

Óleos isolantes — Resultados práticos

* Antonio Sérgio Soares Frota

Considerações sobre análise e rejeição de óleos isolantes de transformadores em operação nas indústrias.

a) INTRODUÇÃO

O universo de transformadores em operação hoje nas indústrias, sofre um desgaste natural, proveniente da falta de critérios nas análise e rejeição de óleos isolantes em uso. Observando-se um sistema restrito de resultados efetuados e

analisando os efeitos causados por tais valores apresentados, fazemos a seguir algumas considerações.

b) NORMALIZAÇÃO DO ENSAIO

A importância da exigência no ensaio da citação e critérios da norma utilizada, garantem em muitos casos a seriedade dos resultados obtidos. Nossos critérios, seguem a Norma Brasileira desde que a mesma seja uma cópia fiel da ASTM — American National Standard, reconhecidamente o que existe de melhor em normas internacionais.

* Engenheiro Eletricista da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial — NUTEC.
Professor em tempo parcial de Máquinas Elétricas da Universidade de Fortaleza — UNIFOR.

e) ENSAIOS DE ACOMPANHAMENTO

Nos ensaios adotados para acompanhamento do óleo isolante, optamos pelos seguintes ensaios:

- rigidez dielétrica - ASTM D1816 ou ASTM D877
- índice de neutralização - ASTM D664 - 80 ou ASTM D974
- teor de água - ASTM D1315 e D1533
- aspecto "visual".

Os ensaios de tensão interfacial e fator de potência, indicam o grau de envelhecimento do óleo, servindo portanto para definir os critérios para regeneração, recuperação e inutilidade do óleo isolante em análise.

Quanto ao uso na rigidez dielétrica do eletrodo em "calota", foi assim definido, em virtude da maior sensibilidade, a água e o número de amostras efetuadas apresentam um maior grau de aceitação.

d) SIGNIFICADO DOS ENSAIOS

D1. Rigidez dielétrica

A rigidez dielétrica é uma propriedade elétrica e apresenta uma medida da sua capacidade de resistir à tensão elétrica sem apresentar falha. A queda da rigidez dielétrica, poderá ser provocada por água, partículas condutoras, sujeira, etc. Uma elevada rigidez dielétrica não implica em ausência de contaminantes (comprovado na prática).

D2. Índice de neutralização

O índice de neutralização, indica uma medida dos compostos ácidos presentes no óleo.

A evolução do índice de neutralização em amostras repetitivas, mostra a tendência para deterioração ou alterações químicas do óleo ou aditivos, provocados pelo consumo exagerado do agente inibidor. Este consumo exagerado pode ser causado por contaminantes solúveis, agentes catalizadores, oxigênio em contato com o ar e temperatura de operação. Nossas análises revelam uma deterioração e alterações causadas pela temperatura de funcionamento elevada. A aeração do óleo e de contaminantes solúveis em pequena escala não tem acarretado grandes problemas.

D3. Teor de água - ASTM 9533

A presença de água no óleo, quer seja por água livre ou água dissolvida, reflete imediatamente na rigidez dielétrica.

Alguns equipamentos usados para determinação do teor de água pelo método KARL FISTER, não tem sensibilidade para os ppm's de acordo com a classe de tensão do equipamento. As curvas que relacionam a rigidez dielétrica com o teor de água, não obedecem a um valor fixo, sendo portanto necessária uma faixa compreendida entre duas curvas para refletir esta relação.

e) CRITÉRIOS DE REJEIÇÃO

Em algumas normas ou publicações, existem critérios definidos e/ou empíricos para rejeição de um óleo usado.

As tabelas a seguir mostram os critérios sugeridos após pesquisas com usuários de ensaios de óleos isolantes.

TABELA I (PARA TRANSFORMADORES)

Teste em ordem de importância	Satisfatório para uso	Para ser recondi- cionado	Para ser Recupera- do	Descartável
Rigidez dielétrica (D877)	30kV min. (* *) 23kV min. (*)	22kV (*)	-	14kV (*)
Índice de neutralização (D974)	0,2 max. (* *) 0,4 max. (*)	-	0,4 (*)	1,0 (*)
Tensão interfacial (D971)	19 dinas/cm min. (*) 21 dinas/cm (* *)	-	18 dinas / cm (*)	14 dinas/cm (*)
Fator de potência % 20°C (D924)	1,0 max/25°C (* *) 1,4 max. (*)	1,8 (*)	1,4 (*)	-
Cor - ASTM	3 1/2 max (*)	-	-	-
Condições visuais	claro (*)	Turvo ou água visível	-	-
Teor de água (D 1533)	30 ppm (* *)	-	-	-

(*) 15kV
(* *) 69kV

TABELA II (DISJUNTORES E CHAVES)

Teste em ordem relativa de Import.	Satisfatório para uso	Para ser recondicionado	Para ser Recuperado	Descartável
Rigidez dielétrica	24kVmin.	22kV	20kV	15kV
Índice de neutral.	0,5 max	—	0,5	1,0
Cor – ASTM	3 1/2 max	—	—	—
Tensão interfacial	18 dinas/cm min.	—	18 dinas/cm	—
Fator de potência % 20°C	1,4 max	1,7	—	—
Condição visual	claro	excessivamente turvo ou água visível	—	turvo e borra

A rejeição de um óleo em uso, deverá ser feita após algumas observações tais como:

- custo do equipamento;
- grau de importância da carga;
- custos adicionais causados por um defeito;
- evolução dos valores após algumas amostras (periodicidade);
- contra prova exigida;
- validade da coleta – recipiente/amostras.

Os custos exigidos numa rejeição, são relativamente elevados e levam o setor competente a meditar bastante antes do diagnóstico final. As tabelas apresentadas (I e II) servem como início para o estabelecimento de critérios/rejeição de cada analista.

f) MÉTODOS DE RECONDICIONAMENTO E RECUPERAÇÃO

Nos casos estudados, existem dúvidas quanto ao método a ser aplicado após definida a rejeição. As pesquisas realizadas nos Estados Unidos e Canadá, revelam que o recondicionamento ocorre em 99% dos usuários de óleos de transformadores e 97% para óleos de chaves e disjuntores.

Nos transformadores, o método empregado em percentagem é:

- 46% usam somente filtração;
- 32% usam filtração e centrifugação;
- 14% usam filtros com desidratador a vácuo;
- 6% usam centrifugação, filtração e desidratador a vácuo.

Nas chaves e disjuntores, o método empregado em percentagem é:

- 57% usam somente filtração;
- 39% usam centrifugação e filtração;
- 1% usa filtração com desidratação a vácuo.

A recuperação após definida nos critérios de rejeição, é defendida por 60% dos usuários, ao invés de descartar o óleo. A TERRA de FULLER, domina a recuperação com 55% de preferência dos usuários.

Na filtração, não foi observado um aumento do índice de neutralização pela aeração do óleo, como também um aumento significativo da rigidez dielétrica após 35kV.

Na recuperação do óleo, observamos que conforme o método usado, é fundamental a adição do inibidor de oxidação (DBPC) em proporções diferentes.

g) ÓLEOS PARAFÍNICOS E NAFTÊNICOS – CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS

A tendência do mercado brasileiro é utilizar o óleo parafínico em larga escala e altas tensões.

O óleo parafínico quando submetido a temperaturas acima do limite da classe A, apresenta uma elevação do índice de neutralização maior do que o índice de neutralização do óleo naftênico.

Analisando os resultados apresentados nos ensaios, notamos que o óleo parafínico e o naftênico apresentam formação de borra quando o índice de neutralização se apresenta por volta de 0,36 mg KOH/g. A recuperação do sistema é complicada quando este valor atinge 0,45 mg KOH/g. Os dois tipos de óleo não apresentam estabilidade (IN) quando submetidos à temperatura acima do limite da classe (sobrecarga no transformador).

A rigidez dielétrica comporta-se da mesma maneira nos dois tipos de óleo. Em alguns transformadores com muitos anos de operação (8 anos), o processo de oxidação do óleo é elevado, dado este constatado na prática.

Como os problemas apresentados na prática são relevantes, iniciou-se então uma pesquisa para o uso do óleo com inibidor de oxidação em transformadores em geral, independente de ser parafínico ou naftênico. Os resultados são promissores e evitarão muitos problemas tais como oxidação, formação de borra, etc.

h) CROMATOGRAFIA GASOSA

A análise de gases dissolvidos para fins de manutenção preventiva e de diagnóstico de defeito, tem sido usado no Brasil largamente nos últimos três anos.

Inicialmente usou-se a cromatografia apenas para transformadores de grande potência e elevada tensão. Sendo uma técnica sofisticada e de grande confiabilidade, procuramos implantar estas análises em transformadores de média tensão e elevada potência.

A análise dos gases dissolvidos, pode detectar falhas ou a evolução das mesmas do tipo mostrado na tabela seguinte.

Local/Tipo	Falha	Gases - Chave
No óleo	Arco	Acetileno (30%)
	Corona	Hidrogênio (80%)
	Superaquecimento	Etileno (60%)
Papel	Corona	Hidrogênio Monóxido carbono
	Superaquecimento	Monóxido carbono (90%) Dióxido carbono
Água	Eletrolise	Hidrogênio (98%)

I. ANÁLISE DOS RESULTADOS EM CROMATOGRAFIA

Os resultados apresentados em cromatografia gasosa quer na fase preventiva quer na fase de confirmação de diagnóstico têm sido de uma valia muito grande no trabalho de manutenção (diagnóstico). A seguir apresentaremos alguns resultados.

I.1 Em diagnóstico

1.º CASO

Equipamento - transformador de 5 MVA 69/13,8 kV.

DADOS DA CROMATOGRAFIA:

hidrogênio	1591 ppm
acetileno	1193 ppm
monóxido de carbono	527 ppm
dióxido de carbono	2427 ppm
metano	355 ppm
nitrogênio	76430 ppm
etano	34 ppm

DIAGNÓSTICO:

Falha elétrica de graves proporções sem o envolvimento generalizado de CELULOSE.

CONFIRMAÇÃO

Na abertura do transformador constatou-se um curto entre espiras na coluna central do primário sem o envolvimento generalizado de celulose.

2.º CASO

Equipamento - transformador 2,5 MVA 69/13,8 kV.

DADOS DA CROMATOGRAFIA:

hidrogênio	4189 ppm
nitrogênio	86592 ppm
metano	16949 ppm
monóxido	32179 ppm
dióxido	73098 ppm
etileno	3436 ppm
etano	3354 ppm
acetileno	40 ppm

DIAGNÓSTICO:

Falha técnica de temperatura média (700°C) com envolvimento total da celulose proveniente de falta de refrigeração e/ou sobrecarga excessiva.

CONFIRMAÇÃO

O transformador aberto revelou:

- registro de óleo do radiador - 50% fechados
- sobrecarga - 10% além do nominal.

I.2 Em manutenção preventiva

Equipamento - transformador 5 MVA 69/13,8 kV.

DADOS DAS CROMATOGRAFIAS (intervalo 72 horas)

Gás/Amostra	N.º 1	N.º 2
Hidrogênio (ppm)	17	55
Nitrogênio (ppm)	84227	75414
Metano (ppm)	5	9
Monóxido (ppm)	194	230
Dióxido (ppm)	1928	2452
Etileno (ppm)	5	21
Etano (ppm)	4	6
Acetileno (ppm)	1	9

DIAGNÓSTICO

Retirada do transformador de operação. Indicativo de falha elétrica (ARCO).

BIBLIOGRAFIA

- ASTM - D3612-79. *Standard Method for Analysis of Gases Dissolved in Electrical Insulating Oil by Gas Chromatography.*
- ABNT - *Serviço e Manutenção de Transformadores.*
- FALLOV, B. MRS. *Detection of and Research for the characteristics of and Incipient Fault from Analysis of Dissolves Gases in the Oil of an Insulation.*
- IEEE - *Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil in Equipment - STD 64 - 1977.*
- PUGH, DAVID ROGER. *Combustible Gas Analyses.*
- VIEIRA, CESAR SOBRAL. *Diagnóstico de Falhas em Transformadores por Análise Cromatográfica.*