

ESTUDO DE CASO DOS ENSAIOS E MANUTENÇÕES EM TRANSFORMADORES DE FORÇA DA EMPRESA NOP ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A.

Nelson Victor Viana Nobre

Graduando em Engenharia elétrica,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Oswaldo Massaiuki Kokura Junior

Graduando em Engenharia elétrica,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Paulo Rogério Capucci

Graduando em Engenharia elétrica,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Jair Antônio Longo Júnior

Mestre em Engenharia Elétrica – UNESP;
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

RESUMO

Nas subestações de energia elétrica os equipamentos que se tem o maior custo são os transformadores de força. Estes, não podem ter seu funcionamento interrompido, e por esta razão, se faz necessário o desenvolvimento de um conjunto de ações com a finalidade de avaliar seus componentes separadamente. Estas ações são conhecidas como ensaios. As normas regulamentadoras nacionais e internacionais não definem a periodicidade para a realização destes ensaios, implicando com que, em alguns casos, estes ensaios são realizados prematuramente, e em outros casos sejam tardiamente. Neste artigo, foram estudados relatórios de ensaios em transformadores utilizados pela concessionária de energia elétrica atuante em nossa região, montando uma diretriz para indicar quais componentes causam mais problemas, e a média de tempo que cada um destes componentes tende a se danificar. Desta forma é possível determinar a ordem em que deve ser realizado cada tipo de ensaio. Atualmente as empresas executam ensaios de todos os componentes do transformador, incluindo aqueles que não tendem a se danificar com frequência, o que provoca uma elevação de custos. Determinando-se a periodicidade necessária, se é possível definir os componentes que devem ser ensaiados semestralmente, anualmente ou em períodos maiores de tempo, além de identificar os componentes de baixo custo que não tem a necessidade de serem ensaiados e sim substituídos. Desta forma faz possível otimizar os ensaios e reduzir seus custos.

PALAVRAS-CHAVE: custo-benefício; ensaios; manutenção; transformadores.

1 INTRODUÇÃO

De um modo geral, os transformadores são equipamentos que tem por função transformar um determinado nível de tensão em outro pré-determinado nível de tensão, sem alterar diretamente a potência da saída em relação à entrada, estes

estão presentes em todos os lugares, desde os pequenos como os usados em residências quanto aos de grande porte utilizados em subestações e usinas geradoras de energia elétrica que neste caso, chamados de transformadores de força (trafo). Como dito por Fitzgerald e Kingsley:

Mesmo não sendo um dispositivo eletromecânico, o transformador é um componente comum e indispensável de sistemas CA onde é usado para transformar tensões, correntes e impedâncias em níveis apropriados permitindo uma utilização otimizada (FITZGERALD; KINGGSLEY, 2014, p. 111).

Os “trafos” são utilizados principalmente para viabilizar a transmissão de energia em grandes distâncias com segurança, neste caso o transformador ou subestação existente nas hidrelétricas e têm a função de elevar o nível da tensão de saída e reduzir o nível de corrente, para possibilitar que a energia produzida percorra a linha desejada com o mínimo de perda possível nos condutores, o que torna a distribuição de energia economicamente viável. Nos pontos de chegada destes “linhões” de energia, (normalmente as cidades), novamente em subestações, são utilizados transformadores de forma diferente da inicial, nessas subestações o nível de tensão é reduzido e a corrente elevada, mantendo-se a potência inicial praticamente inalterada, e após esta segunda conversão a energia elétrica segue para seu destino final de uso, seja ele residencial, comercial ou industrial.

Dada a importância deste tipo de equipamento, que possui alto custo e valor agregado e é de fundamental importância para a distribuição de energia, uma das principais ações para manter este sistema funcionando adequadamente é a manutenção, preventiva, corretiva e periódica. Estes tipos de manutenção impactam diretamente na rentabilidade econômica do sistema elétrico, pois tendem a melhorar o desempenho e ampliar a vida útil dos equipamentos, postergando gastos com peças e até mesmo com a substituição completa de um transformador.

A realização de manutenções em um transformador, independente do motivo da ação, era sempre acompanhada por longos períodos de desligamentos, que mesmo sendo programados acabavam gerando transtornos e desconfortos aos usuários da rede em análise. Os desligamentos eram necessários para, dentre outros objetivos, a realização de ensaios com foco em avaliar o estado geral dos transformadores e de suas peças e sistema isolante, com a intenção de se evitar ou prever possíveis falhas no curto, médio e longo prazo.

Com a evolução das tecnologias e treinamentos de equipes, não se faz mais necessário o desligamento do transformador para alguns tipos de manutenção preventiva ou preditiva, como por exemplo: análise de gases dissolvidos em óleo, análises físico-químicas, termovisão, detecção de descargas parciais (pelo método de emissão acústica), entre outras. Tal desligamento ocorrerá apenas em casos específicos, quando detectado risco a segurança da rede elétrica, operadores ou usuários. Os ensaios são usados para garantir seu perfeito funcionamento, onde algumas ações desenvolvidas com a finalidade de avaliar determinada característica do componente, equipamento ou instalação, mediante a interpretação dos resultados obtidos se consegue saber qual o reparo se faz necessário.

Como citado na norma técnica emitido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL):

Para transformadores e autotransformadores, em geral, os fabricantes indicam a necessidade de realização da manutenção preventiva periódica a cada três anos. Do mesmo modo, a norma NBR 7037/1993, vigente até outubro de 2012, também indicava a necessidade desta manutenção a cada três anos. Entretanto, as periodicidades adotadas pelas empresas pesquisadas variam de 36 (trinta e seis) a noventa meses, com predominância da periodicidade de 72 (setenta e dois) meses, a qual é adotada por cinco de nove empresas (55%) que realizam este tipo de manutenção (ANEEL, 2013, p. 8).

Algumas empresas ainda não aplicam um programa eficiente na manutenção dos trafos. Existindo os dois extremos, onde algumas não lhes dão a devida importância e deixam os equipamentos à deriva, sem executar manutenções que são de suma importância para a sua vida útil. Mais também se observa as que investem mais do que precisam, com ensaios que por sua vez acabam sendo desnecessários e se tratando de um equipamento com um valor relativamente alto todas as manobras tem que ser precisas quanto a sua necessidade. Nenhum dos dois lados em excesso acaba sendo bom quando se entra no quesito custo-benefício.

Diante desta oportunidade, observa-se a necessidade de montar um cronograma básico, porém eficiente para manutenção de transformadores de força, o mesmo tem como intenção promover o funcionamento do equipamento, garantir qualidade no funcionamento, segurança na rede e minimizar os custos ao máximo.

2 OBJETIVOS

O estudo apresentado tem como objetivo montar um plano de manutenção para Transformadores de Força, servindo de apoio às empresas que utilizem de tal equipamento, com o intuito de minimizar gastos com manutenções e ensaios, aplicando-os assim apenas quando se fizerem necessárias. A intenção desse material é analisar laudos de manutenção e ensaios em um transformador de força, realizados pela empresa de distribuição NOP Eletricidade e Serviços SA, criando um plano de manutenção que respeite o funcionamento do trafo e também do plano mínimo de manutenção em transformadores emitido pela ANELL.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração do estudo de caso foi utilizado laudos técnicos de campo, emitidos em manutenções periódicas realizadas pela concessionária de energia NOP Eletricidade e Serviços S.A. Os laudos utilizados foram da subestação de energia, localizada na cidade de Andradina-SP, entre os anos 2004-2017, sendo eles, inspeções de rotinas, ensaios de rotina citados a baixo e como também manutenções quando necessário. A empresa demonstrou êxito em sua metodologia de manutenção, demonstram efetividade e qualidade, mantendo uma subestação de médio porte em perfeito funcionamento pelo período avaliado.

A subestação no período avaliado, fazia uso de um transformador de força da fabricante WAG, modelo 30.061.903, com potência de 20 MVA, uma relação de tensão de 138 Kv para 13,8 Kv, com fechamento estrela-estrela. Um ponto importante em salientar, é que no ano de 2004, este mesmo transformador passou por um processo de reformas e melhorias em seus componentes, tendo o primeiro laudo avaliado sendo o de seu religamento, com isso foi utilizado os resultados dessa primeira avaliação como base, para as seguintes, a fim de identificar desgastes nos anos que assim se sucederam.

Nos laudos avaliados conseguiu-se constatar um padrão adotado pela empresa em suas manutenções, sendo eles: (1) inspeções visuais (um processamento muito importante que pode garantir e prolongar a vida útil de um transformador, um processo simples comparado aos ensaios, no entanto pode

identificar um possível problema que programado e resolvido pode garantir um bom funcionamento do equipamento); (2) ensaios de óleo isolante (o óleo isolante no transformador tem como principais funções resfriar os componentes internos e garantir um isolamento elétrico no interior do transformador). Como Messias cita em seu guia prático “O controle do óleo mineral isolante é de fundamental importância para manter os equipamentos elétricos em perfeitas condições de funcionamento durante a sua vida útil.” (MESSIAS, 2006, p. 11). Este ensaio tem como principal função acompanhar a qualidade do óleo isolante do transformador que com tempo sofre transformações conforme sua usabilidade; (3) ensaios de fator de potência (a intenção principal destes ensaios é de verificar a isolação do núcleo do transformador em função de sua carcaça, e demonstrando tanto a condição de proteção do equipamento como a qualidade em seu funcionamento); (4) ensaios de fator de potência e capacitância em bucha com derivação de ensaio (a finalidade do ensaio em questão é de verificar a qualidade das buchas do transformador, e garantir a proteção do mesmo, para que não ocorra curtos-circuitos ou queda na qualidade da energia fornecida); (5) ensaios de resistência de isolamento entre a derivação de ensaio (TAP capacitivo) e o flange (os ensaios de resistência de isolamento, são o responsável para saber se a mal contato nas partes internas de comutação do transformador que possa prejudicar seu funcionamento) e (6) ensaios de resistência ôhmica dos enrolamentos (os ensaios de resistência ôhmica dos enrolamentos são efetuados para constatar todos os tipos de mal contatos, sendo eles em suas conexões, soldas, falta de aperto nos terminais entre outros, que possam ser ocasionados com o tempo de uso do transformador).

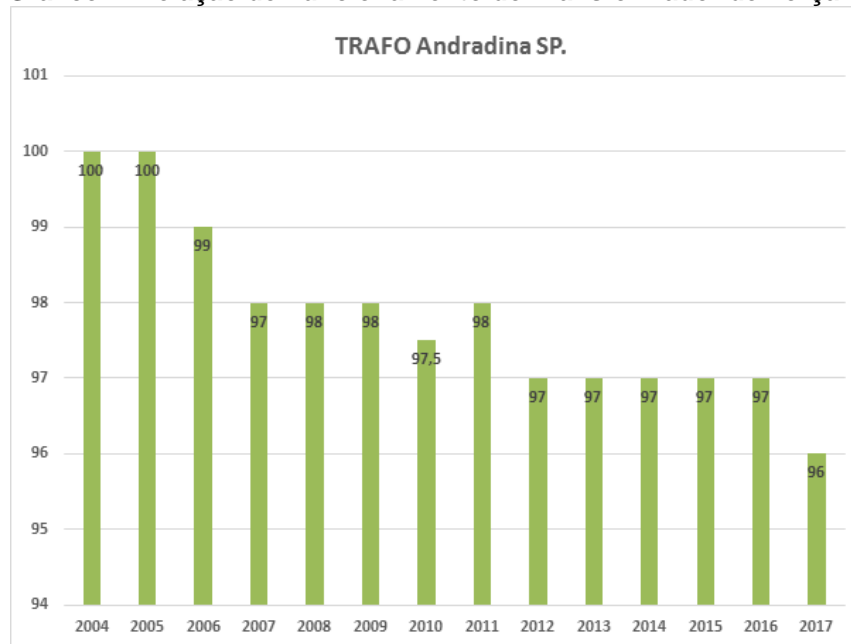
Importante lembrar que o plano de manutenção montado respeita a norma para manutenção em transformadores, emitido pela ANEEL. O Plano Mínimo de Manutenção que definem as atividades mínimas e suas periodicidades aceitáveis para os equipamentos e linhas de transmissão (ANEEL, 2013, p. 1).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados dos laudos avaliados, pôde-se montar o gráfico 1, onde mostra uma relação geral de funcionamento do transformador avaliado, levando em consideração qualidade de funcionamento, capacidade de transformação, desgastes de componentes e segurança tanto pra rede alimentada

quando para o operador que precise efetuar alguma manobra. Os valores do gráfico podem variar de 0-100% sendo eles 100% excelente, de 80-90% investigar a causa e realizar as manutenções necessárias e abaixo de 80% programar imediatamente o desligamento do transformador e sua substituição.

Gráfico 1. Relação de Funcionamento do Transformador de Força



Fonte: Elaborado pelos autores.

Durante esse capítulo foi apresentado o plano de manutenção desenvolvido para inspeção, ensaios e manutenções em transformadores de força, com base nos laudos avaliados da subestação citada no tópico anterior.

As inspeções visuais foram realizados a cada 6 meses, sendo que a empresa avaliada segue as mesmas especificações orientadas pela montadora de transformadores ABB Inc. Nesses momentos, o estado geral dos seguintes devem ser observados: (a) buchas de alta tensão; (b) buchas de baixa tensão; (c) *arresters* (se fornecido); (d) integridade do invólucro (dobradiças, dispositivos de travamento, corrosão, etc.); (e) evidência de vazamento de óleo; (f) conexões de aterramento; (g) acessórios e (h) rótulos de segurança (*Instructions for Secondary Unit Substation Transformers, Three Phase - ILUJ00004, ABB INC. p. 7*).

Deve-se também acompanhar os dispositivos de medição integrados no equipamento e seus painéis de informação. Essas inspeções visuais são de suma importância para a vida útil do transformador e para a qualidade de energia. Estas podem prevenir algumas manobras emergenciais e programar futuras manutenções.

A periodicidade e os tipos de manutenções/ensaios foram realizados atendendo as seguintes condições: (i) ensaios elétricos apenas e (ii) manutenção no comutador de tensão e ensaios elétricos.

Antes das manutenções/ensaios se faz necessário uma inspeção no equipamento, verificando a necessidade de sanar avarias de vazamentos de óleo ou tratamento anticorrosivo. Em caso de necessidade de lavagem do transformador, foi se utilizado o kit ambiental conforme ABNT NBR ISSO 14001 Sistema de Gestão Ambiental, para conter a dispersão de resíduos.

O primeiro ensaio avaliado e constatado com uma frequência demasiadamente maior é “ensaios de óleo isolante”.

A Tabela 1 apresenta uma relação feita pra o ensaio de óleo isolante, levando em consideração se o transformador avaliado era com comutador e as bobinas no mesmo tanque ou se as mesmas estavam em tanques separados. O ensaio em questão pôde ser dividido em 3 tipos básicos, porém eficazes.

Tabela 1. Periodicidade para análise do óleo isolante

Tipo de análise	Periodicidade	
	Comutador e bobinas no mesmo tanque	Comutador e bobinas em tanques distintos
Gases dissolvidos – NBR 7070	Não executado	6 meses
Ensaio físico – Químico de rotina	1 ano	1 ano
Teor de composto furâmico – NBR 15349	Não executado	3 anos

Fonte: Elaborado pelos autores.

O segundo modelo de ensaio efetuado foram os ensaios de fator de potência. A periodicidade adotada foi a mesma citada no manual de manutenção em transformadores de força da empresa WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S/A; a cada três anos se deve programar a intervenção do transformador, para que sejam realizados os ensaios em questão. Todas as partes isolantes que compõem o equipamento a ser ensaiado devem estar livres de poeira, umidade, tintas e etc. Realizar o ensaio conforme manual do aparelho, sempre respeitando o nível de isolamento de cada enrolamento, prestar muita atenção quando o equipamento possuir enrolamento terciário, pois o mesmo apresenta, em muitos casos, níveis de isolamento bem inferior aos enrolamentos primários e secundários.

A Tabela 2 indica valores para o ensaio de fator de potência, variando-os de abaixo de 0,5% (ótimo), entre 0,5-1,0% (satisfatório), 1,0-2,0% (investigar) e acima de 2% (investigar). No caso dos valores obtidos indicarem “investigar”, o

transformador deve ser declarado em sinal de alerta e procurar efetuar ensaios mais detalhados para corrigir, porém se o mesmo declarar valores acima de 2%, o transformador está em condições precárias de isolamento interna, programar sua substituição por outro apto para uso. Os valores utilizados na Tabela 2 são os utilizados pela empresa como também são valores adotados como base para todos os trafos de uma forma geral.

Tabela 2. Relação dos ensaios de fator de potência.

F.P. a 20 °C	CONDIÇÕES DE ISOLAMENTO
< 0,5%	ÓTIMO
0,5-1,0%	SATISFATÓRIO
1,0-2,0%	INVESTIGAR/DÚVIDAS
> 2,0%	RECONDICIONAR

Fonte: Elaborado pelos autores.

O terceiro modelo de ensaio avaliado foram os ensaios de fator de potência e capacitância em buchas com derivação de ensaio, onde são programados para a cada 3 anos. Os métodos de ensaios foram conforme manuais específicos de cada aparelho utilizado para a análise, sempre respeitando o nível de isolação da bucha. Podendo se adotar os valores que servirão de orientação para ensaios baseados nos limites estabelecidos pelos fabricantes de equipamentos.

Os valores limites admissíveis no ensaio de fator de potência variam em função do tipo de bucha e da tensão nominal: (i) fator de potência < 1,5% para buchas papel/resina (polimérica) e (ii) fator de potência < 0,7% para buchas papel/óleo (porcelana).

O quarto espécime de ensaio avaliado foram os ensaios de resistência de isolamento entre a derivação de ensaios TAP capacitivo e o flange. A cada três anos se fez necessário programar a intervenção do transformador, para que se fosse realizado o ensaio em questão. Para realização do ensaio, a derivação de ensaio TAP capacitivo teve de ser cuidadosamente limpa e seca a fim de não serem introduzidas interferências nos resultados.

A derivação de ensaio TAP capacitivo teve de ser desaterrada, medindo-se a isolação entre este terminal e o flange com MEGGER 500 vcc somente durante o primeiro minuto. O mesmo ensaio teve de ser executado entre a derivação de potencial e o flange, caso a bucha possuísse esta derivação. O valor máximo em qualquer uma das leituras, não puderam ser inferiores a 5.000 Mega Ohms. Fez-se

necessário efetuar um agrupamento dos resultados, visando criar valores típicos. As variações entre os resultados dos ensaios da mesma bucha não puderam ser significativas, sendo que quedas acentuadas de isolamento podem estar associadas à penetração de umidade.

Por fim, os ensaios de resistência ôhmica dos enrolamentos, estes ensaios são feitos a cada 3 anos, sendo realizado por dois métodos distintos quando se fez necessários, sendo eles: (i) método de queda de tensão e (ii) método ponte de Wheatstone.

Para validação dos valores obtidos, devem-se utilizar os valores de resistência encontrados nos ensaios de recepção em fábrica. Para valores ótimos, não se pode ter variação superior a 5%, como recomendado pelos fabricantes em geral, reforçado que os valores medidos deverão ser convertidos sempre a 75°C.

5 CONCLUSÃO

O estudo de caso apresentado demonstra a importância da realização de ensaios e manutenções preventivas em transformadores de força, uma vez que este tipo de trabalho interfere diretamente na qualidade e continuidade do fornecimento de energia elétrica. A manutenção quando adequadamente realizada evita desligamentos intempestivos, gastos desnecessários e prolonga a vida útil do equipamento.

Mesmo com a existência de várias NBR's que tratam de ensaios e manutenção de transformadores o órgão regulador deixa em aberto a eficácia dessas manutenções, com este estudo foi possível montar um plano ativo de manutenção que atendesse todos os parâmetros necessários para um bom funcionamento.

Concluiu-se então que com apenas cinco ensaios se pode garantir um bom funcionamento de um transformador, reduzindo o tempo e o gasto para a realização de manutenção. Sendo eles: ensaio de óleo isolante, ensaio de fator de potência, ensaio da resistência de isolamento das buchas e ensaio da resistência ôhmica do transformador.

Caso em algum destes cinco tipos de ensaios principais seja verificado qualquer parâmetro fora de uma condição considerada aceitável, se faz

recomendável e necessário outros tipos de ensaios para se detalhar e localizar a possível falha.

REFERÊNCIAS

ABB INC - Instructions for Secondary Unit Substation Transformers 150-3000 KVA, Three Phase - ILUJ00004. Jefferson City, MO. p. 7, jan. 2008.

ANEEL. Plano mínimo de manutenção para transformadores. p. 1 -13, jun. 2013.

ANEEL. NOTA TÉCNICA nº 0236/2013-SFE/ANEEL. Proposta de regulamentação do Plano Mínimo de Manutenção e do monitoramento da manutenção de instalações de transmissão. p.13, dez. 2013.

ELEKTRO Eletricidade e Serviços SA. LAUDO TÉCNICO MANUTENÇÃO E ENSAIOS SE/LT SUBESTAÇÃO ANDRADINA. Andradina SP. ANOS de 2004 a 2017.

ELEKTRO Eletricidade e Serviços SA. ND.33 -Transformadores de Distribuição Especificações. Campinas: Central de Engenharia ELEKTRO Eletricidade e Serviços S.A. Ed. 8º, p. 45, abr. 2017.

ELEKTRO Eletricidade e Serviços SA. OT-PDS-005 Manutenção nos Equipamentos do Sistema Elétricos de Potência – Planejamento de Expansão e Preservação dos Ativos de Distribuição de Energia. Campinas: Central de Engenharia ELEKTRO Eletricidade e Serviços S.A. p. 15, dez. 2017.

ELEKTRO Eletricidade e Serviços SA. OT-PDS-009 Manutenção em Transformadores Monofásicos e Trifásicos e Reguladores de Tensão Trifásicos. Campinas: Central de Engenharia ELEKTRO Eletricidade e Serviços S.A., p. 47, nov. 2017.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JUNIOR, C.; UMANS, S. D. Máquinas elétricas com introdução a eletrônica de potência. Bookman, Ed.6º, p. 111, 2014.

MESSIAS, J. R. – Guia prático de ensaios físicos- químicos na manutenção de transformadores em óleo. São Paulo, Segunda Revisão, p. 11, 2006.

NORMA ABNT NBR BRASILEIRA. Buchas para tensões alternadas superiores a 1 kV, Ed. 2º, p. 5034, out. 2014.

NORMA ABNT NBR IEC NORMA. Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão, p. 73, fev. 2013.

NORMA ABNT NBR ISSO 14001. Sistema de Gestão Ambiental. Ed.3º, p. 53, nov. 2015.

OLIVEIRA, J. O.; Cogo, J. R.; Abreu, J. P. G. Transformadores Teoria e Ensaio. Ed. 4º. São Paulo Sp: Editora Edgard Blucher Ltda, p. 188, 1984.

WEG Equipamentos Elétricos S/A – T&D - Manual de Transformadores a Óleo Instalação e Manutenção. P. 39, dez. 2010.