

# Pesquisa para Diagnóstico de Defeitos Internos na Parte Ativa de Transformadores de Potência (um caso prático)

G. F. B. Oliveira Jr., CTEEP, L. E. D. Santos, CEPEL e R.C. Menezes, CEPEL

**Resumo** - O objetivo deste projeto é o desenvolvimento e implantação de metodologia de análise para avaliação de possíveis defeitos elétricos, térmicos e mecânicos na parte ativa de transformadores de potência, cuja falha provocaria transtornos na operação do sistema elétrico de potência.

**Palavras-chave** - Avaliação Integrada de Transformadores, Diagnóstico, Transformador de Potência.

## I. INTRODUÇÃO

O trabalho se baseia num grupo de equipamentos selecionados por critérios de "ranqueamento" (estratégico, confiabilidade, etc.) para os quais, inicialmente, serão aplicadas técnicas de avaliação, quais sejam:

- Quantificação do nível de descargas parciais (monitoramento da parte ativa);
  - Localização de defeitos incipientes, inclusive mecânicos, via emissão acústica (monitoramento da região compreendida entre as bobinas de AT e o tanque);
  - Tensão de retorno (avaliação da isolamento sólida);
  - Resposta em Frequência/ Impedância Terminal;
  - Estimativa da vida residual do isolamento via correlação entre grau de polimerização e 2-furfuraldeído;
- Posteriormente, a partir de correlações entre os resultados disponíveis, obter-se-á a classificação dos equipamentos quanto a potencialidade de ocorrência de falha intempestiva.

Resultados inéditos de correlações podem ser obtidos entre tensão de retorno e 2-furfuraldeído, o que propiciará melhor avaliação da isolamento sólida do equipamento sem necessidade de intervenção para coleta de amostras de papel.

## II. METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia utilizada foi uma associação de técnicas distintas, inclusive com um "ranqueamento prévio", aplicadas a um objetivo comum, que é a avaliação de transformadores e obtenção de um referencial para possíveis intervenções visando aumento da confiabilidade, implantação de monitoramento (periódico ou on-line) e prevenção de possíveis ocorrências com esses equipamentos.

### A. Descargas parciais acústica (DPA)

A metodologia acústica disponível atualmente se utiliza de 20 sensores do tipo piezoelétrico, os quais são montados nas faces externas do equipamento por meio de fixadores magnéticos. O sistema de aquisição dos dados é controlado por meio de um microcomputador e os resultados obtidos são apresentados na forma gráfica mostrando a localização de possíveis pontos de descarga interna ao equipamento na forma tridimensional.

O ensaio não requer necessariamente que o equipamento seja desligado e desconectado do sistema. Entretanto, em alguns casos, se torna necessária a realização de algumas manobras, ou até mesmo o desligamento do equipamento, para obtenção de informações adicionais.

Para os ensaios, foram empregados 20 (vinte) sensores de emissão acústica distribuídos uniformemente sobre a superfície externa do tanque do transformador, conforme a Figura 1.

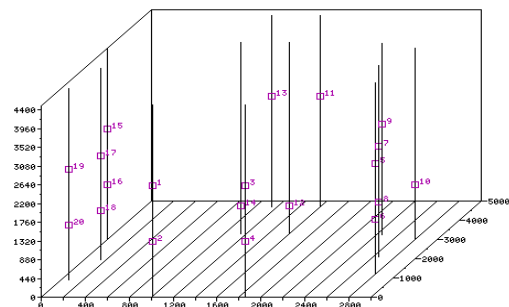


Figura 1 – Distribuição dos sensores (DPA)

### B. Descargas parciais eletromagnética (DPE)

No método eletromagnético, utiliza-se o tap capacitivo das buchas de alta tensão como capacitor de acoplamento, conforme a Figura 2, colocando-se em série uma impedância de medição para terra (ou um TC). Utiliza-se um instrumento portátil digital para apresentação do mapa de descargas parciais sincronizadas em relação à frequência industrial.

As Figuras 3 e 4 apresentam os mapas da medição para o ruído de fundo e uma das fases do transformador ensaiado.

Pode-se observar valores elevados de ruído de fundo, provocado por efeito corona nos diversos equipamentos adjacentes a instalação.

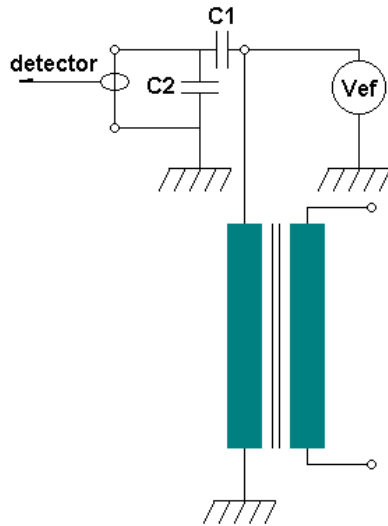


Figura 2 – Circuito de ensaio (DPE)

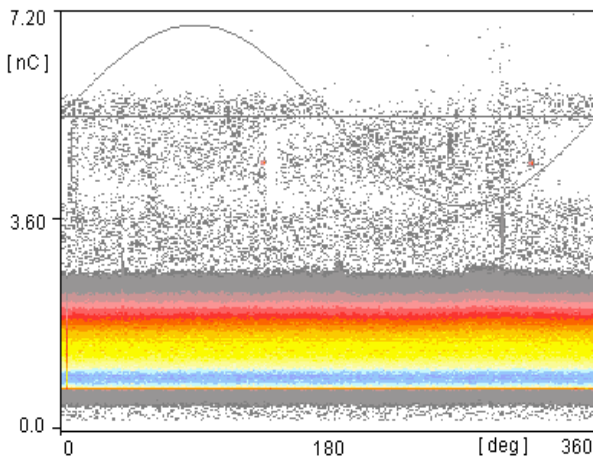


Figura 3 – Ruído de fundo, 6000pC (DPE)

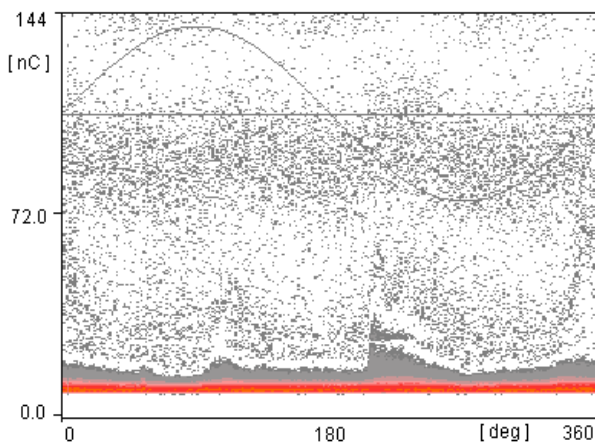


Figura 4 – Medição em uma fase (DPE)

### C. Resposta em frequência e impedância terminal ( $Rf/Z$ )

A medição da resposta em frequência, ou seja, medição da relação de transformação em frequências distintas de 60 Hz, é realizada aplicando-se um sinal senoidal (entre  $1V_{ef}$  e  $7V_{ef}$ ), com frequência variável na faixa de 20 Hz a 4 MHz, a um dos enrolamentos do transformador de potência, medindo-se a transferência deste sinal para outro enrolamento.

Um diagrama simplificado do circuito de medição, com indicação dos instrumentos utilizados, está mostrado na Figura 5.

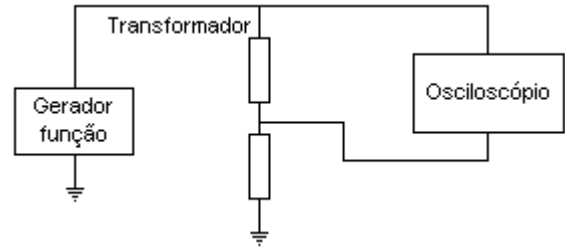


Figura 5 – Circuito de medição resposta em frequência

Este tipo de medição permite avaliar as amplificações (ressonâncias) e atenuações (anti-ressonâncias), indicando a frequência onde ocorrem. Estes valores são normalizados para todas as medições de transferência de tensão entre os enrolamentos H-X e H-Y, X-H e X-Y, Y-H e Y-X, tomando-se como base a relação de transformação à frequência de 60 Hz.

Foram realizadas medições de impedâncias entre os terminais H1-H0, X1-X0, Y1-Y2 com os terminais X abertos.

O módulo e o ângulo da impedância própria vista de cada par de terminais de interesse foram medidos por meio de uma ponte RLC QuadTech modelo 7600 (até 2MHz) e uma ponte RLC HP4192A (de 2MHz até 5MHz), conforme mostrado na Figura 6.

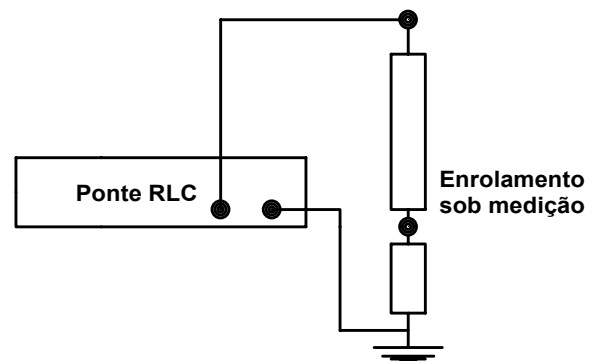


Figura 6 – Circuito de medição impedância terminal

### D. Tensão de retorno (RVM)

A técnica da tensão de retorno aplicada a transformadores tem por objetivo principal avaliar o estado da isolamento do papel isolante, principalmente no que diz respeito ao teor de umidade, isto porque, os processos de polarização e relaxação dielétrica em estruturas isolantes são fortemente influenciados pela presença de moléculas polares tais como a da água.

Um transformador produzido sob condições normais é na realidade bastante seco contendo um nível de umidade relativa no óleo em torno de algumas unidades de ppm e menos que 0,5% igualmente distribuída no papel.

Com o envelhecimento de um transformador, a umidade no papel tende a aumentar como um processo natural. Isto ocorre porque as reações químicas que envolvem as quebras das cadeias de celulose geram alguns subprodutos, dentre eles a água. De acordo com a literatura, sob condições normais de operação é admitido para um transformador um acréscimo de umidade no papel aproximadamente igual a :

$H(\%) = 0,5 + A * 0,075$ , onde  $A$  representa a idade do transformador em anos.

#### E. Cromatografia gasosa

Identifica possíveis falhas elétricas e/ou térmicas no transformador através da análise de gases dissolvidos no óleo isolante. Requer a retirada de amostras de óleo para análise em laboratório. Normalmente faz-se amostragem periódica do óleo para análise cromatográfica durante toda a vida do transformador fazendo-se um histórico da evolução de certos gases chaves que são gerados por falhas elétricas ou térmicas.

#### F. Grau de polimerização (GP)

Esta técnica identifica problemas relacionados a deterioração ou envelhecimento do isolante sólido do transformador. Pode-se através desta técnica identificar se o envelhecimento do equipamento esta se dando de forma normal ou acelerada estimando-se com isso a vida residual do mesmo. Esta técnica requer a retirada de amostras do papel de algumas regiões do transformador, exigindo portanto a abertura do equipamento. É normalmente utilizada em unidades que passam por processo de manutenção ou repotencialização.

#### G. Furfuraldeído (2-Fal)

Assim como a técnica de GP, o 2-Fal identifica o envelhecimento do papel isolante do transformador através da análise de furanos dissolvidos no óleo isolante. A análise é feita em laboratório e requer a retirada de amostras de óleo.

### III. RESULTADOS OBTIDOS

A título de exemplo, descreve-se a seguir os resultados práticos obtidos na aplicação dos ensaio em um banco de transformadores monofásicos de 50MVA, 440-138-13,8kV.

No momento do monitoramento das unidades fase A e fase C, algumas atividades espúrias não significativas foram registradas no método de descargas parciais acústica revelando a sensibilidade dos sensores e confirmando ausência de atividades de descargas parciais internas nos transformadores.

Não foi possível a realização do Monitoramento de Descargas Parciais utilizando a metodologia Eletromagnética devido ao ruído de fundo intenso, na ordem de 6.000 pC (Figura 2), o qual prejudicou sobremaneira a calibração e a posterior medição nas unidades fase A, fase B e fase C. Além desse fato o método requer desligamento dos transformadores e nova energização para o monitoramento, fato esse nem sempre viável se considerarmos as prioridades da Operação do Sistema.

O ensaio de resposta em frequência apresentou os pontos de ressonância dos transformadores conforme Tabela 1.

No ensaio de impedância terminal obteve-se os seguintes resultados: para os terminais H1-H0, nas posições de tap 3, a variação da impedância em função da frequência apresenta um perfil típico com um comportamento indutivo dos enrolamentos até aproximadamente a frequência de 300 Hz. A partir desta frequência até aproximadamente 0,5 MHz, os espectros de impedância apresentam um comportamento predominantemente capacitivo.

Para os terminais X1-X0, com o tap nas posições 3, a impedância apresentou um comportamento indutivo até a frequência de 300 Hz. A partir desta frequência o comportamento torna-se predominantemente capacitivo até a frequência de aproximadamente 4 kHz, voltando a condição indutiva.

aplicação	medição	frequências de ressonâncias (kHz)				
		fase A	fase B	fase C	fase res.	
H1-H0	X1-X0	12,4	12,4	11,7	12,4	
		83,6	88,6	83,6	83,6	
		118,0	112,0	112,0	118,0	
	Y1-Y2	12,4	12,4	11,7	12,4	
		118,0	112,0	83,6	88,6	
		251,0	237,0	105,0	118,0	
		600,0	533,0	237,0	251,0	
		800,0	800,0	533,0	423,0	
		951,0		800,0	533,0	
				1.500,0	898,0	
				1.500,0		
	X1-X0	H1-H0	4,12	3,7	3,7	3,9
		Y1-Y2	62,6	66,4	62,6	70,4
			188,0	93,4	93,4	251,0
251,0			188,0	178,0		
Y1-Y2	H1-H0	3,3	3,1	3,1	3,3	
	X1-X0	23,4	23,4	23,4	23,4	

Tabela 1 – Frequências de ressonâncias

Próximo a 10 kHz, retorna à característica capacitiva até aproximadamente 60 kHz. Para frequências superiores observa-se uma alternância entre um comportamento capacitivo e indutivo caracterizando alguns pontos de ressonância.

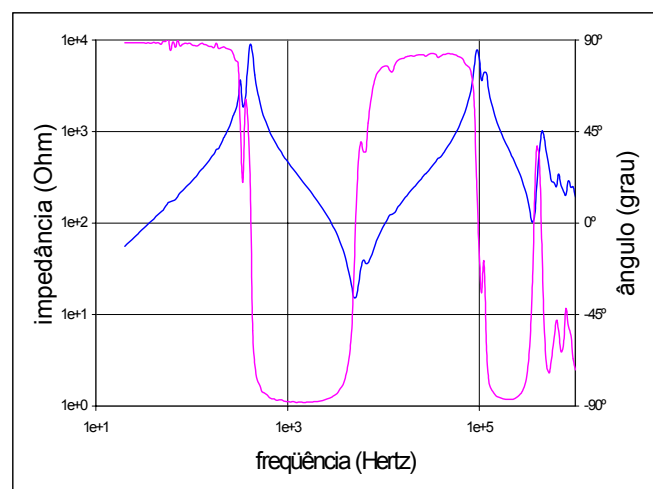


Figura 7 – Exemplo de impedância terminal

Para os terminais Y1-Y2, a impedância apresentou um comportamento indutivo até a frequência de 300 Hz. A partir desta frequência o comportamento torna-se predominantemente capacitivo até a frequência de aproximadamente

3 kHz. Para frequências superiores observa-se uma alteração entre um comportamento capacitivo e indutivo caracterizando alguns pontos de ressonância.

Segundo os espectros de polarização apresentados nas Figuras 8, 9 e 10, referentes aos transformadores fases A, B e C, o teor de umidade está compatível com a idade dos mesmos.

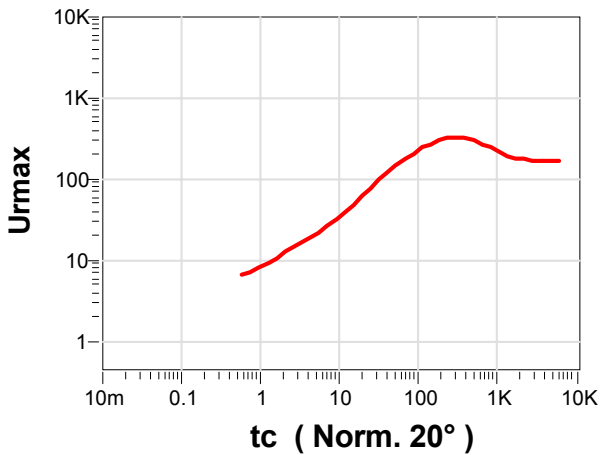


Figura 8 – RVM fase A

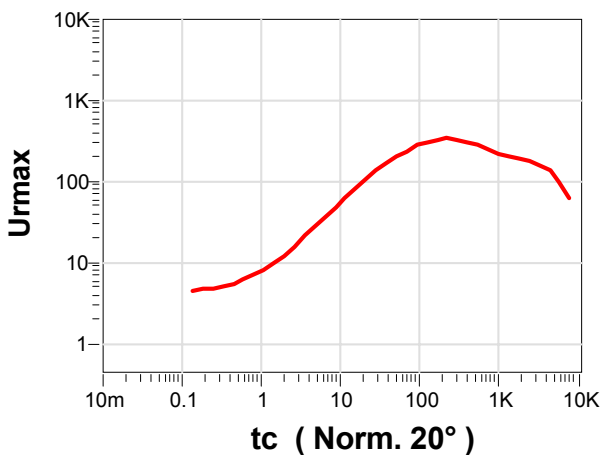


Figura 9 – RVM fase B

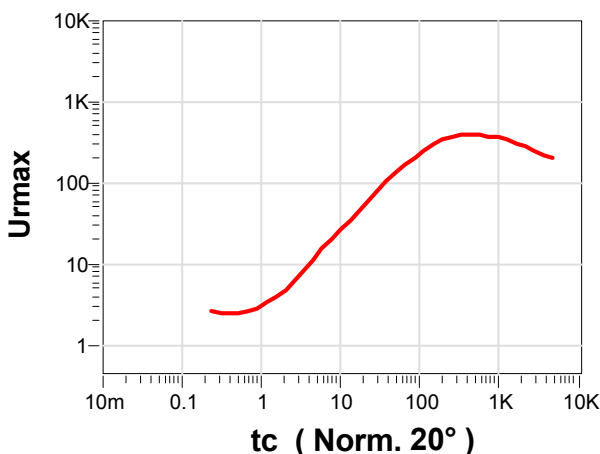


Figura 10 – RVM fase C

Para o transformador fase A, embora o teor de umidade seja totalmente compatível com sua idade, observa-se um espectro com tendência de formação de um patamar para tempos longos, ou seja, tempos situados à direita da constante de tempo dominante do espectro. Segundo experiências anteriores [1] esta tendência pode estar relacionada a um

envelhecimento avançado do papel isolante ou até mesmo a formação de "borra" devido a degradação do óleo isolante.

#### IV. CONCLUSÃO

Algumas das técnicas apresentadas ainda são recentes e requerem um estudo maior de casos para um desenvolvimento mais específico de diagnósticos de problemas [2]. A criação de banco de dados para cada método e o desenvolvimento de sistemas especialistas para sua análise é uma necessidade.

Se considerarmos uma unidade ou um banco de transformadores em uma análise pontual, a aplicação das técnicas de ensaios, da forma como se apresentam é totalmente viável.

Por outro lado, se o objetivo é estabelecer uma rotina periódica de ensaios para uma família de equipamentos que envolva, por exemplo, todos os transformadores de potência de um sistema, essa técnica teria um custo operacional que deve ser considerado, bem como impactaria em aumento de períodos de desligamentos dos transformadores sob análise.

Algumas das técnicas apresentadas, a saber, medição de descargas parciais pelo método acústico (DPA), determinação do grau de polimerização pelo conteúdo de furanos no óleo isolante e cromatografia gasosa, são métodos de diagnóstico que não necessitam desligamento para sua realização sendo portanto extremamente positivas.

Essa tendência de procurar novas técnicas que não necessitem desligamentos tem se mostrado não só conveniente como também necessária, uma vez que os períodos de para manutenções tem se tornado cada vez mais curtos e escassos.

#### V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

##### Relatórios Técnicos:

- [1] Alexander G. Schlag "The Recovery Voltage Method for Transformer Diagnosis", Tettex Instruments.

##### Artigos em Anais de Conferências (Publicados):

- [2] F. A. Chagas, "Diagnóstico Integrado de Transformadores de Potência – Aplicações", XV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, GSE/18, 1999.