

Monitoramento e Análise de Transformador de Potência Através de Sensores de Fibra Óptica Instalados Internamente

A. F. Cadilhe, LIGHT e C. J. Dupont, CEPTEL

RESUMO

O projeto LIGHT número 17 (projeto CEPTEL 1510) – “Monitoramento e Análise de Transformador de Potência Através de Sensores de Fibra Óptica Instalados Internamente” – teve por objetivo obter dados para o aprimoramento das técnicas de diagnóstico de transformadores atualmente existentes, em busca de sua maior integração. Para tal, acompanhou-se, durante o projeto, um transformador de 40 MVA da SE Nova Iguaçu, executando-se o monitoramento de algumas variáveis de processo e, ainda, ensaios de campo. Este artigo documenta o final do projeto sob um ponto de vista gerencial. São apresentados seus objetivos, atividades realizadas, citados os documentos gerados, principais resultados, bem como, comentários finais que esclarecem aspectos que devem ser considerados na execução de futuros ensaios.

PALAVRAS-CHAVE

Ensaio, Diagnóstico, Transformador.

I. INTRODUÇÃO

Como parte de sua carteira de projetos de pesquisa ANEEL, a LIGHT realizou em parceria com o CEPTEL, no período entre maio/2000 e dezembro/2002, o projeto número 17 (projeto CEPTEL 1510) – “Monitoramento e Análise de Transformador de Potência Através de Sensores de Fibra Óptica Instalados Internamente”. A partir do monitoramento e acompanhamento de grandezas operativas do transformador com o número de série 500053 da SE Nova Iguaçu, foram disponibilizadas no projeto diversas informações sobre o seu comportamento. Pretendeu-se no projeto obter dados que permitissem avaliar o estado funcional do transformador e o aprimoramento das técnicas de diagnóstico existentes, no sentido de sua maior integração. Adicionalmente, foi feita uma avaliação do transformador na busca por parâmetros que pudessem indicar falhas incipientes e aspectos relativos ao carregamento e estimativa de vida residual.

Este artigo apresenta um resumo de todo o projeto. São apresentados seus objetivos, etapas, ensaios realizados e resultados, bem como, comentários finais que remetem aos aspectos importantes que deveriam ser considerados em uma continuação de pesquisas.

II. OBJETIVOS

Conforme identificados no caderno de projetos Aneel, os objetivos do projeto foram:

- Identificar parâmetros térmicos para modelagem da perda de vida do transformador;
- Determinar a evolução dos teores de 2fal e de gases para aprimoramento das técnicas de diagnóstico;
- Determinar a evolução dos níveis de descargas parciais comparando os métodos acústico e elétrico;
- Aferir a evolução dos teores de umidade comparando técnicas tradicionais com a de tensão de retorno;
- Verificar a resposta em frequência e os valores de impedância terminal;
- Monitorar toda a evolução do comportamento do transformador ao longo do projeto para identificar formas mais aprimoradas de integrar os diversos tipos de diagnósticos;
- Disponibilizar um banco de dados para o monitoramento e a análise de transformadores.

III. TRANSFORMADOR MONITORADO

O transformador objeto de ensaio no projeto 1510 está identificado a seguir:

- Fabricante: TRAFU UNIÃO (TUSA), fabricado em 1977;
- Reformado pela ABB em 1998;
- Número de série: 500053;
- Potência: 40 MVA, trifásico;
- Tensão: 138/13,8 kV, ligação delta/estrela;
- Tipo: Transformador regulador;
- Instalação: Subestação de Nova Iguaçu.

A unidade em questão era originalmente de 20MVA e foi repotencializada pela ABB para 40MVA, entrando novamente em operação em 18/04/1999. Como característica especial, o transformador foi reconstruído com quatro sensores internos de temperatura do enrolamento baseados na tecnologia de fibras ópticas.

IV. ETAPAS DO PROJETO

As atividades desenvolvidas na execução do projeto foram divididas, basicamente, em três etapas:

- **Etapas** 1 - Definição de procedimentos e realização da primeira bateria de ensaios de campo. Nesta etapa foram, ainda, especificados e instalados os equipamentos a

serem utilizados no projeto. A saber: AquaOil, Hydran, 2 unidades remotas, sensor de temperatura ambiente e o sistema de medição de temperatura por imagem térmica. Foi emitido o relatório técnico [1].

- **Etapa 2** - Realização de novos ensaios de campo. Nesta etapa os ensaios foram repetidos dando continuidade na formação de um banco de dados histórico para o transformador. Um terminal de computador (servidor), alocado no CEPEL, foi configurado para acessar os dados do transformador monitorado em tempo real, bem como, para arquivar todos os seus dados históricos de temperaturas e carregamento. Foi emitido o relatório técnico [2].
- **Etapa 3** – A última bateria de ensaios foi realizada. Nesta etapa o banco de dados se completou e as análises finais puderam ser feitas. Foi emitido o relatório técnico [3].

V. DOCUMENTAÇÃO GERADA

Durante o projeto, foram emitidos 3 relatórios técnicos. O primeiro relatório [1] apresentou a motivação do projeto, os objetivos, o transformador monitorado e os resultados da primeira bateria de ensaios. O segundo relatório [2] documentou os resultados dos ensaios realizados na segunda bateria de testes, complementando os apresentados no relatório anterior. O terceiro relatório [3], por sua vez, finalizou o período de captura de dados, com a terceira seqüência de ensaios. Nesse relatório fez-se uma conclusão geral baseada em todos os dados aqüisitados e resultados conseguidos até então. Adicionalmente, uma análise de carregamento, indicando para várias condições de estudo, cargas máximas e máximos períodos admissíveis para aplicação de sobrecargas, também é feita.

VI. RESULTADOS DOS ENSAIOS

Nos itens a seguir, os principais resultados das análises efetuadas sobre os ensaios executados são apresentados.

Teores de Gases: Os resultados das análises indicaram normal deterioração do óleo isolante e da celulose e condições satisfatórias de operação durante o período do projeto. Este diagnóstico foi obtido a partir das análises mensais de gases. Devido a problemas técnicos com sensor Hydran, não foi possível obter dados de gases em regime *on-line*.

Teores de 2-Furfuraldeído (2Fal): As concentrações obtidas foram sempre menores que o limite de resolução dos instrumentos de medição (<0,05 ppm) e compatíveis com o tempo em operação e o carregamento observados para o transformador.

Parâmetros Físico-Químicos: Através do diagnóstico obtido das análises mensais do óleo, os resultados dos parâmetros físico-químicos indicaram valores condizentes com os limites aceitáveis em norma. Devido a problemas técnicos com sensor AquaOil, não foi possível obter dados de umidade no óleo em regime *on-line*.

Determinação de Umidade pelo Método da Tensão de Retorno: Na primeira bateria de ensaios, o espectro de polarização determinado para os enrolamentos de baixa tensão (X1/X2/X3) apresentou-se bastante homogêneo,

sendo bem característico de um transformador novo. Adicionalmente, o nível de umidade medida, relativa a massa do isolamento sólido, também foi compatível com a idade do transformador. Na época, devido a problemas relativos a interferência eletromagnética, não foi possível determinar o espectro de polarização para os enrolamentos de alta tensão (H1/H2/H3). Para os ensaios seguintes, o instrumento de medição de tensão de retorno (RVM) do CEPEL apresentou defeito. Foi enviado para manutenção no exterior, não retornando a tempo para a continuação do projeto. Como o transformador é novo e não houve nenhuma indicação de excesso de umidade no isolamento / óleo a partir da análise físico-química, entende-se que este fato não comprometeu a avaliação do estado do transformador.

Transferência de Tensão entre Terminais Xi-X0 e Hi-Hj (VH/VX): Não foram observadas alterações significativas nos espectros das tensões transferidas e das induzidas, em relação às medições realizadas nas três baterias de ensaios.

Impedâncias Terminais: As impedâncias terminais apresentaram resultados consistentes, com um comportamento indutivo para baixas frequências e capacitivo para altas frequências. Não foram observadas alterações significativas nos espectros das tensões transferidas e das induzidas, em relação às medições realizadas nas três baterias de ensaios.

Descargas Parciais pelo Método Elétrico: Durante todo o projeto foram registradas amplitudes localizadas de descargas parciais da ordem de 3400 a 5000 pC. Assim, mesmo que se tenha dúvida sobre a procedência dessas descargas, pode-se concluir que não há uma evolução de deterioração interna do isolamento do transformador, que possa ser atribuída à ocorrência de descargas internas de elevada amplitude.

Descargas Parciais pelo Método Acústico: Os dois primeiros ensaios realizados não indicaram qualquer evidência de problema interno no transformador. O terceiro ensaio não foi realizado devido a problemas de operacionalização na subestação. Entendeu-se por não mais realizar este ensaio, até o término do projeto, devido às indicações de ausência de problema de descargas parciais no transformador, obtidas com esta e com as demais técnicas. Não houve, assim, comprometimento no diagnóstico do estado da unidade.

Análises de Carregamento: Para acompanhar o desempenho operativo do transformador em regime de carga, as grandezas elétricas tensão e corrente (no secundário do transformador), as temperaturas do ambiente, do óleo, do enrolamento e quatro temperaturas de enrolamentos medidas com sensores ópticos internos foram monitoradas e registradas em intervalos de 15 minutos. Para a medição de temperatura ambiente, um sensor do tipo PT100 (modelo THC 4 da Hytronic, de propriedade da LIGHT) foi especialmente instalado na SE. Para a medição das temperaturas internas via fibra óptica utilizou-se o instrumento REFLEX (da Nortec Fibronic Inc., também de propriedade da LIGHT). As medições *on-line* foram realizadas utilizando-se duas unidades remotas (modelo 7700 ION da Power Measurement Ltd., de propriedade do CEPEL) instaladas no Centro de Controle da SE Nova Iguaçu. Estas unidades

registraram os dados relevantes para o monitoramento do transformador e permitiram que, de um terminal de computador (servidor) alocado no CEPEL, fossem acessados dados em tempo real e arquivados todos os dados históricos obtidos. Na análise dos dados foi utilizado o programa TRAPOT (versão 1.0) desenvolvido pelo CEPEL. Este programa permite o cálculo dos parâmetros térmicos para o modelo de carregamento da norma NBR 5416 a partir dos dados de campo, bem como, a realização de estudos para a determinação de cargas e tempos máximos admissíveis em regime de carregamento constante. Os resultados desses estudos estão documentados no relatório técnico [3].

VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais conclusões, obtidas dos resultados analisados neste relatório, são apresentadas a seguir, sendo uma síntese daquelas documentadas em [1, 2, 3]:

- Os valores de $2f_{al}$ e umidade foram compatíveis com a idade do transformador.
- O estado físico-químico do óleo é compatível com os limites aceitáveis em norma.
- Os indícios da ocorrência de descargas parciais no transformador surgidos a partir da análise dos gases dissolvidos das análises datadas de 21/10/2000 e 24/11/2000 não foram confirmados pelos resultados posteriores.
- Os ensaios de resposta em frequência e impedância terminal, permitiram identificar um padrão de comportamento do transformador sem variações no tempo e com grande repetibilidade entre medições. Isto indica, que não ocorreram deslocamentos significativos nos enrolamentos durante o período do projeto e, que o procedimento adotado para as medições conduz a resultados reproduzíveis. Essa comprovação é importante pois o método de identificação de problemas dessa técnica, baseia-se justamente no acompanhamento da evolução histórica dos resultados.
- Dos resultados do ensaio de descargas parciais pelo método elétrico pode-se concluir, que não há uma evolução de deterioração interna do isolamento do transformador, que possa ser atribuída à ocorrência de descargas internas. Ruídos externos continuam sendo um problema a ser contornado neste tipo de medição, porém, notou-se que o ruído é minimizado quando se utiliza um conjunto de três anéis anticorona instalados nos terminais de alta tensão das buchas.
- O modelo de carregamento utilizado pela NBR 5416 considerando parâmetros típicos necessita de aprimoramentos para que possa representar adequadamente o comportamento térmico do transformador.
- Apesar de não identificarem nenhum problema incipiente no transformador, justificado em parte pelo pouco tempo de operação, os resultados do projeto fornecem subsídios para a continuação das atividades da LIGHT, dotando sua área de engenharia de transformadores com informações para uma melhor execução de ensaios de campo e para uma melhor interpretação de resultados. Par-

ticulamente interessante no projeto, foi a oportunidade de poder-se acompanhar, pela primeira vez, um transformador com sensores ópticos de temperatura instalados no seu interior. Acredita-se que em pouco tempo esta tecnologia terá seu uso ampliado nas empresas do setor e nos fabricantes de transformadores. As medições indicaram que diferenças bastante significativas de temperatura podem ocorrer quando são comparados os dados obtidos atualmente com aqueles provenientes da nova tecnologia. Em casos de transformadores com elevados carregamentos e elevada importância no sistema, justificariam-se os maiores custos da utilização deste tipo de sensor.

VIII. CONTINUAÇÃO DAS PESQUISAS

Recomendam-se as seguintes implementações para futuros ensaios de descargas parciais pelo método elétrico em transformadores de potência:

- Confeccionar um conjunto de três anéis anticorona a serem instalados em definitivo nos terminais de alta tensão das buchas;
- Realizar a instalação definitiva de três impedâncias de medição no *tap* capacitivo das buchas, mantendo disponível um painel com terminais tipo BNC na base dos transformadores. Isso disponibilizaria a medição de descargas parciais sem qualquer intervenção ou indisponibilização das unidades. Estando o sistema previamente calibrado, as medições de DP nas três buchas podem ser realizadas em cerca de 10 minutos sem necessidade de desligamento;
- Uma vez instaladas as impedâncias de medição, seria conveniente realizar medições a cada 6 meses nos transformadores para avaliar a existência de alguma evolução das descargas internas.
- O uso de sensores internos de temperatura baseados na tecnologia de fibras ópticas permite uma melhor avaliação da perda de vida dos transformadores. Seu uso encontra maior justificativa nos casos em que o transformador opera com temperaturas elevadas. Para avaliar a confiabilidade operativa dos sensores ópticos a longo prazo, recomenda-se um acompanhamento de maior prazo no transformador que foi objeto deste projeto.

IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Relatórios Técnicos:

- [1] E. E. Reber, R. L. Mitchell, and C. J. Carter, "Oxygen absorption in the Earth's atmosphere," Aerospace Corp., Los Angeles, CA, Relatório Técnico. TR-0200 (4230-46)-3, Nov. 1968.
- [2] Levy, A.F.S., SILVA A.N., DUPONT, C.J., MARTINS, H.J.A., MENEZES, R.C. et al, "Ensaio de Acompanhamento de Transformador 40MVA da Subestação Nova Iguaçu da LIGHT – Relatório 1", Rel. CEPEL DPP/TEQ – 011/2001, Janeiro 2001.
- [3] Levy, A.F.S., SILVA A.N., DUPONT, C.J., MARTINS, H.J.A., MENEZES, R.C. et al, "Ensaio de Acompanhamento de Transformador 40MVA da Subestação Nova Iguaçu da LIGHT – Relatório 2", Rel. CEPEL DPP/TEQ – 775/2001, Setembro 2001.
- [4] Levy, A.F.S., SILVA A.N., DUPONT, C.J., DUCHARME, C., MARTINS, H.J.A., MENEZES, R.C. et al, "Ensaio de Acompanhamento de Transformador 40MVA da Subestação Nova Iguaçu da LIGHT – Relatório 3", Rel. CEPEL DPP/TEQ – 1085/2002, Novembro 2002.