



Semana de Atividades Científicas 2012
Associação Educacional Dom Bosco
Faculdade de Engenharia de Resende
Engenharia Elétrica – Eletrônica



**UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE DE GASES DISSOLVIDOS EM ÓLEO MINERAL
ISOLANTE PARA O DIAGNÓSTICO DE TRANSFORMADORES DE
POTÊNCIA**

**Olívio
Belmonte Reis**
oliviobr@furnas.com.br
AEDB

**Tiago Augusto
Lima do Nascimento**
tigs.lima@yahoo.com.br
AEDB

**William Souza
Prado Paiva**
will_wilspp@ibest.com.br
AEDB

Resumo - A *Análise de Gases Dissolvidos (AGD)* em transformadores de potência é a principal técnica utilizada para monitorar falhas de equipamentos isolados a óleo, sendo o método de diagnóstico mais aceito pelas empresas de energia elétrica. Desde a sua criação ocorreram melhorias nos equipamentos de análises, nas técnicas de extração, na interpretação de resultados e até mesmo nos materiais envolvidos na fabricação dos equipamentos. Diante do exposto apresentamos a metodologia proposta por três critérios tradicionais de diagnóstico, bem como resultados futuros através de amostras colidas em campo.

Palavras chave: *Transformador de Potência, Óleo Mineral Isolante, Análise de Gases Dissolvidos, Diagnóstico.*

INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, temos percebido o quanto é de suma importância à energia elétrica em nossas vidas. Diante disto a confiabilidade do sistema elétrico nacional, tornou-se um tema cada vez mais vigiado por todos os órgãos reguladores, uma vez que uma falha no sistema elétrico pode ocasionar perdas imensuradas.

Em um sistema elétrico de potência, o equipamento de maior importância, é o transformador de potência. Ele é o responsável pela elevação, a diminuição ou a simples transferência das tensões, garantindo o fluxo de potência nos sistemas elétricos. Com isso torna-se imprescindível que este elemento seja monitorado de forma minuciosa, sendo todos os seus componentes avaliados em favor da confiabilidade do sistema.

Desta forma a manutenção preditiva consiste em avaliações no acompanhamento periódico das propriedades e características dos diversos componentes de um transformador, indicando as condições reais de funcionamento com base em dados que informam o seu funcionamento ou processo de degradação.

Utilizando a Análise de Gases Dissolvidos (AGD) no Óleo Mineral Isolante (OMI) dos transformadores, torna-se possível avaliar a condição operativa dos mesmos através da evolução da degradação da isolação destes equipamentos quando submetidos a esforços de natureza térmica, elétrica e mecânica. Considerada como uma técnica preditiva de elevada confiabilidade, o seu emprego pelas empresas do setor elétrico em todo o mundo é amplamente difundido uma vez que, se apresenta como uma poderosa ferramenta de diagnóstico e apoio à decisão, capaz de evitar desligamentos intempestivos, falhas catastróficas que podem afetar a outros equipamentos em uma subestação, além de contribuir para as questões de confiabilidade e segurança nos sistemas elétricos de potência.

1 ÓLEO MINERAL ISOLANTE

Com a passagem de corrente elétrica pelos condutores dos enrolamentos do transformador, estes aquecem e liberam energia sob a forma de calor por efeito Joule. Esta liberação de energia promove uma degradação térmica do material isolante e quanto melhor o seu desempenho, melhor a eficiência do equipamento e menor a redução de sua vida útil, pois esta está diretamente relacionada a elevação de temperatura no transformador .

Os óleos minerais, que acumulam a função de isolação e refrigeração dos transformadores, são constituídos basicamente de hidrocarbonetos, obtidos a partir do refino do petróleo e, no mercado brasileiro, são encontrados 2 tipos de óleos minerais isolantes, sendo estes classificados como parafínicos e naftênicos, sendo esta classificação referente ao petróleo básico do qual foi refinado. Para fins de manutenção e operação convencional em transformadores, podemos considerar igualmente os dois tipos, sem necessidade de diferenciação.

1.1 PRINCIPAIS FUNÇÕES

O Óleo Mineral Isolante deve cumprir com eficiência as funções de isolamento elétrico e de refrigeração da parte ativa dos transformadores, composta pelo núcleo e os enrolamentos, apresentando algumas características fundamentais, dentre elas:

1.1.1 Boa estabilidade térmica

A estabilidade térmica minimiza os efeitos da elevação de temperatura em seus enrolamentos e outros componentes da parte ativa evitando a formação de ácidos e borra no óleo.

1.1.2 Boa condutibilidade térmica

A condutibilidade térmica do óleo permite a condução do calor de forma mais rápida, favorecendo a refrigeração do transformador.

1.1.3 Boa característica de isolamento elétrico

A característica isolante do óleo está relacionada à sua rigidez dielétrica definindo uma maior suportabilidade à tensão elétrica sem que haja uma falha.

1.1.4 Baixa viscosidade

A viscosidade no óleo mineral isolante influencia na quantidade de calor que o óleo consegue transferir para o meio ambiente, sendo, portanto um fator de influência na capacidade de refrigeração do transformador.

1.1.5 Ponto de Fulgor

É a menor temperatura na qual se formam vapores inflamáveis na superfície do óleo, sendo, portanto importante o conhecimento da temperatura em que se formam.

1.2 DEGRADAÇÃO TÉRMICA DO ÓLEO MINERAL

“A degradação do óleo mineral isolante abrange uma série de fenômenos, tais como reações de oxidação, reações de polimerização, condensação, rupturas de cadeias, etc..” (ZIRBES, 2005, p.04).

O contato com outros materiais internos que constituem o equipamento, a presença de oxigênio adicionado aos esforços de natureza térmica, elétrica e mecânica durante a sua operação são os principais fatores que influenciam na degradação do óleo.

Além de outros gases surgirem com a degradação por efeito de altas temperaturas, os mais importantes para a manutenção são os seguintes:

- H_2 (HIDROGÊNIO)
- CH_4 (METANO)
- C_2H_2 (ACETILENO)
- C_2H_4 (ETILENO)
- C_2H_6 (ETANO)
- CO (MONÓXIDO DE CARBONO)
- CO_2 (DIÓXIDO DE CARBONO)

2 MÉTODOS DE ANÁLISES DE GASES DISSOLVIDOS

Os métodos de AGD no óleo mineral isolante permitem detectar falhas incipientes ou em evolução no interior dos transformadores de potência. Com uma pequena amostra de aproximadamente 50 ml de óleo isolante que é, em laboratório, submetida a vácuo para extrair os gases dissolvidos, realiza-se a análise de tais gases quantificando-os em ppm (partes por milhão) e os resultados obtidos são posteriormente avaliados de acordo com critérios tradicionais de diagnóstico.

Dentre os diversos critérios de diagnóstico que utilizam os dados da AGD no óleo mineral isolante, três deles foram escolhidos para a avaliação dos transformadores que servirão como base no estudo da metodologia proposta, sendo eles:

- RELAÇÕES DE ROGERS
- TRIÂNGULO DE DUVAL
- MÉTODO DA IEC 60599

2.1 MÉTODO DAS RELAÇÕES DE ROGERS

(MORAIS, 2007) Utiliza a filosofia de diagnóstico baseado em relações entre concentrações de gases e limites de variação para estas relações. Obtendo quatro relações gasosas utilizando cinco gases, o método infere sobre as condições do equipamento.

A análise do método é dividida em dois quadros, onde um contém os valores das faixas de variação das relações e o outro estabelece o diagnóstico a partir da combinação dos códigos gerados pelas referidas relações.

Quadro 1 - Quadro de definição dos códigos do método de Rogers

Relação de Gases	Faixa de variação	Código
CH ₄ / H ₂	≤ 0.1	5
	$> 0.1 \text{ e } < 1$	0
	$\geq 1 \text{ e } < 3$	1
	≥ 3	2
C ₂ H ₆ / CH ₄	< 1	0
	≥ 1	1
C ₂ H ₄ / C ₂ H ₆	< 1	0
	$\geq 1 \text{ e } < 3$	1
	≥ 3	2
C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄	< 0.5	0
	$\geq 0.5 \text{ e } < 3$	1
	≥ 3	2

Quadro 2 - Quadro de diagnóstico do método de Rogers em função do código

CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₆ /CH ₄	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	DIAGNÓSTICO
0	0	0	0	Deterioração Normal
5	0	0	0	Descargas Parciais
1 / 2	0	0	0	Sobre aquecimento abaixo de 150°C
1 / 2	1	0	0	Sobre aquecimento de 150°C – 200°C
0	1	0	0	Sobre aquecimento de 200°C – 300°C
0	0	1	0	Sobre aquecimento de condutores
1	0	1	0	Correntes de circulação nos enrolamentos
1	0	2	0	Correntes de circulação no núcleo e tanque, Sobre aquecimento em conexões
0	0	0	1	Descarga contínua
0	0	1 / 2	1 / 2	Arco com alta energia
0	0	2	2	Descarga contínua de baixa potência
5	0	0	1 / 2	Descarga parcial envolvendo o papel

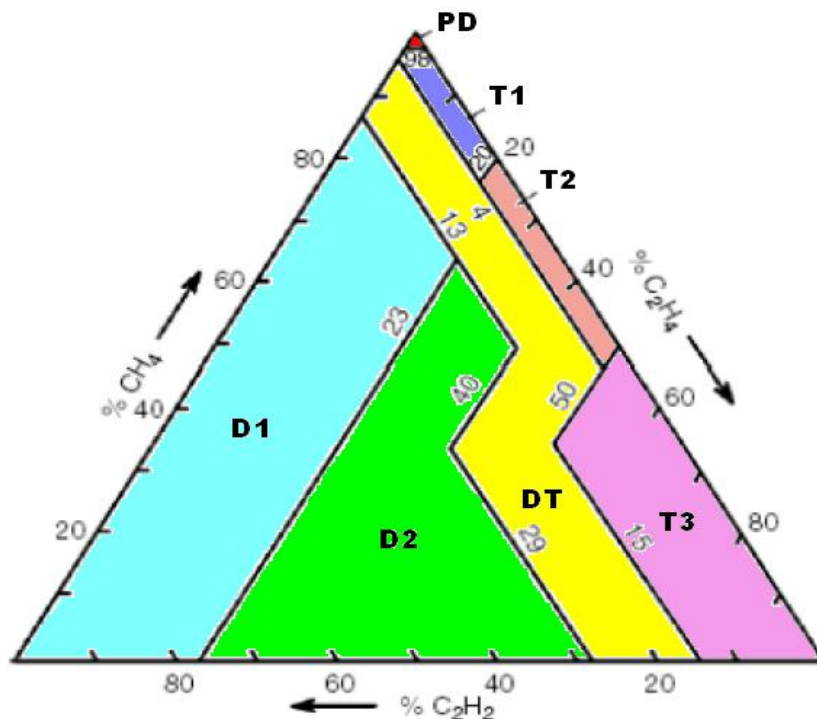
2.2 CRITÉRIO DO TRIÂNGULO DE DUVAL

Duval (1960 apud ARANTES, 2005) afirma que a técnica de análise que considera a concentração de três gases específicos, metano, etileno e acetileno, dissolvidos no óleo de transformadores, possibilita apontar as possíveis causas de falta incipiente, tais como arco elétrico, pontos quentes dentre outros defeitos no interior dos transformadores.

Utilizando um triângulo de análise onde seus lados correspondem ao percentual de acetileno (C₂H₂), metano (CH₄) e etileno (C₂H₄) em relação a soma destes mesmos três gases, para uma dada amostra de óleo, dependendo dos valores percentuais apresentados em

cada gás, uma dada região no Triângulo de Duval será definida e irá corresponder a um determinado diagnóstico conforme apresenta a Figura 1 a seguir.

Figura 1 – Triângulo de Duval.



Onde:

PD = Descargas Parciais (corona)

T1 = Falta Térmica abaixo de 300 °C (pontos quentes)

T2 = Falta Térmica entre 300 ° e 700 °C (pontos quentes)

T3 = Falta Térmica Maiores que 700 °C (pontos quentes)

D1 = Descarga de Baixa Energia (Centelhamento)

D2 = Descarga de Alta Energia (Arco Elétrico $I > 20$ In)

DT = Ocorrência Simultânea de Falta Térmica e Arco

2.3 A NORMA IEC 60599

A IEC 60599 apresenta um método de diagnóstico semelhante aos anteriormente apresentados. A revisão de 1999 apresenta as mesmas relações básicas de concentrações com uma alteração dos limites e principalmente nos casos característicos de falha (ZIRBES, 2005).

O Quadro 3 abaixo identifica o diagnóstico do equipamento de acordo com as relações gasosas obtidas e combinadas entre si.

Quadro 3 - Interpretação da análise de gases de transformadores e reatores segundo a IEC 60599.

CASO	FALHAS CARACTERÍSTICA	C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H4/C2H6
PD	Descarga Parcial	Não Significativo	< 0.1	< 0.2
D1	Descarga de baixa energia	> 1	0.1 a 0.5	> 1
D2	Descarga de alta energia	0.6 a 2.5	0.1 a 1.0	> 2
T1	Sobreaquecimento $t < 300^{\circ}\text{C}$	Não Significativo	> 1, mas não significativo	< 1
T2	Sobreaquecimento $300^{\circ}\text{C} < t < 700^{\circ}\text{C}$	< 0.1	> 1	1 a 4
T3	Sobreaquecimento $T > 700^{\circ}\text{C}$	< 0.2	> 1	> 4

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo final deste trabalho é a aplicação da AGD em óleo mineral isolante como uma ferramenta preditiva de diagnóstico de transformadores, utilizando os critérios tradicionais de avaliação e observando as curvas de evolução dos gases dissolvidos no óleo usando dois transformadores que estão em operação, sendo um pertencente a uma Usina Hidroelétrica e outro instalado em uma planta industrial siderúrgica.

As amostras serão coletadas de ambos os equipamentos a uma periodicidade mensal onde todas as avaliações mencionadas, além da inferência do diagnóstico dos equipamentos poderão ser feitas. Desta forma, o estudo poderá servir como uma ferramenta prática de apoio à decisão nas manutenções dos dois transformadores mencionados, bem como a possibilidade de extensão da metodologia a outros equipamentos pelos gestores de manutenção das respectivas empresas.

REFERÊNCIAS

- ARANTES, J. (2005). **Diagnóstico de Falhas em Transformadores de Potência pela Análise de Gases Dissolvidos em Óleo Isolante Através de Redes Neurais**. Dissertação de Mestrado, Pró-Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal de Itajubá.
- DUVAL, M. e de PABLO, A. (2001). **Interpretation of Gas-In-Oil Analysis Using New IEC Publication 60599 and IEC TC 10 Databases**. IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 17, nº2, p.31-41.
- IEEE Std C57.104-1991. **IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers**.
- MORAIS D., ROLIM J. (2007). **Ferramenta inteligente para detecção de falhas incipientes em transformadores baseada na análise de gases dissolvidos no óleo isolante**. Depto. de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, BRASIL
- SANTOS, L. T. B. **Sistema de Apoio à Decisão para o Diagnóstico de Faltas em Transformadores de Potência**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio.
- ZIRBES R., ROLIM J. **Metodologias para Avaliação e Diagnóstico do Estado de Isolamentos de Papel Impregnado com Óleo Mineral**. Artigo publicado na Revista Controle & Automação/Vol.16 no.3/Julho, Agosto e Setembro 2005