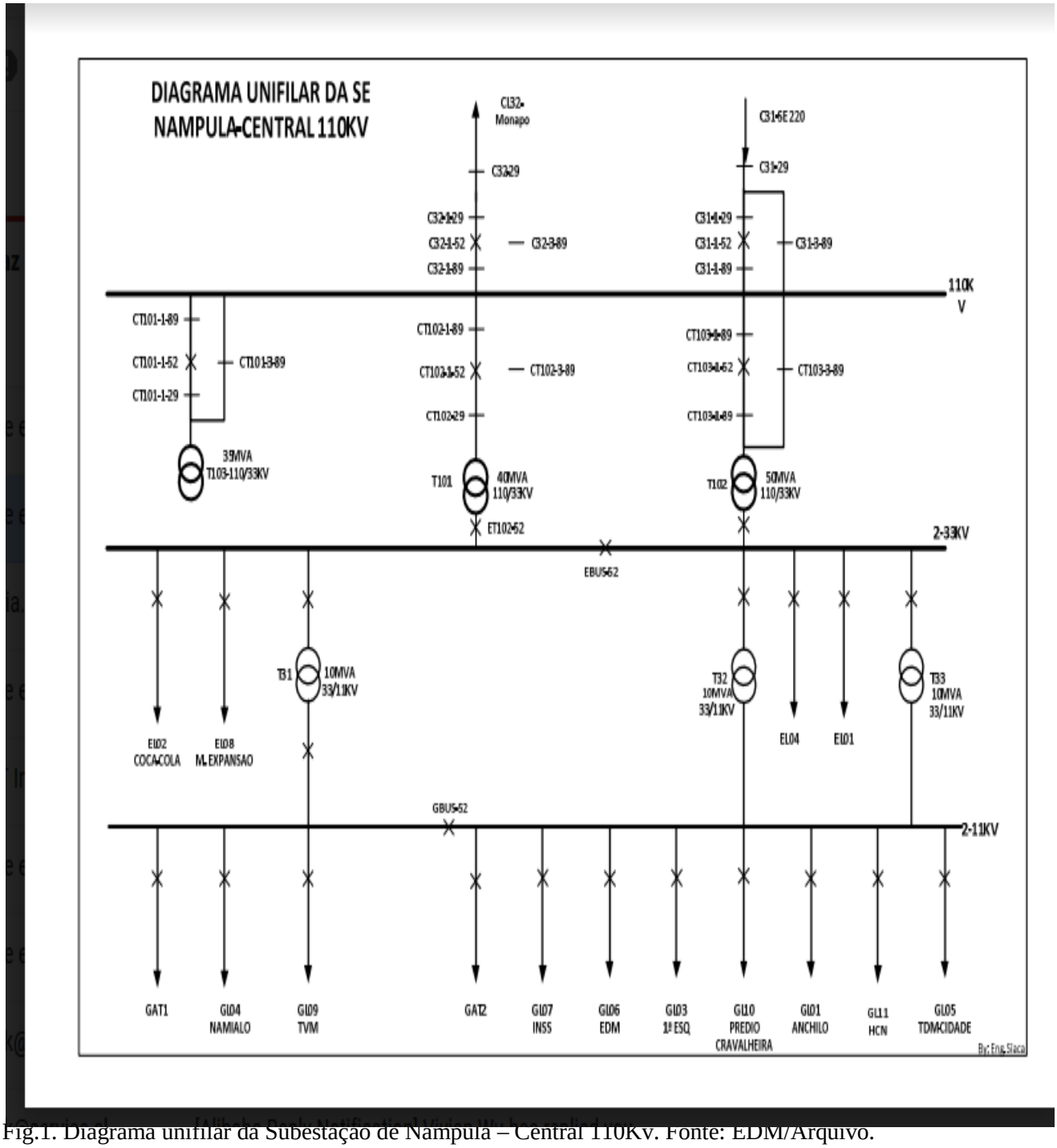

Fig.1. Diagrama unifilar da Subestação de Nampula – Central 110Kv. Fonte: EDM/Arquivo.

Fig. 2. Amostra de óleo mineral isolante novo. Fonte: Messias (2002)

Fig3. Sílica gel em boas condições. Fonte: Morais, (2003)

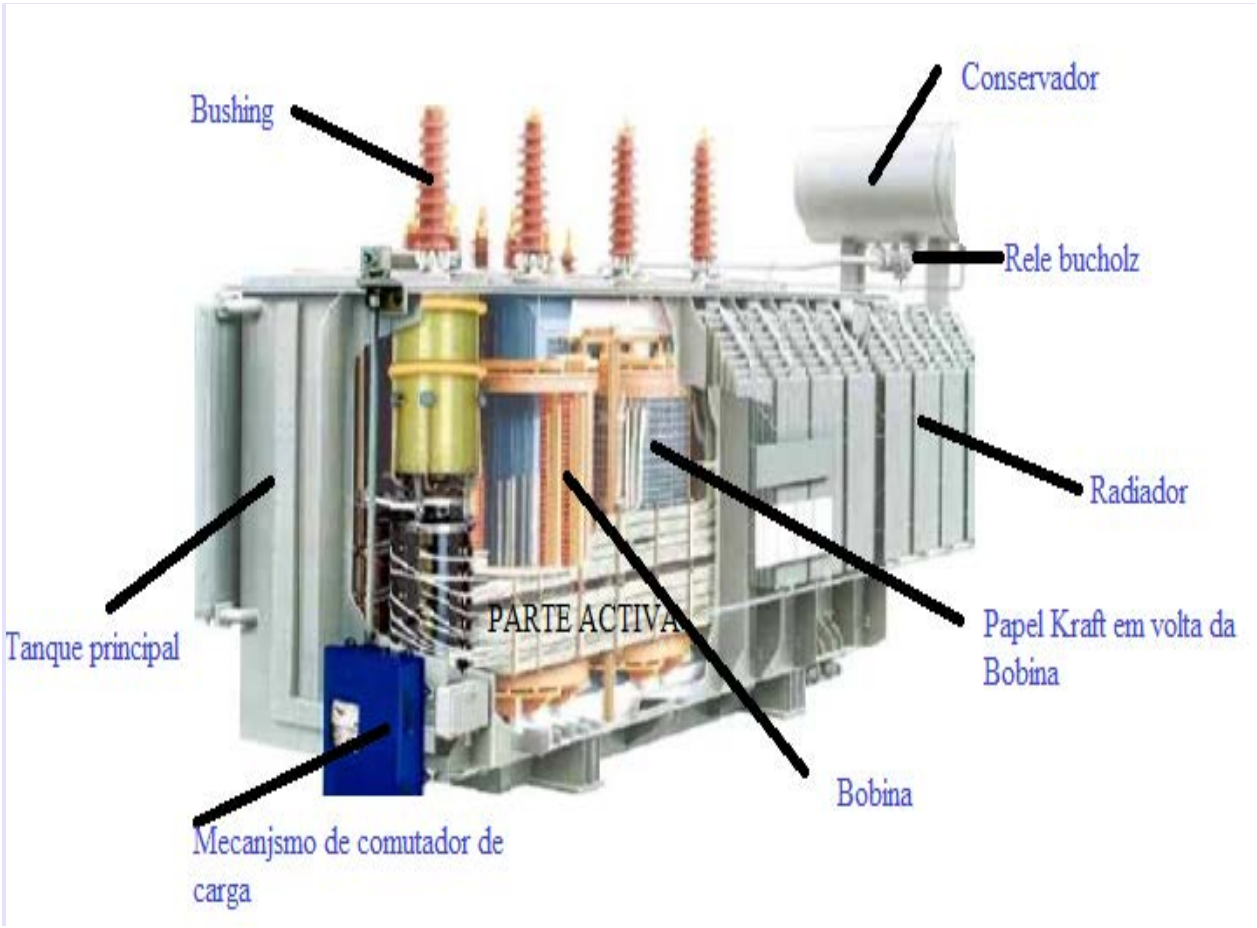

Fig.4. Características construtivas de Transformador de Potencia. Fonte: Almeida, (2004)

Fig.5. Papel kraft. Fonte: Bertly. (2003)

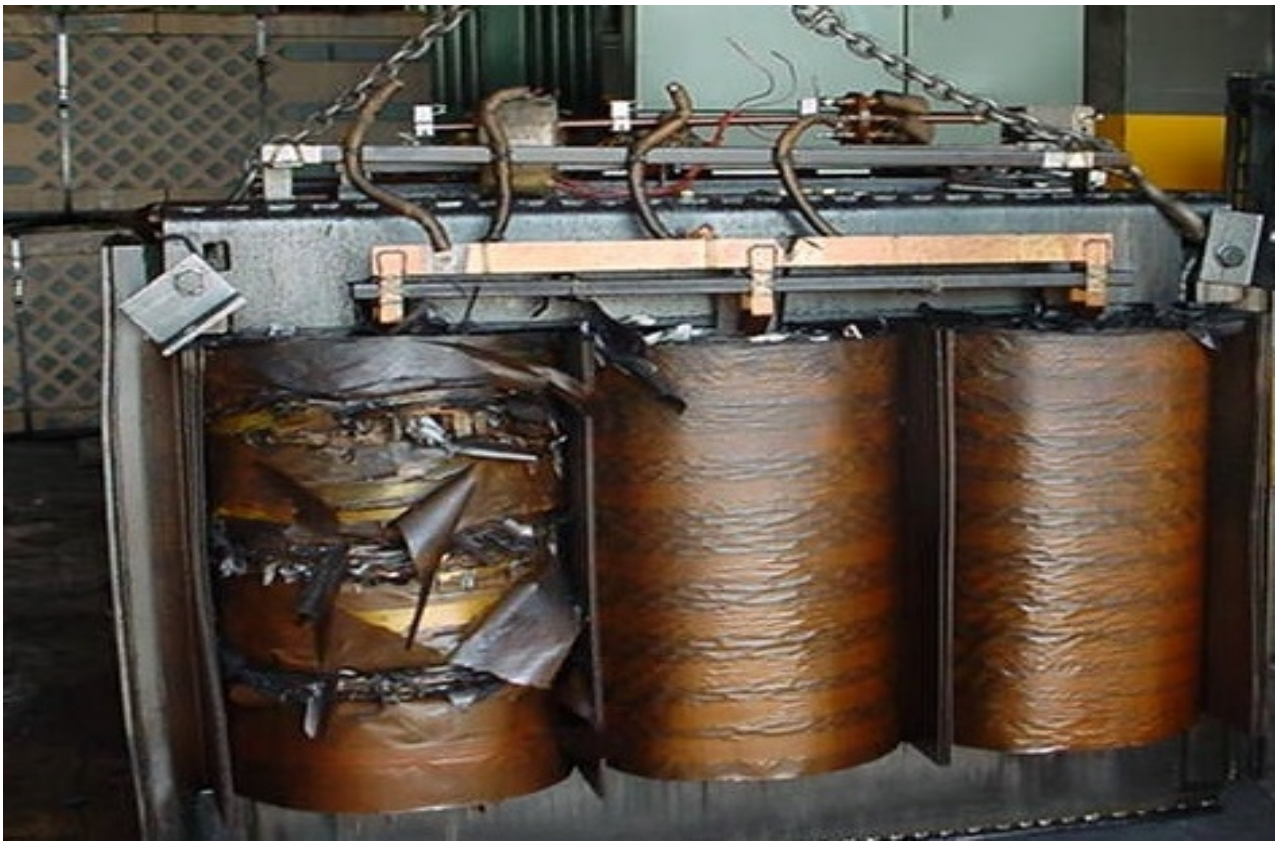

Fig.6. Sistema de isolamento(liquido e solido) em degradação.. Fonte: Bertly:2003

Fig. 7. Sistema de isolamentos (sólido e liquido) em degradação. Fonte: Milasch: 1984

APÊNDICE

Questionário

1. Como classifica o desempenho do Transformador TR101 nos últimos quatro anos?

R// ----------

2. Na sua opinião qual é a periodicidade de manutenção dos Transformadores, em especial para TR101 por apresentar estado de envelhecimento?

R//----------

3.Qual é a idade (Tempo de serviço) do Transformador TR101?

R// ----------

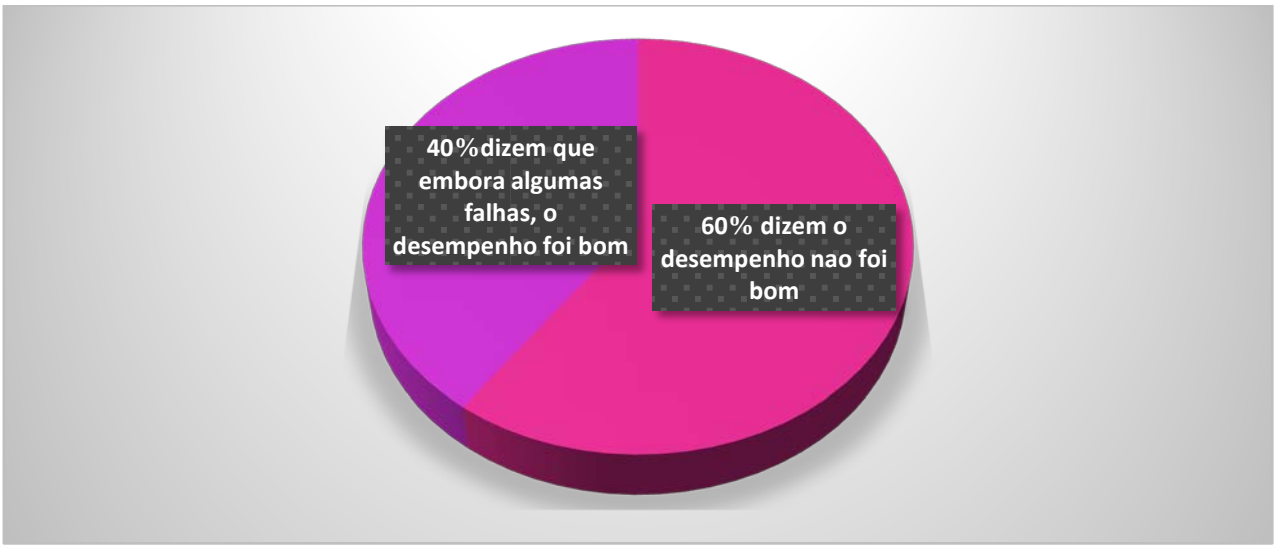

Grafico.1. Questão sobre o desempenho do TR101 nos últimos 4 anos. Fonte: Autor

Gráfico 2. Questão sobre a periodicidade de manutenção do transformador TR101. Fonte: Autor

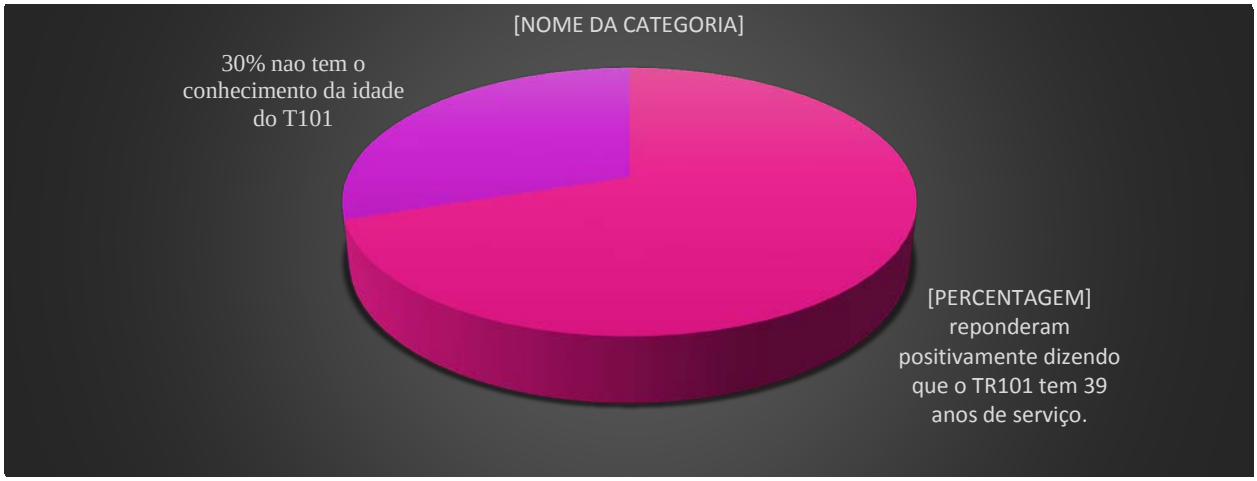

Gráfico 3. Questão sobre a idade e tempo de serviço do TR10. Fonte: Autor

Figura 8. Transformador de potência TR101 apresentando vazamentos -- SE de Nampula 110Kv.

Fonte: Autor 2019

Fig.9. Sílica gel do TR101 (saturada) Fonte: Autor 2019

Fig.10. Amostra do óleo isolante do TR101.Fonte: Autor 2019