



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GMI 23
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO XII

GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS. - GMI

ESPECIFICAÇÃO / ENSAIOS DE MATERIAIS PARA JUNTAS DE TRANSFORMADORES

Roberto de Aguiar (*)

Suely Monteiro de Oliveira

COPEL TRANSMISSÃO S.A.

LACTEC

RESUMO

O usuário de transformadores tem convivido com constantes problemas de vazamento em transformadores. A perda estanquidade pode contaminar o óleo e conseqüentemente o isolamento da parte ativa, aumentando a possibilidade de falha do transformador.

As atuais exigências dos órgãos reguladoras e ambientais impõem restrições ao derrame de óleo em estações elétricas.

Neste trabalho serão analisadas as principais causas de vazamento de transformadores, com ênfase na utilização da borracha nitrílica como material para vedação. Serão também apresentados sugestões de valores de limites e ensaios de controle de borracha nitrílica para vedações de transformadores, que poderão servir de subsídios para a composição uma especificação técnica específica.

PALAVRAS-CHAVE

Transformador, Vazamento, Vedação, Borracha Nitrílica

1.0 - INTRODUÇÃO

O transformador de potência é um dos equipamentos mais importantes de uma subestação. É estático e opera segundo o princípio da indução mútua entre duas bobinas (ou mais) ou circuitos acoplados indutivamente.

É basicamente constituído de uma parte ativa (núcleo e enrolamentos), óleo mineral isolante, tanque e acessórios. A parte ativa é a principal parte de um transformador e, é composta por núcleo e enrolamentos. Os demais componentes, tais como, óleo mineral isolante, tanque e acessórios servem para dar suporte e, proteger mecânica, química e eletricamente a parte ativa.

O desempenho e a vida útil dos transformadores estão diretamente relacionados com a degradação do sistema de isolamento da parte ativa composto pelo sistema papel/óleo⁽¹⁾. Há mais de um século se utiliza papel impregnado com óleo como isolante principal em transformadores de potência.

O óleo mineral isolante tem como função, isolar eletricamente a parte ativa e refrigerar o transformador.

Durante a vida útil o sistema de isolamento papel/óleo e demais componentes de um transformador sobrem degradação, que pode ocorrer de três formas principais, dependendo das condições as quais o sistema está sujeito:

- a) Degradação térmica;
- b) Degradação oxidativa;
- c) Degradação hidrolítica.

(*) EMAIL: ROBERTO.AGUIAR@COPEL.COM - TEL.: (41) 33313568

A degradação térmica está relacionada principalmente com as condições de trabalho do transformador, ao passo que, as degradações oxidativa e hidrolítica dependem da estanqueidade do mesmo. O contato do sistema de isolamento com a água e o oxigênio pode diminuir vida útil do equipamento.

2.0 – DESENVOLVIMENTO.

Desde o surgimento do óleo como meio isolante, o setor elétrico convive com os problemas de estanqueidade do transformador.

Manter estanque os transformadores parece tarefa relativamente simples. Porém, fatores tais como, regime de trabalho com variação constante entre pressão positiva e negativa, variações térmicas, vibração mecânica, e a elevada quantidade de pontos flangeados do tanque, tornam essa uma tarefa difícil.

Os custos envolvidos no saneamento de vazamentos são consideráveis, devido à indisponibilidade do equipamento e principalmente em função da logística de retirada de óleo: tratamento do óleo, tratamento do transformador, comissionamento, etc.

Apesar dos problemas que os vazamentos acarretavam ao sistema de isolamento, foram aqueles inerentes ao meio ambiente que acabaram por alertar os usuários sobre a incidência relativamente alta de vazamentos.

Em meados de 2005, por iniciativa da Eletronorte, foi criado pelo COBEI/ABNT o grupo de estudo ABNT/CB-03 Comitê Brasileiro de Eletricidade CE-03 - Projeto Mecânico de Reatores e Transformadores – GT10, com o objetivo de elaborar norma relativa ao projeto mecânico de transformadores.

O GT-10 conta com a participação de fabricantes nacionais de transformadores de potência, a maioria das concessionárias, fabricantes de acessórios e de juntas para transformadores. Desta forma, estão envolvidos nesse grupo todos os segmentos, desde a fabricação até a manutenção.

O GT-10 trata dos aspectos mecânicos de transformadores, no entanto, foram os vazamentos em transformadores e todas as suas conseqüências que incentivaram a criação do grupo.

As informações (banco de dados) relativas a vazamentos em transformadores são praticamente inexistentes, provocando discordância entre os segmentos com respeito à quantidade, importância e principalmente sobre as causas dos vazamentos.

Assim sendo, um dos primeiros passos foi buscar informações acerca dos vazamentos de transformadores.

Para subsidiar os trabalhos do GT-10 e objetivando a elaboração de uma especificação para materiais de vedação para transformadores e a definição de ensaios de qualificação desses materiais, a COPEL contratou junto ao LACTEC o projeto CCC 124 - “Levantamento do estado da arte – vedação para transformadores”.

O desenvolvimento do projeto CCC 124 abrangeu a visita às concessionárias de energia, fabricantes de transformador, fabricantes de acessórios e juntas para transformadores, conforme relacionados a seguir:

- Concessionárias: Copel, Furnas, Cemig, Celesc, Eletrosul, Tractebel e Eletronorte.
- Fabricantes de transformadores: Weg, Toshiba, ABB, Siemens.
- Fabricante de acessórios: Marangoni.
- Fabricantes de materiais / vedações: Teadit, Retesp, Flexa e Elastobras.

2.1 - Nas concessionárias os principais itens verificados foram:

- As especificações (exigências quanto aos materiais de vedação).
- Quais tipos de materiais são normalmente aceitos e quais não são aceitos.
- Recebimento / quantidade de amostragem para ensaios por lote.
- Ensaios de recebimento.
- Estocagem – tempo e controle
- Equipamentos e qualificação funcionários do laboratório físico-químico.
- Ensaios de controle (periodicidade).
- Experiência com materiais de vedação.

- Controle pós-instalação / emenda / critérios para troca de vedações / descarte. Histórico de vazamentos.

2.2 - Nos fabricantes os principais itens verificados foram:

- Como são adquiridos os materiais de vedação (especificação).
- Quantos tipos de materiais são normalmente adquiridos.
- Quais exigências de qualificação dos fornecedores.
- Recebimento / quantidade de amostragem para ensaios por lote.
- Ensaios de recebimento.
- Estocagem – tempo e controle
- Equipamentos e qualificação funcionários do laboratório físico-químico.
- Ensaios de controle (periodicidade).
- Experiência com materiais de vedação (quais aconselham e quais desaconselham).
- Controle pós-instalação / emenda / critérios para troca após desmontagem / descarte.
- Informações e recomendações para manuseio das vedações no manual de montagem / comissionamento / manutenção.
- Como é feito o controle de materiais de vedação incorporados aos acessórios fornecidos por terceiros (ex: gaxeta de válvulas, bolsa de borracha).
- Histórico de vazamentos / problemas com vedações.

As informações fornecidas pelos vários segmentos do setor elétrico foram compiladas e nesse trabalho, além de levantamentos estatísticos, são apresentados subsídios para elaboração de uma especificação de vedações a base de borracha nitrílica e ensaios de certificação baseados nos resultados da pesquisa.

3.0 – QUANTIFICAÇÃO E QUALIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS.

O levantamento das informações sobre vazamentos de transformadores junto as Concessionárias mostrou a primeira dificuldade na quantificação devido à falta de registrado das ocorrências em praticamente todas elas. É unânime a constatação de que a quantidade de vazamentos é grande, porém, empírica, sendo difícil quantificar.

A estatística de vazamentos apresentada a seguir é baseada no banco de dados da COPEL, no Período: de 1981 a 2002 (ocorrências com desligamento) e de 2003 a 2006 (ocorrências com vazamentos) – Total 27 anos.

Nota: Até 2002 só eram registradas as ocorrências que acarretavam em desligamento do transformador pela proteção. A partir de 2003 todas as intervenções das equipes de manutenção passaram a ser registradas.

Universo de transformadores: 275

Características: Tensão superior de 69, 138, 230 e 500 kV

Potência: De 40 a 200 MVA.

Número total de ocorrências em TFs = 215

Total de ocorrências com vazamentos = 65, ou seja, 30% das ocorrências em transformadores foram devido à perda de estanquidade.

Nesses números, mostrados abaixo, estão incluídas falhas nas vedações de acessórios, nem sempre envolvidas com a estanquidade da parte ativa, mais por acarretarem a necessidade de desligamento do equipamento para sanar o problema, influenciam o desempenho do transformador.

As falhas estavam distribuídas da seguinte forma:

- 33 falhas devido a vazamentos, sendo: 04 em radiadores, 13 em Flanges / tubulações, 14 em acessórios (reles, buchas, TCs) e 03 em pontos de solda.
- 32 ocorrências devido à perda de estanquidade (sem vazamento de óleo, mas compenetração de umidade), sendo: 12 em buchas, 13 na fiação de acessórios ocasionando desligamento pela proteção e 07 acima do nível de óleo (bolsa rompida).

3.1 - Incidência de vazamentos

A qualificação dos vazamentos, ou seja, a identificação dos pontos onde ocorrem os vazamentos, indicou haver uma razoável incidência nas válvulas de radiadores (principalmente na interfase válvula-radiador e/ou válvula-tanque). Provavelmente, isto se deve ao fato de que, o número dessas válvulas nos transformadores é expressivo. Outros pontos consideráveis são as janelas de inspeção/visita verticais, devido à dificuldade de alojamento da junta na posição vertical.



FIGURAS 1 e 2 – Vazamento em válvula de radiador e em janela de inspeção vertical.

Outros pontos comuns de vazamento são os canecos de bucha, pelo grande diâmetro do flange. Tampa do equipamento e pontos de solda.



FIGURAS 3 e 4 – Vazamento pelo caneco da bucha e pela tampa.

4.0 – CAUSAS DE VAZAMENTOS EM TRANSFORMADORES.

A falta de um banco de dados sobre ocorrências de vazamentos dificulta a quantificação das principais causas de vazamento.

No entanto, as mais usuais comentadas a seguir, foram citadas pelos representantes das concessionárias no GT-10. Os dados informados são empíricos devendo-se levar em consideração às peculiaridades de cada concessionária acarretando em diferentes índices/incidências de vazamentos.

4.1 - Projeto mecânico da peça (flangeamento)

A qualidade do flangeamento/vedação passa necessariamente pelo projeto mecânico da peça: alojamento da junta, espessura da chapa, quantidade de parafusos x tamanho do flange.

O projeto mecânico é normalmente de responsabilidade do fabricante e tem evoluído constantemente. O aprimoramento deve-se às necessidades de melhoria da estanqueidade dos transformadores.

A incidência desse item nas causas de vazamento é considerável, porém é uma condição normalmente identificada nos ensaios de rotina na fábrica ou durante a garantia. Isto facilita o conserto e possibilita a revisão do projeto pelo fabricante.

Ainda com relação ao projeto mecânico, ressalta-se que atualmente se utiliza juntas de cordão e o'ring, quase sempre com batente ou canaleta de um lado e a outra fase do flange lisa. Vale salientar que segundo o código ASME flanges com faces com canaletas ou encaixe fêmeas para o confinamento das juntas de vedação, poderão ser utilizados desde que, os respectivos contra-flanges sejam com faces com ressalto machos para encaixe sendo essa uma condição pouco utilizada nas flanges de transformadores.

Os flanges com faces planas são muito mais simples (menos rigor técnico) do que os flanges com canaletas, porém, exige o uso de junta que suporte o torque calculado. Nesse caso fica inviável a utilização de elastômeros, por não suportarem torque demasiado.

4.2 - Procedimento de montagem

Falhas nos procedimentos de montagem dos equipamentos no campo tem sido freqüentemente apontados como uma das causas principais dos vazamentos.

Existe a dificuldade em saber claramente em que etapa da montagem os problemas são mais evidentes, visto que, se observa falhas inclusive nas instruções de montagem do fabricante (manuais). A utilização de torquímetro (ferramental) é rara nas montagens de campo, a falta de mão de obra qualificada, incluindo a falta de normas que regulamentem o ensaio de estanqueidade no campo, etc., salientam o problema.

Os critérios de montagem dos equipamentos no campo são inerentes a cada empresa. O "Procedimento de montagem" influencia quantitativamente nas causas de vazamento de empresa para empresa devido aos seguintes fatores:

- Empresas que utilizam equipes próprias para montagem de transformadores têm menos problemas de vazamento.
- As instruções de montagem nem sempre atendem as necessidades de campo, tais como, manuais volumosos e complicados para consultas no campo.
- Falta de treinamento.
- Reaproveitamento de juntas. Esta prática, apesar de condenada ainda é muito utilizada no campo.

4.3 - Especificações de usuários

A especificação de transformadores, normalmente abrange exigências de várias áreas das empresas, tais como: área operacional, proteção, manutenção, construção, etc. Esta diversidade de peculiaridades, indicadas abaixo, impactam no projeto mecânico, criando dificuldades para os projetistas em atender todas as exigências mantendo bom nível de estanqueidade dos equipamentos.

- Tampa aparafusada.
- Número de janelas de inspeção/visita.
- Exigência de janelas de visita com grandes dimensões.
- Elevado número de TCs de bucha, com necessidade de utilização de canecos de bucha, tubulação aranha, caixas de passagens de TC.

4.4 - Materiais e tipos de junta

Os vazamentos devido à incompatibilidade de óleo mineral isolante e elastômeros são apontadas como uma das principais causas de vazamentos. A borracha nitrílica foi inicialmente considerada inadequada para utilização em juntas para transformador devido principalmente ao tempo de vida útil considerado inadequado e aos problemas inerentes a sua resistência química frente ao óleo isolante.

Devido aos problemas constantes com borracha nitrílica, algumas indústrias passaram a desenvolver materiais especiais com o objetivo de diminuir os vazamentos, tais como elastômeros fluorados, flúor silicone e tetrafluoreto de carbono. Esses materiais vêm apresentando resultados satisfatórios, no entanto tem limitações dimensionais e maior custo.

Porém, os elastômeros ou borrachas nitrílicas são os materiais mais utilizados na confecção de gaxetas e dispositivos de vedação que entram em contato com óleo mineral isolante, devido ao melhor custo-benefício, maior resistência química e deformação permanente por compressão que estas oferecem a óleos minerais isolantes em relação aos elastômeros convencionais^(2,3).

Devido à facilidade de processamento, existem no mercado muitos fornecedores de borrachas sem qualidade garantida e desta forma, muitos materiais atualmente empregados nos vários dispositivos vêm apresentando desempenho inadequado, causando falhas e manutenção em função de vazamentos como consequência da interação com o óleo isolante empregado e ao esforço mecânico⁽⁴⁾.

Os fabricantes de vedações aprovam seus produtos baseados na especificação ASTM D 2000⁽⁵⁾. Esta norma, porém, aplica-se no setor automotivo e os óleos sugeridos pelo método são, eminentemente, de características lubrificantes. Por outro lado, no setor elétrico, o ensaio de compatibilidade da borracha com óleo mineral isolante, previsto pela NBR 14274⁽⁶⁾, analisa somente os resultados referentes ao óleo mineral isolante, ou seja, a possível degradação do óleo pela borracha, a degradação sofrida pela borracha não é verificada.

Portanto, as especificações vigentes não são adequadas às exigências operacionais nas aplicações citadas. O desenvolvimento de novas composições deve ser avaliado por metodologias mais adequadas às solicitações elétricas, mecânicas e químicas da aplicação para obtenção de melhor desempenho e tempo de vida útil, sem desconsiderar a compatibilidade química entre vedação e óleo ou os efeitos ocasionados na borracha⁽⁷⁾.

5.0 - PRINCIPAIS CONCLUSÕES DO LEVANTAMENTO DO ESTADO DA ARTE.

A análise dos resultados obtidos durante levantamento do estado da arte, discussões técnicas, observações e documentos das empresas envolvidas neste estudo levaram aos seguintes observações:

- Os materiais de vedação de uso nos transformadores são adquiridos pelos fabricantes através de especificações próprias ou de normas nacionais vigentes e de modo geral, contemplam a avaliação físico-química e a compatibilidade.
- A maioria dos fabricantes utilizam nas vedações dos equipamentos, basicamente a borracha nitrílica. O uso de junta plana foi abolido dos novos projetos e, sem exceção, todos estão utilizando o cordão de borracha / o'ring.
- A maioria das empresas ensaia todos os lotes por amostragem através da norma a ASTM D 2000 e compatibilidade com óleo mineral isolante ASTM D 3455⁽⁸⁾.
- A maioria das empresas não mantém as juntas de borracha ou o-rings em estoque devido a peculiaridades do material e do mercado.
- Não existe um padrão de recomendação para manuseio das vedações no manual de montagem / comissionamento / manutenção. Alguns fabricantes apresentaram manuais com informações detalhadas, ao passo que outros tratam do assunto superficialmente.
- Das concessionárias visitadas somente a CEMIG e Eletrosul possuem especificação para compra de vedação, sendo que essa última possui laboratório específico para ensaios em vedação.
- Dificuldade das equipes de manutenção em adquirir material adequado para vedação no mercado, aliado a impossibilidade de executar ensaios de aceitação, acarreta na utilização de materiais de baixa qualidade.

6.0 – ESPECIFICAÇÃO

O objetivo principal do projeto CCC 124 era a definição de uma especificação para a borracha nitrílica para utilização como material de vedação para transformadores. No decorrer do projeto foram verificados outros materiais para a mesma aplicação, porém centrou-se a especificação na borracha nitrílica, por ser o material mais utilizado, com boa disponibilidade no mercado e com menor custo entre os materiais aceitos pelos usuários para esse tipo de aplicação.

Para a definição dos valores especificados, para cada propriedade / característica, foi feita avaliação dos valores das especificações dos fabricantes de transformadores e das especificações das concessionárias (das que possuem). Foram ensaiadas várias amostras de material fornecidas por fabricantes e concessionárias, considerando as várias especificações, e compilado os valores considerados os mais adequados para a aplicação.

Após a definição da especificação, foi solicitados aos fornecedores de borracha, participantes o grupo GT-10, a fabricação de borracha que atendessem a especificação. Esta etapa é importante, pois é absolutamente necessário que os fabricantes de borracha possam atender as exigências especificadas.

As amostras foram ensaiadas no LACTEC, e ficou comprovada a possibilidade do mercado atender a especificação.

TABELA 1 - Valores de especificação das propriedades físico-químicas das borrachas de vedação.

Propriedade/ Característica		Método	Valores de especificação
Material	Identificação	D 3677	Nitrílica ou similar
Cor			Preta
Densidade		D 297	1,3 a 1,4 g/cm³
Propriedades originais	Dureza Shore A	D 2240	65± 5
	Tensão (mín.)	D 412	min 10 Mpa
	Alongamento (mín.), %	D 412	min 300 %
Envelhecimento térmico após 70h à 100°C - D 573	Varição de dureza Shore A	D 2240	± 5 pts
	Varição de tensão	D 412	± 20 %
	Varição de alongamento	D 412	%
	Fissuras	-	sem
Envelhecimento em óleo isolante após 70h à 100°C* - D 471	Varição de dureza Shore A	D 2240	± 5 pts
	Varição de volume	D 471	-5,0 a + 10,0 %
	Varição de massa	D 471	-5,0 a + 10,0 %
	Varição de tensão	D 412	± 20 %
	Varição de alongamento	D 412	-30%
	Fissuras	-	sem
Deformação permanente à compressão após 22h à 100°C (max.)	Varição de DPC	D 395	máx. 25 %
	Fissuras	-	Sem fissuras

TABELA 2 - Valores de especificação do ensaio de compatibilidade (NBR 14274 – Equipamento elétrico – Determinação da compatibilidade de materiais empregados com óleo mineral isolante). Variações máximas do óleo mineral isolante.

Característica	Variação	Método de ensaio
Tensão interfacial a 25°C, min.	Diminuição de 5 mN/m	NBR 6234
Índice de neutralização, Max.	Aumento de 0,02 mg KOH/g de óleo	NBR 14248
Fator de perdas dielétricas a 90°C, max.	Aumento de 0,0050	NBR 12133
Cor, max.	Aumento de 0,5	ASTM D 1500

7.0 - CONCLUSÃO

A ocorrência de vazamentos em transformadores é significativa, e o setor elétrico tem se empenhado para minimizar essas ocorrências. Dos vários fatores que influenciam nos vazamentos, o material empregado nas vedações tem significativa importância.

O fornecimento de materiais de vedação que atendam as expectativas passam necessariamente por uma especificação adequada desses materiais.

Devido a grande número de fabricantes de borracha e a diversidade de aplicação desse material, a melhor maneira de se melhorar a qualidade do material para utilização em transformadores, seria a união do setor elétrico na elaboração e implantação de norma técnica para o material de vedação para transformadores.

8.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. B.S. Bernstein. Aging of Equipment in electric utilities. IEEE Transactions, vol.28 no. 5, 1993.
2. ROYO, Joaquim. Manual de Tecnologia del Caucho. 2ª Edição. Madri. Consorcio Nacional de Industriales del Caucho. 1989.
3. Schwarz, T. Checking elastomers for fluid compatibility. Feature. Sealing Technology no. 55.
4. Riga, A. Failure analysis and quality control of automotive elastomeric seals by thermal analytical techniques /thermochimica Acta 357-358 (2000) 217-223.
5. ASTM D 2000 - 95 – Standard classification system for rubber products in automotive applications.
6. NBR 14274 – 99. Equipamento elétrico – Determinação da compatibilidade de materiais empregados com óleo mineral isolante.
7. Meyer A., Souza G. P., Wasilkoski C., Oliveira S. M., Tomczak F. V CBRATEC – Congresso Brasileiro de Análise Térmica e Calorimetria. Caracterização de Borracha Nitrílica por Análise Dinâmico-Mecânica – DMA. Minas Gerais, Brasil.
8. ASTM D 3455 – 89. Compatibility of construction material with electrical insulating oil of petroleum origin.