



Católica
do Tocantins

KAIO GOMES FERREIRA

ANTHONY VIANA LIMA

MÉTODOS DE SECAGEM DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA EM UMA
EMPRESA DE ENGENHARIA NO MUNICÍPIO DE PARAÍSO – TO

Palmas – TO

2018

Anthony Viana Lima, Kaio Gomes Ferreira
MÉTODOS DE SECAGEM DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA EM UMA
EMPRESA DE ENGENHARIA NO MUNICÍPIO DE PARAÍSO – TO

Trabalho elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade Católica do Tocantins (FACTO).

Orientador: Prof. Dr. Vailton Alves de Faria

Coorientador: Prof. Me. Caio César Costa Martins

Palmas - TO

2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANTHONY VIANA LIMA
KAIO GOMES FERREIRA

Métodos de Secagem de Transformadores de Potência em uma Empresa de
Engenharia no Município de Paraíso – TO

Aprovado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Vailton Alves de Faria
Orientador
Faculdade Católica do Tocantins – FACTO

Prof. Me. Caio César Costa Martins
Coorientador

Faculdade Católica do Tocantins – FACTO
Avaliador

Palmas - TO
2018

Dedicamos o presente trabalho as nossas famílias. A todos nosso muito obrigado, pois com muito carinho e apoio, não mediram esforços para tornar nossos sonhos possíveis. Ao admirável professor Dr. Vailton Alves, e ao Me. Caio Martins pela dedicação na construção deste trabalho

AGRADECIMENTOS – KAIO

À Deus por ter me reconciliado consigo mesmo, à Cristo por tremenda graça e redenção e ao Espírito de Santo por me ensinar todas essas coisas a respeito da pessoa de Cristo.

Aos meus familiares e amigos que fizeram parte desses momentos sempre me ajudando e incentivando.

Ao senhor Iray Francisco e senhora Suelene Rocha, pai e mãe, eu amo vocês.

A minha digníssima namorada Karla Lorena pela força, compreensão e ajuda em momentos complicados na execução deste trabalho.

Ao orientador e amigo Prof. Dr. Vailton Alves pela oportunidade, confiança e mentoria no decorrer do desenvolvimento desse trabalho e nas matérias mais difíceis que encontrei na minha vida. Contribuindo para meu desenvolvimento profissional.

Ao Prof. Me. Caio Martins pela contribuição para este trabalho.

À todas as pessoas que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração desse trabalho.

Meus agradecimentos à Faculdade Católica que me acolheu e me proporcionou uma oportunidade ímpar em minha vida.

AGRADECIMENTOS – ANTHONY

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso fosse possível, pela sabedoria e discernimento que nos deu durante a realização desse TCC.

Agradecemos a Faculdade Católica do Tocantins, pela oportunidade de fazer esse curso.

Agradecemos a nosso professor e orientador Vailton Alves de Faria pelo apoio, confiança, correção e orientação para que obtivéssemos êxito na conclusão do nosso trabalho.

Agradecer aos nossos pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

E por fim agradecer a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, e nos deram todo o apoio necessário, o nosso muito obrigado a todos.

RESUMO

Lima, A. V.; Ferreira, K. G. (2018) Métodos de Secagem de Transformadores de Potência em uma Empresa de Engenharia no Município de Paraíso – TO, Paraíso do Tocantins/ Palmas, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica, Faculdade Católica do Tocantins (FACTO).

Transformadores são equipamentos primordiais em todo o Sistema Elétrico de Potência, (SEP). O estudo de metodologias para manutenção e preservação de transformadores é bastante importante para um funcionamento correto e confiável. A umidade além de reduzir as propriedades isolantes possibilita falhas elétricas internas no equipamento, aguça o processo de decomposição da celulose (envelhecimento) atingindo a sua vida utilizável. O objetivo deste trabalho é abordar um estudo dos métodos conhecidos para a secagem de transformadores além de verificar as técnicas implantadas na MCruz Manutenção e Montagens Elétricas localizada no município de Paraíso do Tocantins – TO, assim propondo melhorias praticas para estas.

Palavras chaves: Umidade, Óleo, Secagem, Transformadores.

ABSTRACT

Lima, A. V.; Ferreira, K. G. (2018). Analysis of Drying Methods of Power Transformers at an Engineering Company in the Municipality of Paraíso – TO, Paraíso do Tocantins/ Palmas, 2018. Completion of Course Work - Electrical Engineering, Catholic University of Tocantins (FACTO).

Transformers are primary equipment throughout the Electric Power System (SEP). The study of techniques for maintenance of transformers is very important for a correct and reliable operation. Moisture in addition to reducing the insulating properties allows internal electrical faults in the equipment, accelerates the decomposition process of the cellulose (aging) reaching its useful life. The objective of this work is to study the known methods for the drying of the power transformer in addition to analyzing the techniques used in the MCruz Maintenance and Electrical Mounts located in the municipality of Paraíso do Tocantins - TO, thus proposing practical improvements for them.

Keywords: Humidity, Oil, Drying, Transformers.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Menor espessidão da chapa de aço (NBR 5440)	18
Tabela 2: Correlação da pressão com a temperatura de evaporação da água	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Componentes de um Trafo de potência	16
Figura 2: Parte ativa do Trafo de potência	17
Figura 3: Bucha de uso em transformador	18
Figura 4: Grupo de radiadores	19
Figura 5: Representação esquemática da celulose em visão molecular	20
Figura 6: Curvas para estimativa da umidade pelo ponto de orvalho	26
Figura 7: Influência da temperatura e umidade na expectativa de vida	28
Figura 8: Temperatura para formação de bolha em função do teor de umidade na isolação sólida	28
Figura 9: Cartuchos de Filtro Velcon Superdri.....	30

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DDP	Diferença de Potencial
GP	Grau de polimerização
URSI	Umidade Relativa Superficial Interna
SE	Sistema Elétrico
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
TC	Transformador de Corrente
TP	Transformador de Potência
TRAFO	Transformador
OMI	Óleo Mineral Isolante

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo Geral.....	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3. JUSTIFICATIVA.....	14
4. METODOLOGIA.....	15
5. REFERENCIAL TEÓRICO	15
5.1. TRANSFORMADORES.....	15
5.1.1 Partes do transformador	15
5.1.2 Parte Ativa.....	16
5.1.3 Buchas	17
5.1.4 Tanque.....	18
5.1.5 Radiadores	19
5.1.6 Óleo Isolante.....	19
5.1.7 Papel Isolante	20
5.2 DEFEITO/ERRO EM TRANSFORMADORES.....	21
6. UMIDADE	22
6.1 Meios de Ingresso da Umidade	22
6.2 Principais Complicações Causadas pela Umidade.....	24
6.3 Meios de Medição de Umidade em Transformadores	25
7. SECAGEM DA ISOLAÇÃO.....	27
7.1 Secagem com equipamento em operação.....	29
7.1.1 Secagem pela circulação de óleo aquecido online	29
7.1.2 Secagem por filtro absorvente	30
7.2 Secagem com o equipamento fora de operação.....	31
7.2.1 Secagem por vácuo.....	31
7.2.2 Secagem pela circulação de óleo quente a vácuo	33
8. MÉTODOS EMPREGADOS NA EMPRESA.....	35
8.1 Sugestão de melhoria no método alto vácuo	35
8.2 Sugestão de melhoria no método circulação de óleo quente	36
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
10. REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

Os transformadores são equipamentos essenciais no Sistema Elétrico (SE), pois permitem que as altas tensões produzidas nas usinas sejam modificadas, fazendo com que a transmissão e a distribuição da energia elétrica ocorram com níveis diferentes de tensões. A alteração nas tensões proporciona que haja uma redução nas perdas durante a transmissão de energia elétrica, pois o mesmo não precisa de tensão fixa para geração e transmissão. Entretanto, é essencial uma atenção exclusiva com Trafos de transmissão, que operam em grande escala de tensão e elevadas potências (ANTONELLI, 2013).

O prazo de vivência do transformador é dependente do seu complexo de isolamento que é composto essencialmente por líquido isolante e papel isolante. Um dos fatores que podem causar a redução do prazo de vida do transformador é a influência de umidade impregnada em seu interior, sendo considerado gravíssima esta adversidade, pois além de ocasionar falhas elétricas acelera seu envelhecimento (ANTONELLI, 2013; SILVA, 2008).

O procedimento técnico para eliminar totalmente resíduos de moléculas de água em isolação é bastante difícil (MILASCH, 1984). Porém o uso de maneiras para realizar a secagem objetiva reduzir as propriedades moleculares de água – “H₂O” ao equipamento, evitar falhas, manter seu melhor desempenho e prolongar sua vida. Tendo como finalidade aplacar ou impedir falhas no desempenho do transformador uma manutenção preventiva permite da sobrevida e reduzir gastos com novos equipamentos (ANTONELLI, 2013).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do trabalho é descrever os métodos de secagem para transformadores de potência empregados na empresa MCruz Manutenção e Montagens Elétricas no município de Paraíso do Tocantins - TO.

2.2 Objetivos Específicos

- Abordar os métodos empregados e conhecidos para secagem de transformadores exercidos na empresa.
- Apresentar os pontos positivos e negativos dos métodos de secagem da empresa MCruz Manutenção e Montagens Elétricas.
- Propor melhorias nos métodos empregados para secagem na empresa objeto de estudo.

3. JUSTIFICATIVA

Os transformadores possuem um papel muito importante em sistemas de potência em CA. Ele possibilita que a energia gerada e a transmissão desta energia sejam realizadas em tensões mais adequadas, permitindo grande economia no sistema, além de permitir que dispositivos sejam atendidos individualmente nas tensões corretas.

Entretanto, o aparecimento de água no interior do equipamento provoca a queda de resistência elétrica tanto do óleo quanto do papel celulósico, mas principalmente da resistência mecânica. Podemos exemplificar que sempre que há a duplicação das moléculas de água, é reduzida pela metade a firmeza mecânica do papel celulósico (MARTINS, 2001).

A secagem é uma das manutenções mais importantes feitas no transformador, tem como objetivo diminuir o teor de umidade do equipamento, acarretando assim o adiantamento em seu tempo de uso, melhora no seu desempenho, além de evitar lapsos na isolamento. Desta forma, a remoção do teor de umidade concentrado dentro do transformador é a maneira preventiva que viabiliza o aumento da sua vida de trabalho e redução de gastos na aquisição de novos componentes (ANTONELLI, 2013). Sendo

assim, este trabalho tem por finalidade mostrar a importância desse processo, destacando os métodos empregados e conhecidos pela MCruz Manutenção e Montagens Elétricas.

4. METODOLOGIA

Inicialmente foi realizado uma pesquisa exploratória para definir e levantar informações através de livros, artigos científicos, resoluções, monografias, teses, dentre outros, sobre o assunto objeto de estudo que são os Métodos de Secagem dos Transformadores de Potência.

Foi descrito o processo de montagem dos transformadores, a participação da umidade em seu interior e o processo de secagem, que o torna apto para utilização no mercado. Este último aspecto da descrição trouxe à pesquisa, o caráter qualitativo, pois se trabalhará motivações mais subjetivas a serem analisadas e interpretados no presente trabalho.

A pesquisa baseia-se no método exploratório e qualitativo descrevendo métodos de secagem dos transformadores de potência mais comuns. Por fim, relatar os métodos que são comumente empregados na MCruz Engenharia Manutenção e Montagens Elétricas, e sugerir melhorias nos dois métodos empregados para a secagem do transformador, isso através da experiência vivida em período de estágio na mesma empresa.

5. REFERENCIAL TEÓRICO

5.1. TRANSFORMADORES

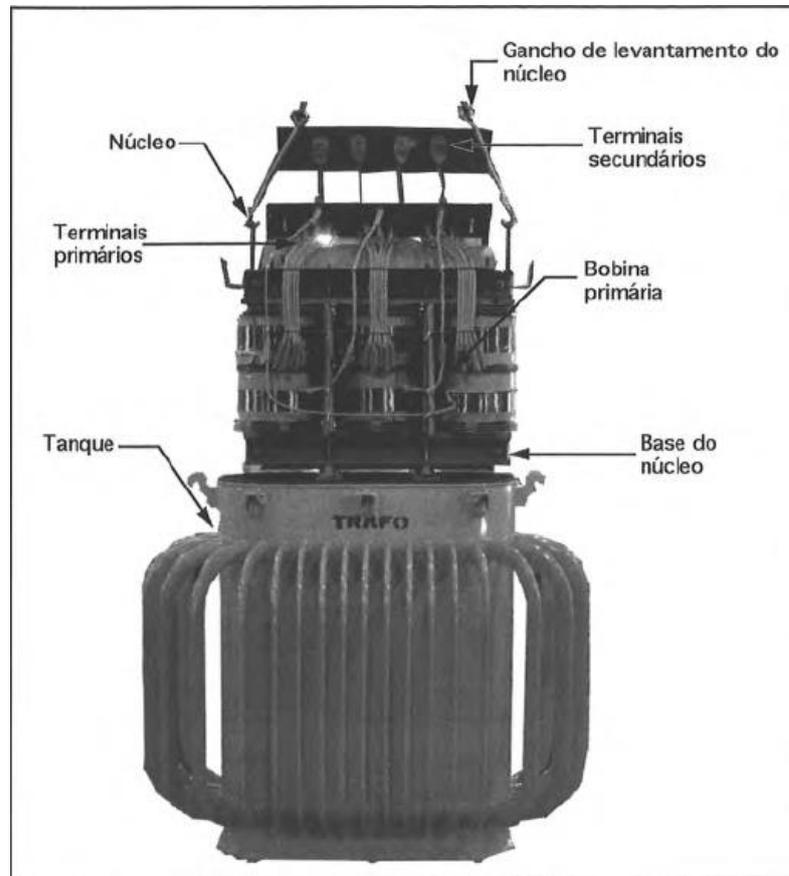
O transformador é um equipamento elétrico que tem como principal função transferir a energia elétrica de um circuito a outro com uma mesma frequência, porém com diferentes níveis de tensão. Os mesmos são classificados por número de fases, tipo do núcleo e tipo de aplicação, pode ser trifásico ou monofásico, dependendo da carência de cada instalação específica.

5.1.1 Partes do transformador

Tópico seguinte exhibe os componentes em que se divide um TP, com destaque em: parte ativa, tanque, buchas, radiadores, líquido isolante e papel

isolante.

Figura 1: Componentes de um Trafo de potência



Fonte: (FILHO, M., 2013)

5.1.2 Parte Ativa

A parte ativa é composta por enrolamentos, sendo eles: primário, secundário e terciário, além do núcleo, sustentação mecânica e isolamentos. Os enrolamentos são compostos por bobinas de fio de alumínio ou cobre formando assim o primário, secundário e caso existam o terciário (ANTONELLI, 2013; AVILA, 2016).

Outro item importante do transformador contido na parte ativa é o núcleo, este é formado por material ferromagnético que contem silício em suas propriedades, resultando em uma alta permeabilidade magnética no qual acarreta em redução das perdas magnéticas. Desta forma, o núcleo é o principal responsável por guiar a corrente induzida do enrolamento primário ao secundário (ANTONELLI, 2013).

Para que haja sustentação mecânica, ou seja, torne o conjunto enrolamento, bobina e núcleo rígido é necessário utilizar de calços, vigas, tirantes verticais e horizontais. Os calços podem ser produzidos com materiais distintos como papelão isolante, madeira, madeira laminada e fenolite (isolante elétrico), e são empregues

com diversas finalidades, dentre elas: suporte da parte ativa, apoio das derivações e como ferramenta de fixação do tanque.

Complementando a parte ativa, a isolação se faz imprescindível para isolar pontos em que a DDP se torne relevante, ou seja, com isso isola-se os condutores, contatos elétricos, cada camada dos enrolamentos, tanto primário quanto secundário, as fases e o núcleo (ANTONELLI, 2013).

O sistema de isolação se dá através de isolação sólida e de isolação líquida. Isolação sólida é composta por papel e papelão isolante, estes produzidos pelo processo kraft (à base de celulose), os mesmos são matérias capazes de suportar maiores esforços mecânicos e altas temperaturas com menor deterioração. Isolação líquida é composta por fluido isolante, podendo ser óleo mineral ou óleo vegetal que impregnando na parte ativa com o papel kraft é o método mais utilizado atualmente, com as melhores características isolantes.

Figura 2: Parte ativa do Trafo de potência



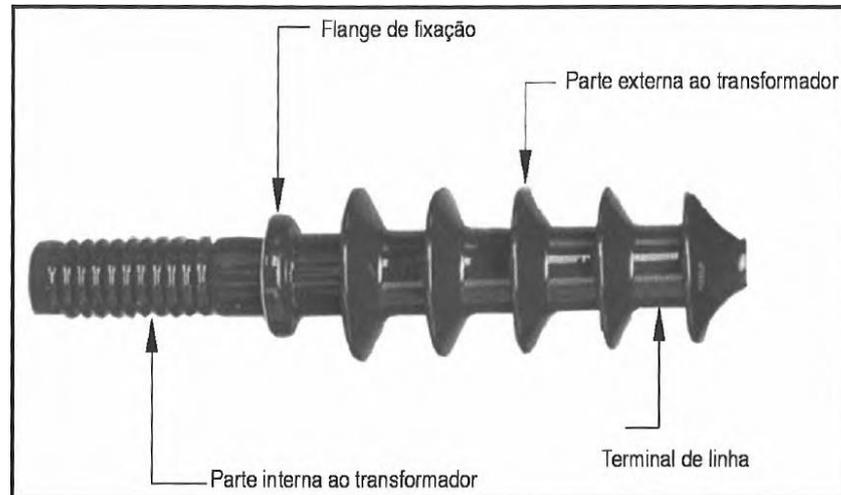
Fonte: (AUTOR, 2018)

5.1.3 Buchas

As buchas são componentes responsáveis por isolar e interligar os enrolamentos do transformador a rede elétrica de forma segura. A conexão é realizada através de buchas com alta resistividade em seu corpo isolante constituídas por

material cerâmico ou polimérico (ANTUNES, 2010; BRITO, 2010).

Figura 3: Bucha de uso em transformador



Fonte: (FILHO, M., 2013)

5.1.4 Tanque

Segundo Filho (2005), tanque é a parte metálica do transformador que abriga o núcleo, recipientes do óleo isolante, transmissor da energia em forma de calor gerado na parte ativa ao meio exterior e onde são fixados os suportes para altos esforços mecânicos. Chamado comumente de carcaça, a construção deve ser suficientemente robusta para sustentar altas pressões.

Constituído por três partes: corpo, tampa e fundo. Devem ser respectivamente construídas por chapas de aço, laminadas a quente, conforme NBR6650 e NBR6663. A tabela 1 a seguir, apresenta os valores mínimos de espessuras das chapas de aço conforme a NBR 5440:

Tabela 1: Menor espessidão da chapa de aço (NBR 5440)

POTÊNCIA DO TRANSFORMADOR [kVA]	ESPESSURA [mm]		
	Tampa	Corpo	Fundo
$P \leq 10$	1,90	1,90	1,90
$10 < P \leq 225$	2,65	2,65	3,00
$150 < P \leq 300$	3,00	3,00	4,75

NOTA: As espessuras estão sujeitas às tolerâncias da NBR 6650

Fonte: (NBR 5440, 2011)

No caso de transformadores de potência superiores a 300kVA não há legislação que prevê a espessura para as partes do tanque, logo, fica a cargo da fabricante o critério, conforme a especificação da potência do transformador.

5.1.5 Radiadores

O efeito Joule (conhecido como correntes parasitas) no núcleo e enrolamentos provoca uma enorme fonte de calor, aquecimento este que se propaga pelo óleo para as chapas de aço vinculadas ao tanque, assim o calor é absorvido para o ambiente externo do transformador (ANTONELLI, 2013).

Os radiadores são dispositivos instalados na parte externa do tanque estes aumentando a área e volume de troca de calor, utiliza-se aletas com maior superfície de contato com o ar ambiente, desta maneira se cria uma sistemática de circulação de óleo que refrigera a parte ativa. Transformadores de potência com elevada temperatura ocasiona a rápida deterioração dos meios isolantes: papel e óleo (ANTONELLI, 2013; WEG, 2013). Conforme a NBR 5440 a espessura mínima dos tubos dos radiadores é de 1,66 mm.

Figura 4: Grupo de radiadores



Fonte: (ANTONELLI, 2013)

5.1.6 Óleo Isolante

Líquido isolante que preenche por completo o tanque que abriga a parte ativa, desta forma qualquer anomalia ou irregularidade que aconteça será na presença de óleo, tornando as análises físico-química e cromatográfica (gases dissolutos no óleo)

de suma importância para a avaliação da vida útil do transformador (ANTONELLI, 2013).

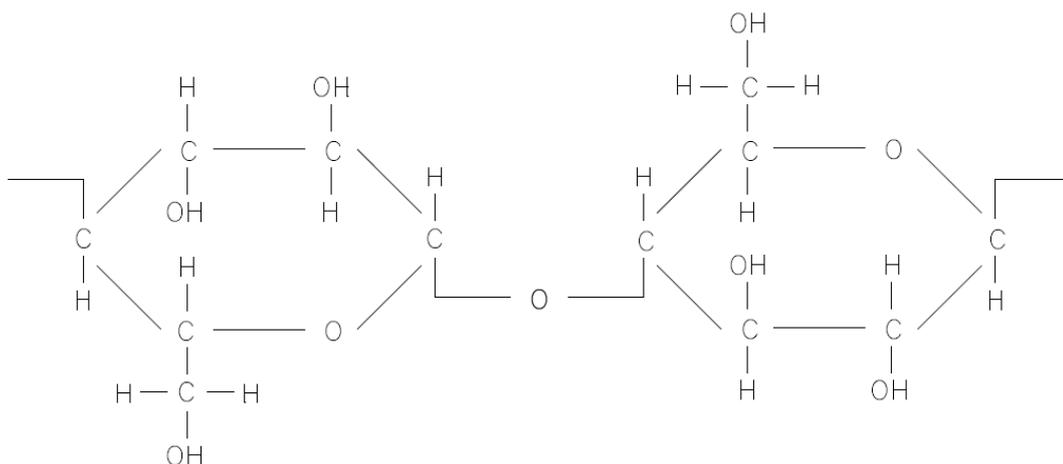
Segundo Milasch (1984), diversos testes são realizados no óleo: exame visual, cor, densidade, rigidez dielétrica, sedimento, fator de potência, número de neutralização, tensão interfacial, umidade e análise cromatográfica dos gases.

Segundo Silva (2008), a função do óleo no equipamento de transformação é: isolar e refrigerar. Com elevada rigidez dielétrica o fluido tem fácil impregnação no material isolante sólido (papel Kraft) aumentando o poder destes materiais. Também propicia que o transformador opere em potências mais altas com a refrigeração da parte ativa, facilitando a transferência de calor entre óleo e a parte interna/externa do transformador.

5.1.7 Papel Isolante

Segundo Vasconcellos (2016), o principal constituinte do papel isolante é a celulose, apenas uma molécula é formada por compridas fibras que por sua vez são interligadas por uma cadeia de anéis (unidade) de glicose. Quando nova cada molécula detém cerca de 1000 a 1400 anéis de glicose. A figura 5 a seguir mostra a representação esquemática da molécula de celulose.

Figura 5: Representação esquemática da celulose em visão molecular



Fonte: (VASCONCELLOS, 2016)

O GP molecular determinará a quantidade de anéis de glicose interligados nessa cadeia, isto significa estimar o tamanho da celulose, sendo que quanto maior o grau mais elevado será sua resistência mecânica (ANTONELLI, 2013).

O GP será igual à média da quantidade de anéis de glicose relacionados por molécula. Assim, quando ocorre a degradação do isolante celulósico (hidrólise e oxidação da celulose), significa que aconteceu a diminuição no tamanho médio destas cadeias, quebras em pequenas porções, resultando na diminuição da resistência física do papel, assim caracterizada seu envelhecimento (WEG, 2013; VASCONCELLOS, 2016).

Segundo Milasch (1984), grande parte da isolação sólida dos transformadores é constituída de papel, de natureza celulósica. Fazendo-se indispensável para isolar e separar pontos da parte ativa onde a diferencia de potencial (DDP) seja relevante. Desta forma, isolam-se contatos elétricos, condutores, camadas de enrolamentos: primário e secundário. Existem alguns tipos de papeis de aplicação em isolação elétrica, possuindo diferentes características principalmente em suas composições. Estes são os materiais empregados:

- ✓ Papel kraft – feito de fibra de madeira;
- ✓ Papel maninha – feito de fibras de madeira e cânhamo (fibra de planta);
- ✓ Papelão kraft – feito de fibra de madeira;
- ✓ Pressboard – feito de papelão com fibra de algodão.

5.2 DEFEITO/ERRO EM TRANSFORMADORES

Conforme Souza (2008), defeito é uma anomalia em um equipamento que levaria o mesmo a funcionar de forma irregular aquém de sua capacidade nominal. Este sendo proveniente de fenômenos térmicos, elétricos, magnéticos e mecânicos, como: aquecimento elevado não previsto, descargas elétricas (causa ruptura do dielétrico), gotejamento de liquido isolante.

- ✓ Rompimento de rigidez dielétrica de isolação não-regenerativa (por exemplo: papel); e
- ✓ Quebra de componente essencial.

Defeitos em transformadores é qualquer espécie de irregularidade que pode ocasionar mal desempenho do equipamento, de forma que pode acarretar em problemas ao sistema como um todo, e se não for corrigido logo poderá resultar em problemas mais graves como a falha do equipamento, por isso é indicado que seja feita a manutenção periodicamente.

Existem vários tipos de defeitos que podem surgir em transformadores de

potência, tais defeitos que vão desgastando o equipamento e assim diminuindo sua vida útil. Os defeitos podem ocorrer em diversas partes dos transformadores como, por exemplo: no isolamento, nos enrolamentos e no núcleo.

A umidade é causar algumas disfunções no transformador como: acelerar o envelhecimento do papel isolante, emitir borbulhas devido altas temperaturas e baixa a rigidez dielétrica do líquido meio isolante.

O ciclo de uso eficaz do transformador é atingido severamente com teor de umidade que possa existir dentro dele, sendo o principal agente do envelhecimento precoce, portanto é muito importante tratar sobre maneiras de retirada de umidade ou moléculas de água nas partes que devem proteger e exercer função isolante do transformador.

6. UMIDADE

Afirmou Milasch (1984), a umidade é um dos maiores inimigos da isolação de papel, tendo sua resistência física diminuída e suas propriedades dielétricas prejudicadas. Ressaltando que novos transformadores têm o teor de umidade limite de 0,5%.

Neste tópico iremos abordar as formas de ingresso no invólucro do tanque, os principais impasses causados pela contaminação e as maneiras de detectar umidade.

6.1 Meios de Ingresso da Umidade

Conforme Sokolov et al (2000), as principais formas de ingresso de umidade no sistema que faz a isolação de transformadores, destacam-se: perda de estanqueidade, manutenção diante umidade atmosférica, montagem final e envelhecimento.

Perda de estanqueidade/vedação durante o transporte, permitindo o trânsito de ar no interior do transformador da maneira que comprometerá o isolamento a níveis que dependerão da gravidade do vazamento, tempo de exposição e condições atmosféricas (SILVA, 2008). Também confirmou Milasch (1983), durante o transporte pode ocorrer a penetração de umidade no tanque por falha de vedação ou mau ajuste do equipamento de pressurização.

Montagem e instalação de acessórios no campo, fatores que em função do tempo de exposição direta do isolamento (manutenção) e as condições atmosféricas

contribuem para surgimento de moléculas de água (SILVA, 2008). O fluxo molecular entre a concentração de água no ar e a do fluido no tanque, segundo Sokolov et al (2000), o fluxo molecular é praticamente desprezível ocasionado apenas entrada de umidade somente em transformadores tratados sob vácuo.

O processo gradativo de fabricação e montagem do transformador também influencia na quantidade de teor de umidade, podendo permanecer em alguns “cantos” do isolamento sólido. Com o tempo, a molécula de umidade pode entrar em contato com o óleo, dessa maneira aumentasse o teor de água nas partes de estrutura fina do isolamento, que são compostas pelas folhas de papel isolante que cobrem os condutores (SOKOLOV et al., 2000; SILVA, 2008).

Através de uma má selagem do tanque poderá acarretar em fluxo viscoso de ar é um dos grandes meios para entrada de água, por meio da pressão atmosférica. Pontos que se tornam sensíveis no decorrer da caminhada de um transformador, como o encabeçamento de buchas e vazamento entre o deslocamento contínuo do óleo forçado até os radiadores de resfriamento. Problemas estes de selagem que acumulam alta pressão e ocorre o risco como “bombas de vapor d’água” (SILVA, 2008; SOKOLOV et al., 2000).

O envelhecimento do isolamento é causado por degradação e decomposição da molécula que em contato térmico quebra suas cadeias de anéis de glicose. Desta maneira o comprimento médio das cadeias é reduzido, ocorrendo a redução do grau de polimerização. A ligação de moléculas de celulose baseia-se em íons H^+ e O^- , e sua quebra formará H_2O em forma molécula – água. A cinética de reação deste processo depende diretamente da condição que o transformador irá operar (SILVA, 2008).

A celulose em contato com umidade, conduz à formação de derivados de furano (compostos de natureza orgânica) que está comumente relacionado a geração de água (SOKOLOV et al., 2000; ANTONELLI, 2013).

A umidade em contato com a parte ativa (núcleo e enrolamento) do tanque, a parte líquida (óleo isolante), a menos que seja extraída ou reduzida em baixa percentagem de água, a mesma acelerará ainda mais o processo para depreciação do papel (ANTONELLI, 2013).

6.2 Principais Complicações Causadas pela Umidade

Os problemas originados pela contaminação por umidade são: redução da rigidez dielétrica, resistência mecânica, temperatura, degradação e envelhecimento.

Provocando a redução da rigidez dielétrica nos meios de isolamentos, a umidade também é a causa principal do decréscimo da resistência mecânica. Por exemplo, se o teor de água duplicar, a resistência mecânica do papel será reduzida à metade (SILVA, 2008).

A queda da rigidez dielétrica é algo extremamente problemático quando se trata de funcionamento nominal do equipamento de transformação. Suscita a existência de arcos voltaicos no interior do líquido isolante e a eventualidade de condução em pontos isolantes. Em pequenas concentrações de água (em torno de 35 mg/kg), já é o suficiente para que haja alteração na isolação líquida, diminuindo sua rigidez dielétrica (SILVA, 2008).

Outro problema é a temperatura, podem ocasionar bolhas formadas devida altas temperaturas no óleo do transformador, em que envolve a alta temperatura que irá provocar aquecimento exagerado em um ou mais pontos do transformador. O aquecimento danifica o meio isolante, desta forma provocando partículas provenientes de desgaste, assim como as borbulhas geradas pela temperatura elevada da umidade no óleo, associando-se ao papel (CIGRÉ, 2013).

A alta tensão na parte atuante de transformadores faz com que surja uma tensão induzida entre o sistema de isolação, entre óleo e papel. Partículas de bolhas e óleo degenerado existente no ambiente do papel, trabalharão como depressões possibilitando a fuga de tensões por meios isolantes.

Segundo Milasch (1984), conforme um catalisador, a água acelera a deterioração do óleo isolante e da celulose do papel. Desta forma, restringindo o tempo de vida do equipamento.

O rompimento dos anéis de glicose se dá mediante três mecanismos fundamentais: a hidrólise, oxidação e pirólise. Apesar da correlação desses três mecanismos, a pirólise é o único que não é relacionado a água (ANTONELLI, 2013).

O mecanismo de desgaste das moléculas de celulose é a hidrolise, a água rompe a correlação das cadeias de glicose ao se ligar com oxigênio que faz a ligação entre as cadeias de glicose. A hidrolise reduz o GP da celulose definindo a sua fibra (ANTONNELI, 2013).

A oxidação é outro mecanismo de desgaste que irá de uma forma “estragar” a celulose, através da reação do oxigênio que em contato com moléculas de carbono provenientes da celulose. Contato que aceita a união entre os anéis de cadeias enfraquecidos, reduzindo o GP da molécula celulose. A água cedida fortalecerá o processo de hidrólise, agilizando o meio de decomposição da celulose (ANTONELLI, 2013).

O oxigênio não somente reage com a celulose, como também contra o óleo isolante, deteriorando em forma de ácidos e outras substancia que retornam a reagir com o óleo de isolação. Este contanto é prejudicial, pois acelera de forma significativa e drasticamente o enfraquecimento do papel, afirmação apontada por Fabre (1960) e Lambe et al (1978), estes mostraram que transformadores não fechados o índice de envelhecimento é quatro vezes maior que os mesmos equipamentos, mas, de forma selada. (ANTONELLI, 2013 apud FABRE, 1960; LAMBE et al (1978).

O último meio de danificação da celulose é a pirólise, no qual ocorre unicamente pelo aquecimento atípico da isolação (óleo e papel), quando demasiado causa a incineração das fibras de celulose, conseqüentemente reduz o GP da molécula de celulose afetando sua constância mecânica e diminuirá a rigidez dielétrica da isolação (ANTONELLI, 2013).

Por último, vamos tratar da aceleração do enfraquecimento do papel Kraft. Este provavelmente é o maior transtorno motivado por causa de umidade no interior do transformador, tratando-se de isolação sólida quaisquer características deixadas pelo papel devido ao envelhecimento não tornaram a ser restauradas. Assim, todas as manutenções praticadas nesses casos são para desacelerar e retardar o envelhecimento do papel (ANTONELLI, 2013).

6.3 Meios de Medição de Umidade em Transformadores

Os métodos aplicados para estimativa do teor de umidade são: a aferição do próprio teor de umidade do papel e medição da proporção de água por coleta de óleo, respectivamente de formas direta e indireta.

O método direto retira-se amostras da isolação sólida (papel), logo determina-se o teor de água. A retirada é feita com o transformador fora de operação, portanto, o seu uso é limitado. No método indireto são feitas medições que possibilitam encontrar características que podem ser relacionadas ao teor de umidade. Como por

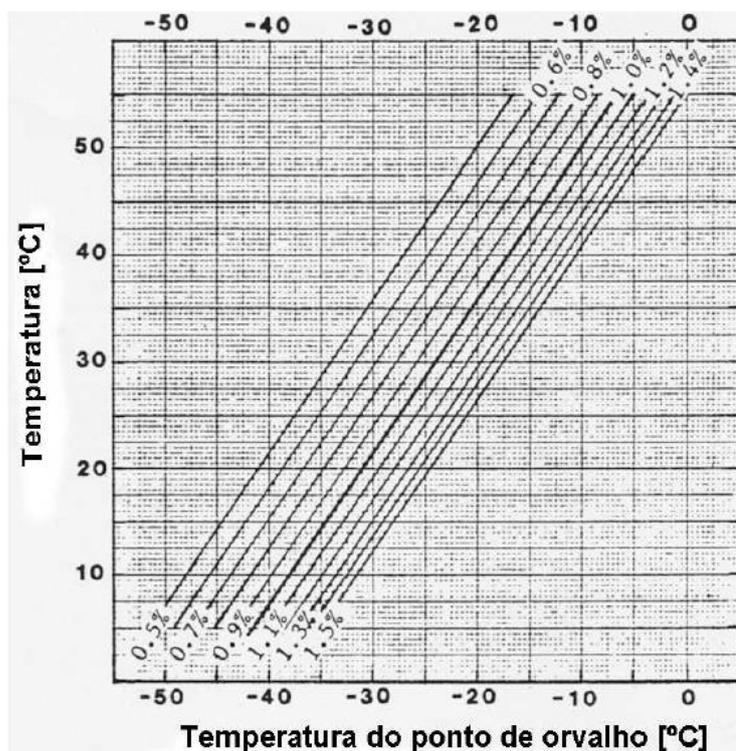
exemplo, uso das amostras de óleo isolante que serão estimadas através de curvas de equilíbrio, nos quais relacionam o teor de umidade no papel com a do óleo (ANTONELLI, 2013 e ASSUNÇÃO, 2007).

Utilizado tradicionalmente em várias concessionárias de energia elétrica, o procedimento de Umidade Relativa da Superfície da Isolação (URSI), pode ser descrito da seguinte forma: a URSI é medida através do preenchimento do tanque com ar sintético super seco ou nitrogênio, e após um prazo de, no mínimo 24 horas para que a umidade do papel se impregne no gás liberado no transformador, logo é feito a medição do ponto de orvalho do gás para encontrar a temperatura na parte ativa. (ASSUNÇÃO, 2007 e WEG).

Com a posse destes dados é empregado através de um diagrama a análise do teor de umidade, similar a figura 6.

A umidade que penetra o gás é a umidade que se achava na superfície do papel isolante (ANTONNELI, 2013).

Figura 6: Curvas para estimativa da umidade pelo ponto de orvalho



Fonte: (ASSUNÇÃO, 2007)

Segundo Assunção (2007) a condição deste método é que se avalia apenas a umidade da superfície do papel, e não de toda a massa de papel isolante. Portanto,

a medição da umidade empregando a URSI pode levar a falsas interpretações quanto ao estado real da isolação sólida.

Outro método comumente utilizado é o de forma indireta, trata-se da coleta de amostras de óleo para verificação. A maior vantagem deste ensaio, é que transformador em funcionamento não necessite de interrupção, logo não interferem no funcionamento do equipamento. Já o seu maior problema é que a amostra retirada de óleo pode não representar a correta situação que se encontra na isolação sólida. Sendo difícil encontrar uma condição de equilíbrio entre óleo-papel, considerando a característica do papel em absorver água, cerca de 800 vezes mais que o óleo (ANTONNELI, 2013; ASSUNÇÃO, 2007 e SILVA, 2008).

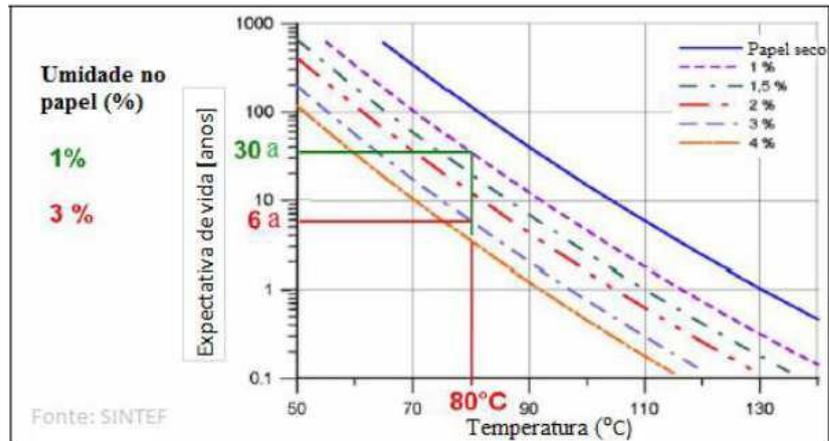
Segundo Milasch (1984), o método comumente chamado de Teste Reação de Karl Fischer que mede o teor de água no óleo, consiste na oxidação do dióxido de enxofre pelo iodo em presença de água.

7. SECAGEM DA ISOLAÇÃO

Referente ao manual Cigré (2013), a celulose quando exposta a altas temperaturas quebram suas cadeias moleculares, sendo este um material polimérico natural. A degradação da isolação solida é acelerada na presença do oxigênio, ácidos pela deterioração do óleo e pela umidade. Aumentando em torno de 1% o índice de agua presente no papel tem-se um efeito considerado no aumento da temperatura entre 6-8° C, pois dobra a taxa de despolimerização. O papel no estado envelhecido se torna propriamente frágil e perde sua qualidade inerente elástica, podendo em caso de curto-circuito ou impacto ocorrido no transporte, a isolação possa romper, assim causando falha dielétrica.

A figura 7 explana como o escoamento da umidade do isolamento pode aumentar a expectativa de vida útil do transformador, dessa forma, gerando benefícios financeiros. Veja como exemplo, reduzindo o percentual de umidade no papel, de 3% para 1%, estendendo sua vida útil em aproximadamente 20 anos.

Figura 7: Influência da temperatura e umidade na expectativa de vida

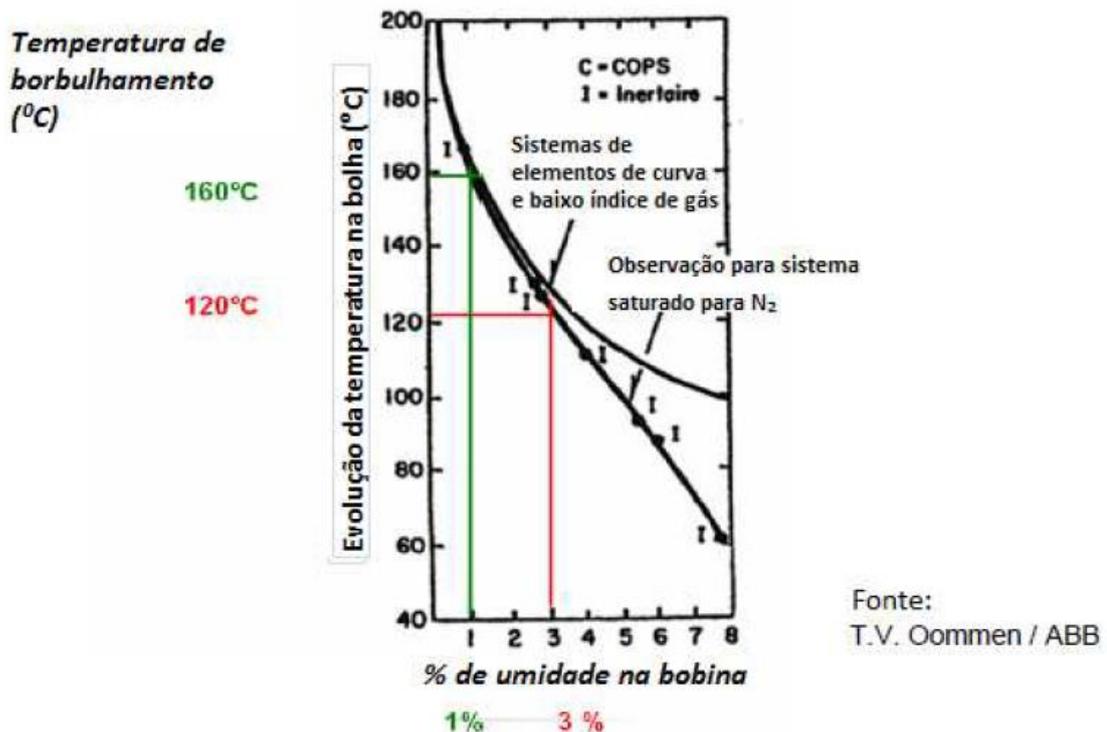


Fonte: (CIGRÉ, 2013)

A umidade no óleo, em particular quando agregada com partículas, reduz de maneira significativa a sua rigidez dielétrica aumentando a possibilidade de descarga eletroestática, e descarga parcial entre as fibras do papel isolante (CIGRÉ, 2013).

A celulose com alto teor de água abrevia a confiabilidade do transformador promovendo o aumento da formação de bolhas em circunstâncias da sobrecarga ou no aumento rápido na temperatura, ocorrendo carregamento repentino (CIGRÉ, 2013).

Figura 8: Temperatura para formação de bolha em função do teor de umidade na isolação solida



Fonte: (CIGRÉ, 2013)

Para a proceder a secagem do equipamento existem diversos métodos implantados tanto na fabricação quanto manutenção, e todos são sujeitos do tempo, temperatura e em outros casos do nível de vácuo. O processo mais lento é a secagem da parte ativa, sendo necessário, pois tentar acelera-lo pode acarretar um impacto direto no custo e na qualidade (CIGRÉ, 2013; ANTONELLI, 2013).

Os métodos para realização de secagem estão separados em dois tipos: secagem com equipamento em operação e secagem com o equipamento fora de operação.

Outro item de grande relevância é a definição da melhor técnica e custo/benefício a ser utilizado na secagem da parte ativa, se há necessidade da remoção do transformador do sistema, em razão aos altos custos para se retirar o equipamento de operação e com isso influenciar a saúde financeira das concessionárias, e também causando prejuízos em uma possível falha na unidade que assumir a demanda de carga (CIGRÉ, 2013; ANTONELLI, 2013).

7.1 Secagem com equipamento em operação

Neste item, são dois métodos de secagem comumente utilizados em manutenções com equipamento em operação.

7.1.1 Secagem pela circulação de óleo aquecido online

Para esse processo é usada uma máquina para elevar a temperatura do óleo onde tem um recinto onde fica o vácuo, no qual é retirado a umidade trazida nele. Este equipamento é ligado no transformador, assim retirando a umidade, os gases desfeitos além de efetuar filtragem para a extração de partículas.

No momento em que o equipamento se encontra energizando temos que tomar o máximo de cuidado possível com a vazão do óleo que circula, de tal forma que não gere um fluxo reverso no relé de gás Buchholz. Segundo Cigré (2013) é recomendado que a vazão não seja superior a 10% do volume do transformador. Essa vazão gera poucos movimentos que está dentro do motor, desse modo não são geradas bolhas no transformador.

Quando aquecemos o óleo a 60°C a umidade de isolamento sólido migra para o óleo isolante, isso serve para remover a umidade do papel que estava impregnada. Quanto mais você diminuir a volume de umidade no papel também diminuirá a

umidade que contem no óleo. O volume da agua que será retirada do papel isolante, irá variar juntamente com a temperatura.

O óleo não pode exceder a temperatura de 60°, pois a partir daí ele irá começar a se deteriorar (ABNT NBR 15422).

O período de fluxo em um transformador por circulação de óleo aquecido é variável e depende da massa do papel, teor de água e volume. Segundo Milasch (1984), o tempo varia entre 1 a 3 meses.

O processo tem a vantagem de ser realizada em campo com o equipamento em operação, esse processo tem um valor de operação não muito caro. Viabiliza a filtragem de partículas flutuantes no óleo, progredindo os aspectos de isolação no meio. Tem altos custos seus equipamentos.

Porém, remover os gases que possam estar presentes no óleo pode ocultar um problema que esteja se evoluindo durante o tempo de secagem, de exemplo descargas parciais.

7.1.2 Secagem por filtro absorvente

A utilização de um sistema de filtragem envolvendo elementos filtrantes do tipo cartucho, com possível tratamento energizado, logo, o sistema de filtragem prove de dispositivos para a realização da circulação do óleo de forma segura. Permite a substituição dos filtros do tipo cartucho sem tocar na operação normal do transformador.

Nesse método usamos um cartucho de filtro absorvente que é conectado no registro no inferior do transformador, que também é conectado a uma bomba de óleo para que haja a circulação pelo cartucho de filtro. Esse não interfere nos gases, ele apenas filtra a água do liquido isolante.

Figura 9: Cartuchos de Filtro Velcon Superdri



Fonte: (NUNES JR, JAYME L, 1994)

Da mesma forma que o procedimento por fluxo de óleo aquecido, a utilização de filtros para secagem tem uma baixa vazão para que se evite agitação exagerada no óleo isolante, impedindo o mesmo na parte ativa do transformador. No processo há o dever dê-se inspecionar a umidade em meio ao óleo, antes e depois da passagem do filtro para examinar a perda de umidade, quando os indícios não apresentarem mudança, logo se entende que o filtro saturou.

Os filtros possuem normalmente a capacidade de absorver até 6 litros de umidade, após sua saturação ele não absorve mais umidade do óleo. Desta forma, para continuar o procedimento deverá ocorrer a substituição do filtro.

O período de secagem realizado em um transformador é dependente de sua quantidade de papel, assim como o teor de água e volume de óleo. O tempo pode mudar de 1 a 3 meses, conforme Cigré (2013).

Este método tem um baixo custo de investimento inicial, uma das principais qualidades é que ele encontra qualquer problema em meio ao procedimento de secagem. Outra vantagem é que o processo de secagem é feito enquanto o transformador está energizado. Os filtros têm um custo um pouco alto, fazendo com que esse método tenha um custo alto de aplicação, em casos com grandes teores de umidade.

Outro problema que pode aparecer é com a quantidade de umidade final, que é em maior índice comparado com o método acima. Acontece devido o óleo estar atuando em um grau de temperatura mais baixo, cerca de 60°C, assim uma pequena porcentagem da umidade contida na parte interna será passada da celulose ao líquido.

7.2 Secagem com o equipamento fora de operação

Neste item, são dois métodos de secagem comumente utilizados quando o equipamento está fora de operação.

7.2.1 Secagem por vácuo

Este método se fundamenta na redução da propriedade física da temperatura de vapor d'água pela redução da pressão. Considerado muito eficiente, rápida implantação e baixo custo econômico, logo, cotejado a outros métodos.

Anterior ao início do processo verifica-se as características do transformador e seus componentes para suportarem o preenchimento a vácuo em seu interior.

Consiste em interligar o transformador à um conjunto de alto vácuo, composto por bomba mecânica e junto a uma bomba Buster. Aplicado em transformadores com baixo índice de umidade, menor que 2,5% (CIGRÉ, 2013).

Neste processo trabalha-se com a redução da pressão incorporada no tanque do transformador, diminuindo a temperatura de ebulição do fluido aquoso. Ao se atingir o preenchimento a vácuo, a pressão incorporada no tanque será menor do que a pressão de vapor de água, deste modo a temperatura de evaporação da água se faz menor que a inicial do ambiente (ANTONELLI, 2013). Conforme Cigré (2013), quanto maior for a pressão de vapor (vácuo), menor será sua temperatura para que ocorra o início da ebulição. Assim, o líquido entrará em ebulição quando a pressão do meio atinge sua pressão de vapor, que dizer, sua temperatura de ebulição.

A tabela 2 revela como a oscilação da pressão muda a temperatura do vapor da água

O intervalo de utilização do vácuo é alterável, dependendo de aspectos como seu teor contido de água e volume a ser feito vácuo no transformador, sendo natural demorar de 1 a 3 dias, depois deste ciclo, inicia-se a pressurização do transformador com gás seco, pressurizado à 0,2 kg/cm², é deixar em repouso por um dia. Em seguida, realiza o ensaio de URSI para verificação, porém, se o quadro não for adequado realiza-se novamente o processo, ou opta-se por um outro método caso este não esteja sendo apropriado (CIGRÉ, 2013).

Com propriedade não menos importante o vácuo também é um esplêndido isolante térmico, logo a temperatura ambiente e a inicial do processo não mudarão mesmo após a aplicabilidade do método de vácuo. Logo, estas temperaturas devem ser acatadas devido à importância para uma secagem eficiente, sendo elas que estabelecerão qual o nível de vácuo que deverá ser alcançado (ANTONELLI, 2013; CIGRÉ, 2013).

O esquema a seguir exhibe a correlação da pressão com a temperatura de evaporação da água para seguintes valores de pressão:

Tabela 2: Correlação da pressão com a temperatura de evaporação da água

Pressão Absoluta (Bar)	Pressão Relativa (mBar)	Temperatura de Vapor (°C)
0,01	10	6,7
0,015	15	12,7
0,02	20	17,2
0,025	25	20,8
0,03	30	23,8
0,04	40	28,6
0,05	50	32,5
0,06	60	35,8
0,08	80	41,2
0,10	100	45,4
0,12	112	49,1
0,15	115	53,6
0,20	200	59,7
0,25	250	64,6
0,30	300	68,7
0,35	350	72,2
0,40	400	75,4
0,50	500	80,9
0,60	600	85,5
0,70	700	89,5
0,80	800	92,9
0,90	900	96,2
1,00	1.000	99,1

Fonte: (CIGRÉ, 2013)

Este método está com grande aceitação devido sua eficiência em remoção de umidade incorporada nos transformadores após sua abertura para manutenção, removendo os baixos teores de umidade admitidos no sistema. Fato é que se trata de um método não barato mais menos custoso e com resultados significantes (ANTONELLI, 2013).

7.2.2 Secagem pela circulação de óleo quente a vácuo

Este método é considerado de ótima eficiência, com simples execução onde o valor da umidade impregnada na parte ativa esteja em alto índice, quer dizer, com

URSI superior a 2,5% em transformadores em operação e 1,5% para os de fábrica (CIGRÉ, 2013).

É realizado o aquecimento e estimulação da parte ativa através do líquido isolante, e assim oferecer a melhor circunstância de remoção da umidade para se aplicar a secagem por alto vácuo. O vácuo permite a redução da pressão facilitando a retirada da umidade, funciona como isolante térmico e reduz as perdas por dispersão de calor.

O método inicia-se com o preenchimento do transformador com óleo, até que seja submerso toda a parte ativa, o volume normalmente atinge 70% a 80% do espaço interno do transformador. Com maior aproveitamento é realizado o fechamento das válvulas dos radiadores, para que não ocorra a transição de calor entre o meio. Logo, se inicia a passagem de fluxo de óleo, com saída da torneira (registro) inferior circulando pela máquina de tratamento e regressando ao transformador através do registro na parte superior do tanque.

Na passagem de fluxo do óleo, a temperatura limite máxima a ser utilizada pela máquina de tratamento para que não haja a degradação do material deve ser de 60°C (+/- 5°C) caso aplicado na câmara com vácuo, e até 80°C (+/- 5°C) sem vácuo na câmara. Supondo que o óleo será utilizado posterior à secagem para cobrir completamente o transformador (CIGRÉ,2013; ANTONELLI, 2013).

Em caso em que o teor de água esteja bastante elevado, é capaz de aquecer ainda mais o óleo a temperaturas superiores a 80° C, assim elevando a temperatura da parte ativa, porém a essa proporção o óleo não poderá ser mais utilizado como meio isolante para preenchimento do transformador devido a deterioração do mesmo (ANTONELLI, 2013).

Após realizado o processo de aquecimento fica-se no aguardo da estabilidade termina, isto é, quando a temperatura de entrada e saída se tornam valores constantes. Depois de atingido o equilíbrio térmico, é deixado ainda por 24 horas sobe a circulação do óleo quente, para que haja aquecimento total do transformador. Depois o óleo é retirado do transformador através de bomba de vazão e rapidamente aplica-se vácuo, para que não ocorra perda térmica do mesmo. O período recomendado sobre vácuo é de 1 a 3 dias, em conformidade do teor de água inicial e o volume do transformador. Depois da aplicação do vácuo, todo o processo é o mesmo do método por alto vácuo (ANTONELLI, 2013; MILASCH, 1984; CIGRÉ, 2013).

Segundo Milasch (1984), o meio de secagem por fluxo de óleo quente possui

idênticas particularidades do método por alto vácuo, mas, acrescenta o benefício de que a temperatura do transformador manter-se constante e não intervém no resultado final da secagem, e por ser mais eficiente é recomendado para maiores teores de umidade.

8. MÉTODOS EMPREGADOS NA EMPRESA

Após expor os métodos conhecidos pela empresa (MCruz) objeto de estudo, neste capítulo abordaremos os que estão em utilização para secagem do equipamento de transformação. Trata-se de dois métodos que estão sendo empregados na secagem de transformadores: o primeiro, alto vácuo e o segundo, circulação de óleo aquecido off-line.

Ressalta-se que a eficácia da secagem com maiores índices de umidade removidos nestes dois métodos é diretamente ligada ao rendimento e eficiência de vácuo aplicado pela bomba dentro do tanque, logo, nas isolações. O vácuo aplicado com eficiência leva em consideração três principais requisitos: volume, onde será feito a pressão; a potência da bomba em executar o vácuo; estanqueidade das vedações e chapas.

O equipamento de vácuo conta com a participação de duas máquinas, a bomba mecânica com vazão de 2600m³/h, e outra bomba Buster com saída de 250 m³/h. As duas foram projetadas para serem utilizadas em conjuntos, quando acopladas aumentam a velocidade de bombeamento em pressões de trabalho e reduzem significativamente o tempo de bombeamento.

Outro instrumento usado na secagem por vácuo é o medidor vacuômetro este é conectado à parte superior.

Enfim, é relatada a redução da produtividade de vácuo ocorrida a cargo de pequenos vazamentos entre chapas e má vedação. Estas partes do transformador estão sempre sujeitas a intempéries, e essas mudanças ao decorrer do tempo desgastam as peças, que nas partes de vedação é feita de borracha, conhecida como anel de vedação O-Ring. A putrefação da borracha à torna fraca e delicada, e fácil acesso de ar por estas quebradiças formadas.

8.1 Sugestão de melhoria no método alto vácuo

A sugestão de melhoria na aplicação do método de alto vácuo embasa-se em

três itens: iniciar a aplicação de vácuo no momento em que a temperatura interna do Trafo estiver em seu ponto mais elevado; realizar o acompanhamento periódico regular do ponto de vácuo e da temperatura do transformador ao longo do andamento da secagem; tubo com diâmetro que favoreça a aplicação de vácuo.

A orientação em instruir o processo de aplicação de vácuo no momento mais caloroso do dia, dá-se ao excelente desempenho da isolação térmica, logo, a temperatura no interior do tanque será à temperatura que dará início ao vácuo e a secagem da umidade, aumentando em grande escala a eficácia do método.

Outra forma de controle sobre a eficiência do método está no acompanhamento dos níveis de temperatura e vácuo aplicado. Por tanto, é indispensável aferir a pressão de vácuo no período de secagem, assim como, sua temperatura.

A análise da temperatura e da pressão, juntamente com o resultado obtidos da URSI, auxiliam na definição do processo de secagem apropriado para cada transformador, como também comprova a incompetência do método caso a pressão na parte ativa e a temperatura não ocorram de forma suficiente para a secagem.

O terceiro item trata-se do diâmetro do duto que realiza o vácuo, condutores com diâmetro pequenos, menores que quatro polegadas, foi constatado que a secagem decai em eficiência, mesmo em casos que a pressão atinja valores baixos. A melhoria proposta é a utilização de duto de 4 polegadas para potencializar sua eficiência.

8.2 Sugestão de melhoria no método circulação de óleo quente

Vale frisar que o método a seguir é processado com o equipamento off-line. Dado que o óleo é estimulado a $\pm 60^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 80^{\circ}\text{C}$, logo a temperatura já está propícia ao início do nosso segundo processo, permitindo que a secagem seja realizada da melhor forma possível, com o índice de pressão de vácuo superior.

De início, as primeiras sugestões se referem as citadas no tópico anterior, como: controle periódico da realização do vácuo, temperatura interna e diâmetro do duto que movimentará o vácuo ao transformador.

A atuação de fluxo de óleo tem evidente vantagem do método por Alto Vácuo por ter mais proveito do tempo em secagem. Exemplo: caso a parte ativa fosse aquecida a 70°C pela máquina, o início de secagem útil se daria no momento em que a pressão de vácuo fosse menor que 300 milibares, conforme a tabela 2.

Outra sugestão de melhoria, seria a utilização de um coadjuvante que

trabalharia em auxílio ao de fluxo de óleo quente, seria o método de aquecimento dos enrolamentos por corrente com baixa frequência. Com temperatura limite de $\pm 80^{\circ}\text{C}$ para óleo com fins reutilizáveis e até $\pm 110^{\circ}\text{C}$ em óleo não reutilizado, há o cuidado de não ultrapassar estas margens para não deteriorar a celulose, mantendo as características esperadas de isolamento e refrigeração.

Em temperaturas excedentes a 100°C , pode ser realizada a secagem sob pressão atmosférica. Porém, a eficiência do modo de vácuo é bem maior com a ampliação da diferença entre a temperatura de inicial interna no tanque transformador e a temperatura que ocorre a ebulição.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho concentrou-se nos métodos conhecidos para a execução da secagem de umidade contida nas isolações em transformadores de potência responsáveis pela transmissão de energia elétrica, seguidamente, a abordagem de dois métodos utilizados na MCruz Manutenção e Montagens Elétricas.

Inicialmente, foi realizado a aprendizagem a respeito de transformadores, funcionamento, partes e manutenção. Todo este processo com propósito de compreender a relevância da secagem em transformadores diagnosticados com proporção de umidade.

Posteriormente, foi levantado o estudo específico sobre umidade, problemas decorrentes de excedentes de umidade na parte de dentro do tanque, compreendendo as formas de acesso, possíveis problemas relacionados a umidade e maneiras de constatar a presença de teor de água na parte interna do tanque do transformador.

De modo que o conteúdo de introdução desenvolvido, iniciou-se o estudo das metodologias aplicadas na empresa para enxugar a água impregnada nos isolantes do transformador de potência.

Finalmente, foi explanado os dois métodos de secagem que estão sendo utilizados na empresa de forma a sugerir possíveis vantagens.

Concluiu-se que ambos os procedimentos são benéficos, sendo que, o por alto vácuo aplicado em transformadores mais novos com pouca quantidade de umidade, e o de fluxo de óleo off-line em transformadores mais antigos e com maior quantidade de umidade. Em termos de eficiência e tempo válido de secagem, o método de circulação de óleo aquecido foi o mais comprovado.

Pela observação dos aspectos analisados foi sugerida melhorias para reduzir

possíveis manutenções em transformadores, minimizar as perdas da concessionária devido manutenção, e conseqüentemente reduzir prejuízos de receita devida à ausência do sistema.

10.REFERÊNCIAS

ABNT. – **Transformadores para Redes Aéreas de Distribuição**. ABNT NBR 5440; Rio de Janeiro, 1999.

ABNT. – **Transformadores de potência Parte 11: Transformadores do tipo seco – Especificação**. ABNT NBR 5356; Rio de Janeiro, 2016.

ABNT. – **Bobinas e chapas finas a quente de aço-carbono para uso estrutural — Especificação**, ABNT NBR 6650; Rio de Janeiro, 2014.

ABNT. – **Bobinas e chapas finas a frio e a quente de aço-carbono e de aço de alta resistência e baixa liga — Requisitos gerais**, ABNT NBR 6663; 2015 corrigida: Rio de Janeiro ,2018.

ABNT – **Óleo Vegetal Isolante Para Equipamentos Elétricos**. ABNT NBR 15422, Rio de Janeiro, 2006.

ANTONELLI, Gustavo. – **Análise de Métodos de Secagem de Transformadores de Potência**. SP – São Carlos, 2013.

ANTUNES, Harison; BRITO, Mikely. – **Comissionamento de transformadores de força: do projeto à entrada em operação**. Vitoria, 2010. 17 p, item d.

ASSUNÇÃO, T. C. – **Contribuição à Modelagem e Análise do Envelhecimento de Transformadores de Potência**, UFMG – Tese Doutorado, São João Del-Rei – MG, 2007.

BECHARA, R. – **Análise de Falhas de Transformadores de Potência**, São Paulo – SP, 2010. 102 p.

CIGRÉ – **Guia De Manutenção Para Transformadores De Potência**, Equipe De Trabalho A2.05. CIGRÉ Brasil, 2013.

FABRE, J., PICHON, A. – **Deteriorating Processes And Products Of Paper In Oil. Application To Transformers**, CIGRE Paper 137.

FILHO, J. M. – **Manual de equipamentos elétricos - 3. ed.** - Rio de Janeiro: LTC, 2005.

LAMPE, W., CARRANDER, K., SPICAR, E. – **Continuous Purification And Supervision Of Transformer Insulation System In Service**. IEEE Winter Point Meeting, IEEE Paper A 78 111-7.

MILASCH, Milan. – **Manutenção de Transformadores Em Líquido Isolante: (SUBSTITUIÇÃO)**. São Paulo: Blucher, 1984. 354 p. ISBN 978-85-212-0140-3.

Nunes Jr, Jayme L. – **O Óleo Isolante do Ponto de Vista Químico - IV SEMEL – Seminário de Materiais do Setor Elétrico Curitiba, 1994.**

SILVA, J. – **Otimização Do Processo De Secagem *Hot Oil Spray* Em Componentes De Transformadores E Contribuição No Processo De Produção**. Mestrado Integrado Em Engenharia Mecânica. Porto – Portugal, 2008.

SOKOLOV, V; MAK, J; FILHO, A. B. – **Estudo sobre a influência da umidade na possibilidade de falhas de transformadores**. São Paulo – SP, 2000.

Souza, D. C. – **Falhas e defeitos ocorridos em transformadores de potência do sistema elétrico da Celg, nos últimos 28 anos: um estudo de caso**, UFG Goiânia – GO, 2008.

VASCONCELLO, V. – **Compactação e Elevação da Vida Útil de Transformadores de Distribuição Empregando Óleo Vegetal Isolante**. São Paulo – SP, 2016

WEG. – **Características Especificações De Transformadores De Distribuição E Força**. Informações Técnicas DT11. 115p. 2013.