

# MANUTENÇÃO PREDITIVA EM TRANSFORMADORES UTILIZANDO O CRITÉRIO DE ROGERS NA ANÁLISE DE GASES DISSOLVIDOS EM ÓLEO ISOLANTE

JOÃO LUIS REIS E SILVA (1)

## **resumo**

O critério de Rogers é uma metodologia científica aplicada na análise de gases dissolvidos em óleo isolante. Esta metodologia é utilizada como ferramenta preditiva para a obtenção de diagnósticos de falhas incipientes e potenciais em transformadores. Este critério fundamenta-se na análise de correlação de gases dissolvidos presentes no óleo isolante utilizado no transformador.

A aplicação do critério de Rogers permite que as equipes de manutenção e operação possam tomar decisões preventivas, evitando-se assim, a operação e manutenção em transformadores sob situações de risco.

## **1. INTRODUÇÃO**

O transformador é um dos mais importantes equipamentos de um sistema elétrico e suas aplicações abrangem desde concessionárias de energia, indústrias, hospitais a pequenos consumidores. Devido a esta importância o seu perfeito funcionamento é vital para a garantia da operação de um sistema elétrico.

Problemas advindos de um transformador podem causar interrupções no fornecimento de energia e, conseqüentemente, grandes perdas produtivas para os diversos setores da economia.

As técnicas de manutenção comumente utilizadas para a identificação de falhas incipientes e potenciais em transformadores são, na maioria das vezes, difíceis de se aplicar. Isto decorre principalmente da grande variedade de transformadores com potência, utilização e características operacionais diferentes. Um outro fator que dificulta a manutenção deve-se a impossibilidade de se fazer desligamentos periódicos para as intervenções.

---

(1) – Engenheiro Eletricista (UFMG), Pós-Graduando em Manutenção em Sistemas Industriais (CEFET-MG), Coordenador de Manutenção da Cia. Mineira de Metais, Grupo Votorantim.

O advento de novas tecnologias de manutenção possibilitou o aparecimento de novos métodos para a detecção e predição das condições operacionais de um transformador.

Atualmente a mais aceita e conhecida técnica preditiva de manutenção aplicada a transformadores reside no diagnóstico de gases dissolvidos (*Dissolved Gas Analysis - DGA*). Esta técnica possibilita uma alta correlação entre a análise de gases dissolvidos e a natureza das falhas incipientes e potenciais, permitindo uma manutenção mais confiável.

Os capítulos seguintes abordarão a utilização do critério de Rogers como uma nova abordagem de DGA aplicada para a manutenção preditiva em transformadores.

## **2. TRANSFORMADORES**

Um transformador é um dispositivo elétrico estático cuja principal função reside na conversão entre níveis de tensões elétricas. O transformador é composto basicamente de um circuito elétrico em conjunto com um circuito magnético. Em transformadores de potência estes circuitos são montados em estruturas metálicas em forma de tanque. O uso do transformador é muito amplo sendo utilizado desde aplicações domésticas em 110 V até aplicações em transmissão de energia em 500.000 V.

O transformador como qualquer outro equipamento sofre, com o uso e a idade, alterações de suas características originais. Devido ao uso prolongado os transformadores estão sujeitos a estresses elétricos e térmicos, que resultam em desgastes e envelhecimento de seus componentes podendo atingir condições operacionais perigosas às pessoas, instalações e processos.

## **3. ANÁLISE DE GASES DISSOLVIDOS**

O óleo isolante desempenha uma função importante no isolamento e no resfriamento das partes ativas de um transformador e, para o perfeito funcionamento deste, as características físico-químicas do óleo devem ser preservadas.

As propriedades do óleo isolante podem sofrer alterações devido à oxidação, umidade, temperatura, instabilidade elétrica e também devido ao contato com materiais utilizados na construção de transformadores como papel, verniz, madeira, ar, silício, papelão e etc.

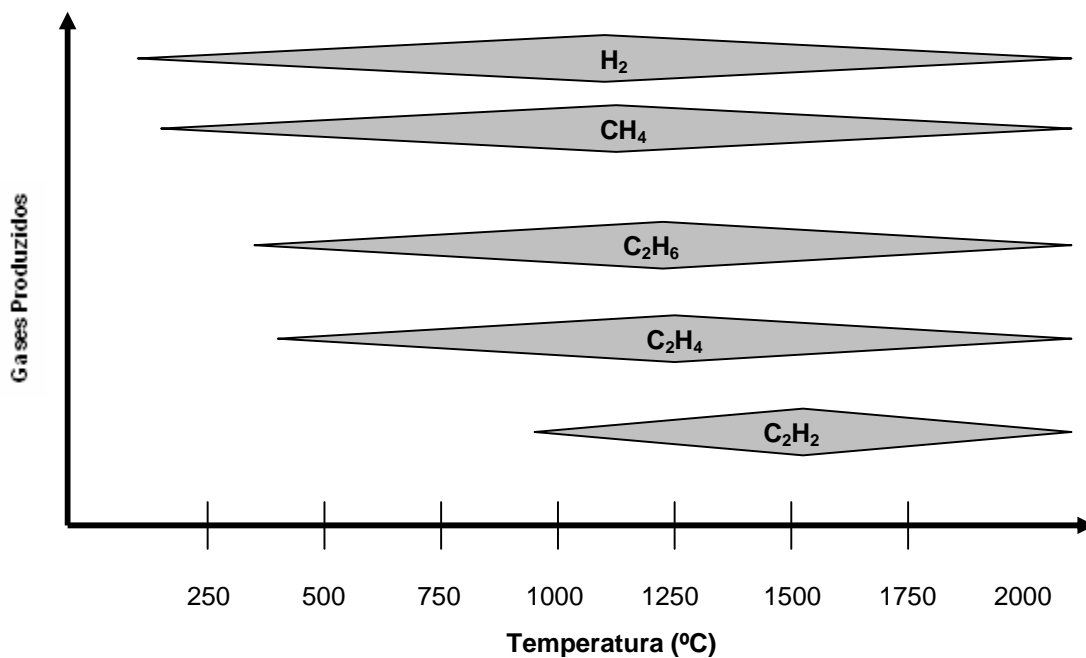
Em condições normais de uso existe uma degradação lenta das propriedades do óleo isolante, contudo, quando o transformador é submetido a distúrbios elétricos

e térmicos, o óleo apresenta níveis de degradação superiores gerando como consequência gases a uma taxa maior que o normal.

Os estudos sobre gases em óleo devido a estresses térmicos e elétricos datam da década de 30, estes estudos mostraram que sob estresse térmico e elétrico, as moléculas de hidrocarbonetos presentes no óleo isolante podem se decompor e formar fragmentos ativos de hidrogênio e hidrocarbonetos. Estes fragmentos se combinam e formam gases como o hidrogênio ( $H_2$ ), metano ( $CH_4$ ), etano ( $C_2H_6$ ), etileno ( $C_2H_4$ ), acetileno ( $C_2H_2$ ) dentre outros.

Na década de 70 modelos termodinâmicos foram propostos para descrever a relação entre o estresse de temperatura e as características dos gases e de acordo com este modelo, a taxa de crescimento de cada gás produzido pode ser calculada para qualquer temperatura do óleo isolante. A figura abaixo ilustra a relação entre a temperatura do óleo e a geração de gases.

Figura 1 – Relação entre Temperatura e Geração de Gases no Óleo Isolante.



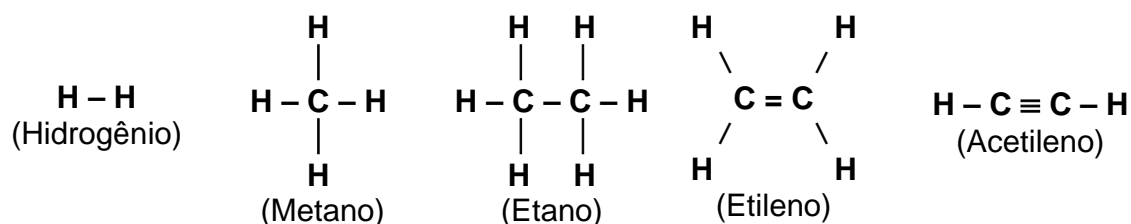
A figura acima possibilita revelar que os gases hidrogênio, metano, etano, etileno e acetileno são gerados seguindo uma ordem crescente de temperatura. O hidrogênio é gerado em baixas temperaturas (100 °C) enquanto o acetileno é gerado em altas temperaturas (1000 °C).

#### 4. O CRITÉRIO DE ROGERS

Em 1973 R. Rogers, com base no modelo termodinâmico de Halstead, desenvolveu um novo método para diagnosticar falhas em transformadores. Tal método foi aperfeiçoado nos anos de 1975 e 1977 resultando em um critério de identificação de falhas com base em correlações de razões de concentrações de gases com os tipos de falhas associados. O critério de Rogers teve grande aceitação industrial, sendo atualmente um dos mais difundidos e confiáveis métodos de DGA para identificação de falhas incipientes em transformadores.

O critério de Rogers utiliza cinco gases para obtenção das correlações, os gases utilizados são: hidrogênio ( $H_2$ ), metano ( $CH_4$ ), etano ( $C_2H_6$ ), etileno ( $C_2H_4$ ) e acetileno ( $C_2H_2$ ). Tais gases são obtidos pela análise cromatográfica do óleo isolante estudado. A figura abaixo mostra a estrutura molecular plana dos gases utilizados.

Figura 2 – Estrutura Molecular Plana das Moléculas de Gases Utilizados no Critério de Rogers.



As razões de concentrações de gases são obtidas através da definição de quatro razões: R1, R2, R3 e R4, conforme mostrado na tabela 1. Estas razões serão utilizadas posteriormente para a codificação das falhas.

Tabela 1 – Tabela para as Razões entre Gases.

Razões de Gases			
R1	R2	R3	R4
$CH_4 / H_2$	$C_2H_6 / CH_4$	$C_2H_4 / C_2H_6$	$C_2H_2 / C_2H_4$

Apesar das razões representarem um número adimensional, as concentrações dos gases devem ser expressas na mesma unidade.

Uma vez determinado os valores para as quatro razões utiliza-se a tabela 2 para o processo de codificação das razões. Este processo consiste em identificar em que intervalo cada uma das razões pertencem. A cada intervalo determinado está associado diretamente um código.

Tabela 2 – Tabela para as Razões entre Gases.

<b>Intervalo das Razões</b>	<b>Código</b>
$0 < R1 \leq 0,1$	<b>1</b>
$0,1 < R1 < 1$	<b>2</b>
$R1 = 0$	<b>2</b>
$1 \leq R1 < 3$	<b>3</b>
$R1 \geq 3$	<b>4</b>
$R2 < 1$	<b>0</b>
$R2 \geq 1$	<b>1</b>
$R3 < 1$	<b>0</b>
$1 \leq R3 < 3$	<b>1</b>
$R3 \geq 3$	<b>2</b>
$R4 < 0,5$	<b>0</b>
$0,5 \leq R4 < 3$	<b>1</b>
$R4 \geq 3$	<b>2</b>

É importante frisar que para cada razão deve-se associar somente um único código, desta forma após relacionar as razões de gases com a tabela 2, obtém-se uma seqüência de quatro códigos, tal seqüência será comparada com as possíveis seqüências de códigos da tabela 3.

A tabela 3 interpreta a seqüência de código e relaciona-as com o diagnóstico de falhas. É importante observar que a seqüência deve ser lida da esquerda para a direita respeitando a seqüência de códigos na ordem crescente, ou seja, R1-R2-R3-R4.

Tabela 3 – Tabela de Interpretação de Seqüências de Códigos.

<b>Interpretação da Seqüência de Códigos</b>				
<b>Código R1</b>	<b>Código R2</b>	<b>Código R3</b>	<b>Código R4</b>	<b>Diagnóstico de Falha</b>
2	0	0	0	Deterioração normal.
1	0	0	0	Descarga parcial (efeito Corona).
3	0	0	0	Leve sobreaquecimento – abaixo de 150 °C.
4	0	0	0	Leve sobreaquecimento – abaixo de 150 °C.
3	1	0	0	Sobreaquecimento – 150 °C a 200 °C.
4	1	0	0	Sobreaquecimento – 150 °C a 200 °C.
2	1	0	0	Sobreaquecimento – 200 °C a 300 °C.
2	0	1	0	Sobreaquecimento geral em condutores.
3	0	1	0	Corrente de circulação nas bobinas.
3	0	2	0	Corrente de circulação entre bobinas e tanque com sobreaquecimento de junções.
2	0	0	1	Descarga sem fluxo de energia.
2	0	1	1	Arco com fluxo de energia.
2	0	1	2	Arco com fluxo de energia.
2	0	2	1	Arco com fluxo de energia.
2	0	2	2	Arco com fluxo de energia.
2	0	2	2	Centelhamento contínuo para potencial flutuante.
1	0	0	1	Descarga parcial com sinal.
1	0	0	2	Descarga parcial com sinal.

Com pode ser observado, a tabela 3, através da seqüência de código obtida para as razões dos gases, fornece uma descrição da possível falha que está ocorrendo num transformador. Observa-se também que podem existir seqüências que não estão diagnosticadas na tabela, neste caso, o diagnóstico torna-se não conclusivo existindo então uma indeterminação no diagnóstico de falha do transformador.

## 5. EXEMPLO DE APLICAÇÕES DO CRITÉRIO DE ROGERS

O exemplo a seguir ilustra a aplicação do critério de Rogers para a análise de óleo isolante de um transformador retificador de uma indústria de metalurgia. A tabela 4 mostra os dados de placa do transformador e a tabela 5 os resultados da análise obtidos pelo critério de Rogers.

Tabela 4 – Dados de Placa do Transformador.

<b>Dados de placa do Transformador</b>	
Fabricante	ABB
No. Série	59161
Ano fabricação	1992
Tensão	13,8 kV
Potência	23 MVA
Volume de Óleo	28.310 l

Tabela 5 – Resultado da Aplicação do Critério de Rogers para um Transformador Retificador.

Data	Razão de Gases				Código de Interpretação				Diagnóstico
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	
22/01/96	0,2	0,4	1,3	0,0	2	0	1	0	Sobreaquecimento geral em condutores.
13/11/96	0,2	0,2	1,5	0,0	2	0	1	0	Sobreaquecimento geral em condutores.
10/03/98	0,2	0,2	4,4	0,0	2	0	2	0	Não conclusivo.
20/12/00	1,4	0,2	2,3	0,0	3	0	1	0	Corrente de circulação nas bobinas.
21/03/01	0,6	0,6	3,4	0,0	2	0	2	0	Não conclusivo.
03/12/01	2,0	0,3	2,3	0,1	3	0	1	0	Corrente de circulação nas bobinas.
29/01/02	0,9	0,4	2,4	0,4	2	0	1	0	Sobreaquecimento geral em condutores.
29/04/02	500	0,0	100	0,0	4	0	2	0	Não conclusivo.
25/10/02	0,3	0,8	1,9	0,0	2	0	1	0	Sobreaquecimento geral em condutores.

Pela análise dos resultados acima o transformador retificador apresenta um constante sobreaquecimento nos condutores.

Durante o período de 1996 a 2001 foram feitos tratamentos termo-vácuo e tratamento de regeneração no óleo isolante. Após a utilização do critério de Rogers em 2002 o problema do sobreaquecimento foi confirmado pela manutenção.

## 6. CONCLUSÃO

O critério de Rogers possibilita, em conjunto com a análise cromatográfica e DGA do óleo isolante, um diagnóstico preditivo de fundamental importância para o monitoramento de parâmetros funcionais de um transformador. Desta forma as equipes de manutenção e operação podem antecipadamente conhecer os potenciais problemas do transformador e tomar as ações cabíveis para assegurar as instalações, pessoas e processos de futuros problemas que possam vir a acontecer.

Atualmente o critério de Rogers vem se estabelecendo com uma técnica amplamente difundida e aplicada nos meios industriais, devido principalmente pela simplicidade e confiabilidade para estabelecer diagnósticos de falhas incipientes e potenciais. Esta metodologia permite o acompanhamento dos parâmetros funcionais do transformador garantindo confiabilidade e segurança para operação e manutenção.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] IEEE. *IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers*. IEEE Standards, Std C57.104-1991.
- [2] MYERS S. D, KELLY J. J. and PARRISH R. H. *A Guide to Transformer Maintenance – T.M.I Transformer Maintenance Institute, Division, S. D. Myers Inc. Akron, Ohio, USA.*
- [3] SEN P. C. *Principles of Electric Machines and Power Electronics*. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley & Sons Inc, New York, 1996.