



## ENREG

# APLICAÇÃO DE EMISSÃO ACÚSTICA PARA DIAGNÓSTICO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS DE ALTA TENSÃO

Oswaldo G. dos Santos Filho<sup>1</sup>, Sergio L. Zaghetto<sup>1</sup>, Francisco F. Silva Neto<sup>1</sup>  
Fernando de S. Brasil<sup>1</sup> Reinaldo C. Leite<sup>1</sup>

*Copyright 2010, ABENDI.*

*Trabalho apresentado durante a 8ª Encontro Regional de END e Inspeção.*

*As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).*

## SINOPSE

---

Dentre as diversas técnicas disponíveis para avaliar a condição de equipamentos elétricos de geração e transmissão de energia elétrica, a emissão acústica apresenta-se como uma alternativa vantajosa. Aplicado em transformadores e reatores de alta tensão, o ensaio de emissão acústica identifica e localiza sinais acústicos iniciados por descargas parciais elétricas no seu interior e que se propagam através do óleo isolante até a superfície do tanque, onde são detectadas por sensores montados em sua superfície. O ensaio de emissão acústica é realizado com o equipamento energizado, não sendo necessário, portanto, a sua retirada de operação para execução do ensaio. Utilizado em conjunto com outras técnicas, como a análise dos gases dissolvidos no óleo isolante, possibilita melhorar a confiabilidade do diagnóstico da condição destes equipamentos. É relatada a experiência adquirida pelos autores com a utilização da emissão acústica para avaliar a condição operacional de transformadores e reatores que operam no nível de tensão de até 500 kV em uma empresa de energia elétrica, sendo que alguns destes equipamentos foram submetidos a inspeções internas para confirmação do diagnóstico. Os resultados obtidos demonstram a eficácia da emissão acústica como ferramenta de diagnóstico da condição operativa de transformadores e reatores de alta tensão.

## 1. Introdução

---

Transformadores e reatores de potência representam uma importante parte dos ativos de uma empresa de energia elétrica. Falhas inesperadas nestes equipamentos podem levar a grandes perdas financeiras. Desta forma, avaliar a condição operativa destes equipamentos é importante para avaliar o risco de falha e identificar a necessidade de ações de manutenção necessárias, que podem ser programadas no curto, médio e longo prazo.

Uma das técnicas disponíveis para esta avaliação é a análise de gases dissolvidos no óleo isolante, que pode identificar a ocorrência de falhas como arcos elétricos, descargas parciais e aquecimento [1]. Embora esta seja uma técnica consagrada no setor elétrico e de baixo custo, não é capaz de fornecer uma informação valiosa, que é a identificação do local da falha no equipamento.

A emissão acústica pode fornecer esta informação e, em complementação à análise de gases dissolvidos e com o conhecimento de detalhes construtivos dos equipamentos, pode ser usada com o objetivo de melhorar a qualidade do seu diagnóstico

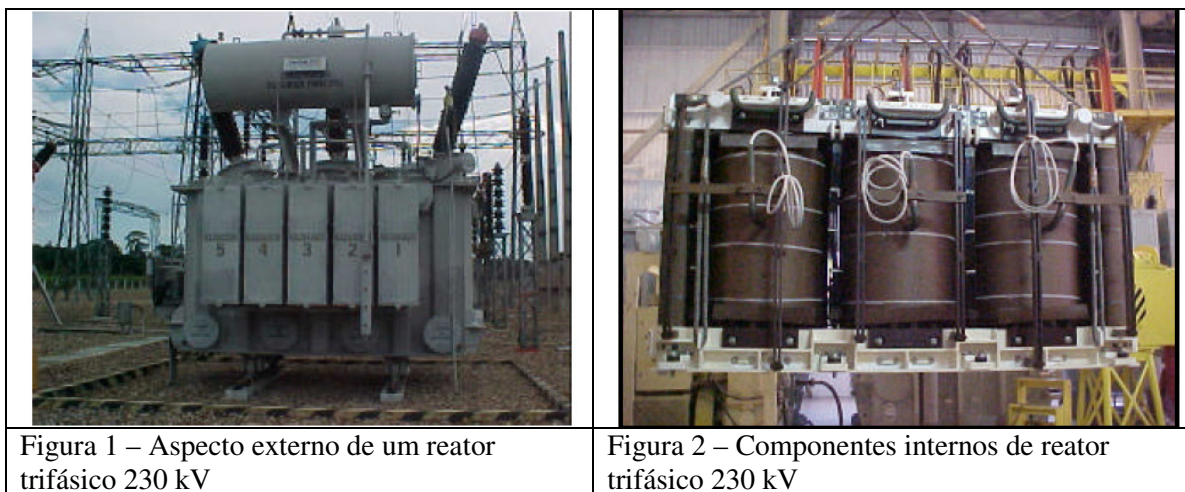
---

<sup>1</sup> Engenheiro Eletricista – ELETRONORTE

## 2. Aspectos construtivos de transformadores e reatores de potência [2], [3]

---

Transformadores e reatores de potência têm distintas funções em um sistema elétrico, porém são bastante semelhantes no seu aspecto construtivo. A figura 1 ilustra um reator de potência, apresentando o seu aspecto externo, em que são evidenciados o tanque, onde todos os componentes são acondicionados e imersos em óleo isolante, que, por sua vez, tem a dupla função de propiciar a isolamento elétrica necessária e resfriar o equipamento. São destacados, também, os radiadores, que facilitam a troca de calor com o ambiente e as buchas, que são os elementos de conexão entre o sistema elétrico externo e a parte ativa do equipamento, situada no interior do tanque. A figura 2 destaca o núcleo magnético e os enrolamentos, removidos do tanque.



Os enrolamentos são constituídos por condutores de cobre de alta condutividade, para minimizar as perdas por efeito Joule, sendo revestidos de papel e espaçadores de papelão especial, que garantem a isolamento elétrica e apoio mecânico para suportar os esforços dinâmicos que ocorrem, tanto em condições normais, como anormais, de operação.

Os transformadores possuem opção para compensação de pequenos desvios (  $\pm 10\%$  ) na tensão de operação, utilizando-se de derivações nos enrolamentos, conectando ao circuito elétrico um número adequado de espiras. Os dispositivos comutadores de derivações possuem dois tipos básicos de projetos: No mais simples ( conhecido como comutador de derivações sem carga ), o transformador necessita estar desenergizado para que se possa proceder à mudança de conexão elétrica das derivações, manualmente. Em outro tipo de projeto, mais complexo ( o comutador de derivações sob carga) possibilita que a comutação das derivações seja feita com o transformador em serviço e sob carga, por intermédio de um mecanismo motorizado, que pode, inclusive ser operado automaticamente. O comutador de derivações sem carga raramente é ajustado ( quase sempre, uma única vez, quando da entrada em operação do transformador ), enquanto que o comutador sob carga deve ser confiável o suficiente para suportar várias operações diárias, durante anos, sem apresentar falhas.

## 3. Falhas em transformadores e reatores e características dos sinais acústicos

---

O principal fator causador de falhas importantes em transformadores e reatores é a perda de isolamento elétrica. Mesmo defeitos de outra natureza, como os de origem mecânica ou térmica, podem evoluir para uma condição de falha catastrófica por colapso da isolamento elétrica.

Descargas parciais [4] consistem na condução localizada em parte do dielétrico responsável pela isolamento entre dois condutores, em virtude de o campo elétrico nesse ponto ser maior do que a rigidez dielétrica do material. Este fenômeno geralmente ocorre em cavidades, bolhas ou trincas, no interior do isolante. Apesar da energia liberada relativamente baixa, a recorrência de descargas parciais acaba degradando o dielétrico onde a mesma ocorre, podendo levar a um colapso da isolamento e a uma falha catastrófica do equipamento. As descargas parciais provocam a decomposição do óleo isolante, produzindo principalmente hidrogênio e outros gases, que se dissolvem no óleo e que podem ser detectados por meio da cromatografia gasosa. Do ponto de vista acústico, a descarga parcial é um fenômeno transitório de curta duração (da ordem de microssegundos), produzindo sinais acústicos de baixa energia, curta duração e frequência elevada, na faixa de 100 a 300 kHz [5]-[7].

Por outro lado, no arco elétrico, toda a distância de separação entre dois condutores, formada por um material dielétrico, é vencida numa corrente elétrica permanente, após ser ultrapassado o limite de rigidez dielétrica do material isolante. Por envolver maiores quantidades de energia, grandes quantidades de hidrogênio e acetileno são produzidas na decomposição do óleo isolante e podem ser identificados na análise de cromatografia gasosa. Sinais acústicos produzidos por arcos elétricos no interior de transformadores caracterizam-se por frequências médias menores que no caso de descargas parciais (tipicamente 50 a 100 kHz) e maiores durações [5]-[7].

#### **4. Ensaio de emissão acústica em transformadores e reatores [8] [9]**

---

O ensaio de emissão acústica em transformadores e reatores de potência é feito com o equipamento energizado e sob carga. É desejável coletar sinais durante cerca de 24 horas, tempo ao longo do qual o equipamento sob ensaio é esêrado passar por todos os níveis de carga aos quais é submetido durante sua operação normal. Desta forma, é possível estabelecer correlações entre o nível de carga do equipamento e sua atividade acústica. Normalmente, de quatro a seis sensores acústicos instalados em cada face do equipamento são suficientes para uma boa cobertura dos sinais.

### **5 Estudos de casos**

---

#### **5.1: Transformador Trifásico 230 / 69 / 13,8 kV 100 MVA**

Este transformador, mostrado na figura 3, apresentava presença de acetileno dissolvido no óleo isolante, revelado pela análise gascromatográfica, indicando a ocorrência de defeito elétrico (arco). O ensaio de emissão acústica possibilitou localizar uma região no transformador, indicada na figura 4, que representa em vistas frontal e superior os eventos localizados. Esta região corresponde, no transformador, à posição do comutador de derivações sem carga. A frequência média dos sinais, com quantidade relevante de sinais de frequência relativamente elevada, da ordem de 100 kHz, conforme mostrado na figura 5, é típica de fenômenos de natureza elétrica, confirmando o diagnóstico já manifestado pela análise de gases dissolvidos, porém agora revelando a possível localização da falha

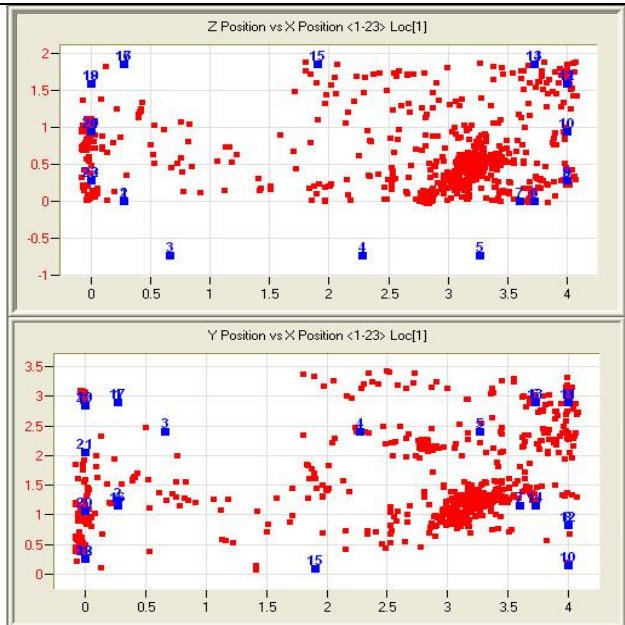
Uma inspeção interna no transformador confirmou o defeito em um dos contatos do comutador de derivações sem carga, mostrado na figura 6, que apresentava posicionamento inadequado, resultando em aquecimento, carbonização do óleo e conseqüente formação de descargas elétricas.

.

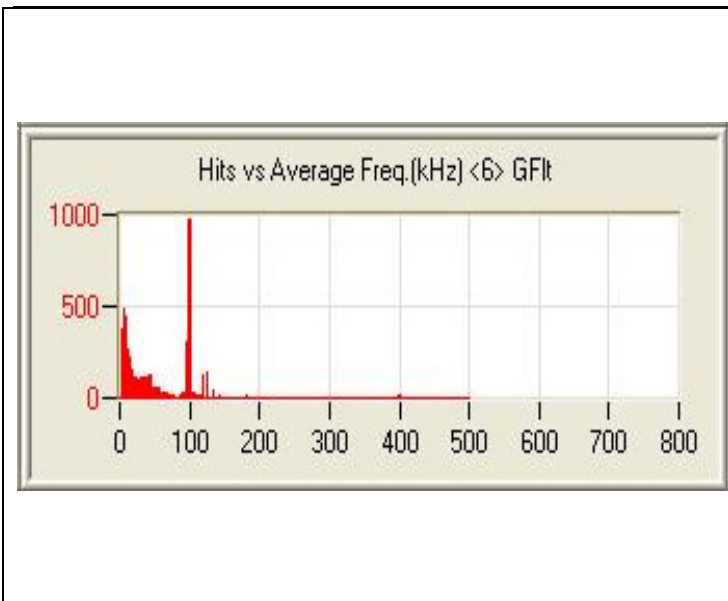
---



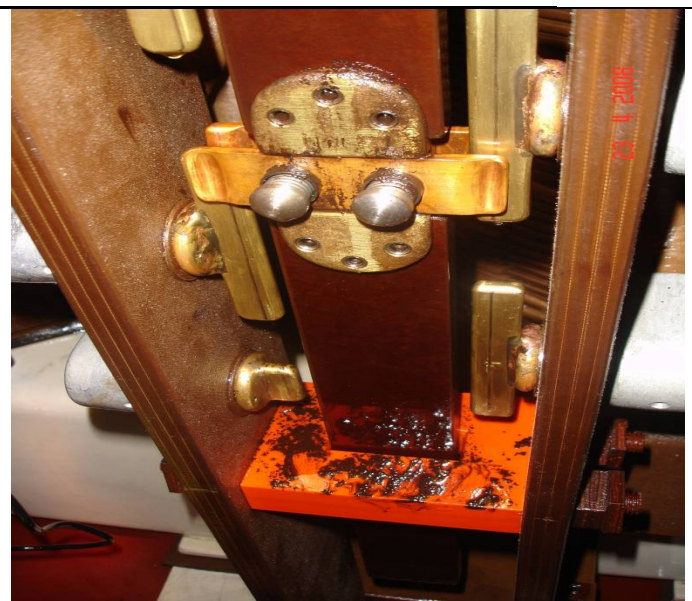
**Figura 3 – Vista geral do transformador trifásico 230/69 kV ensaiado**



**Figura 4 – Eventos localizados no ensaio de emissão acústica: Vista frontal (abaixo) e de topo (acima)**



**Figura 5 – Transformador 230/69/13,8 kV.Frequência média dos sinais detetados**



**Figura 6 – Detalhe das condições encontradas no comutador de derivações sem carga.**

**5.2 - Reator monofásico, 500 kV / 50 MVAR**

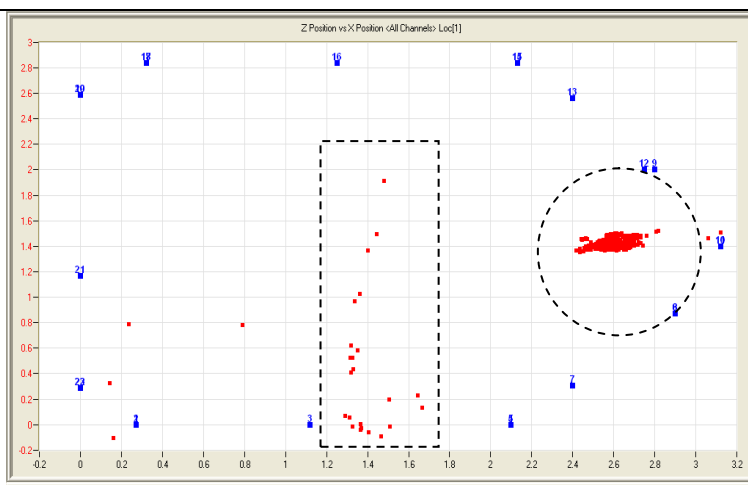
Neste reator, ilustrado na Figura 7, o ensaio de emissão acústica indicou duas regiões de atividades, conforme a Figura 8, com características distintas. Uma delas, assinalada com um círculo, apresentava atividade contínua, localizada na área sob a bucha de 500 kV, emitia sinais com frequência relativamente baixa, centrada em torno de 20 kHz, conforme o gráfico superior da Figura 9, sugerindo que a sua fonte não estaria associada a descargas parciais ou arcos elétricos. Esta

característica está em concordância com a análise de gases dissolvidos, que também não indica presença de gases associados a esses fenômenos em quantidade relevante. Contudo, em função de ser a bucha de alta tensão um componente crítico para a integridade do reator, foi programada uma inspeção no equipamento, quando foram encontradas frouxas as estruturas de fixação da parte inferior da bucha, na parte interna do reator, indicada na Figura 10. Estas fixações foram reapertadas, evitando, assim, a evolução do defeito para uma condição perigosa.

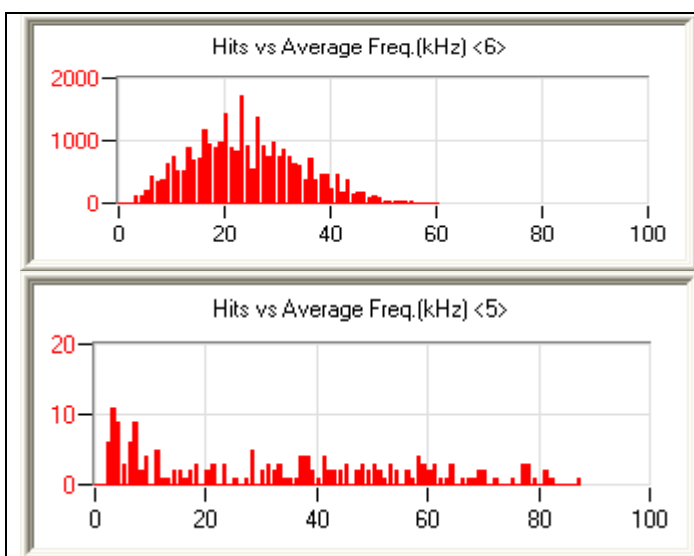
Outra região, indicada por um retângulo na figura 8, mostrou atividade esporádica, porém com frequência característica mais elevada, na faixa de 40 a 80 kHz, sugerindo a presença de descargas parciais. Porém, em virtude da dificuldade de acesso à região e do conteúdo pouco significativo de hidrogênio, indicado na análise dos gases dissolvidos no óleo isolante, nenhuma ação corretiva foi tomada com relação à mesma, nessa ocasião. Contudo, o equipamento passou a ser mantido sob supervisão, com análises de gases realizadas mais frequentemente e sendo programados novos ensaios de emissão acústica para acompanhar a evolução dos sintomas



**Figura 7 – Reator monofásico 500 kV / 50 MVA**



**Figura 8 – Projeção horizontal das regiões com atividade acústica relevante no reator. A região marcada com o círculo corresponde à bucha de alta tensão.**



**Figura 9 – Característica de frequência dos sinais da região da bucha (acima) e no centro do reator (abaixo) de alta tensão indicando partes frouxas**



**Figura 10 – Detalhe da parte inferior da bucha**

## **Conclusão**

---

A capacidade de localizar as fontes dos sinais acústicos, bem como a possibilidade de realizar os ensaios com os equipamentos energizados são aspectos favoráveis deste método. Além disso, características dos sinais medidos, como a taxa de repetição, duração e frequência média podem indicar a natureza do fenômeno que dá origem aos sinais acústicos. Utilizada em conjunto com outras técnicas, como a análise de gases dissolvidos no óleo, pode melhorar a confiabilidade da avaliação da condição do equipamento. Os casos relatados comprovam a eficácia de técnica de emissão acústica para avaliar a condição de transformadores e reatores de potência.

## **Agradecimentos**

---

Os autores agradecem o suporte fornecido pelas Regionais de Transmissão do Mato Grosso, Tocantins e Pará para a realização dos ensaios, à Superintendência de Engenharia de Manutenção e ao Centro de Tecnologia da Eletronorte e ao Centro de Pesquisas de Energia Elétrica pelo apoio financeiro e metodológico.

## **Referências bibliográficas**

---

- [1]- NBR 7274 – Interpretação da Análise de Gases de Transformadores em Serviço – ABNT, 1982
  - [2] – HARLOW, J.H. – Electric Power Transformer Engineering , 2nd Ed. – CRC Press, 2007; ISBN 9780849391866
  - [3] – HEATHCOTE, M.J. – The J & P Transformer Book – 12nd Ed – Newnes - ISBN 0750611588
  - [4] – BARTNIKAS, R. e McMahon, E.J. - Engineering Dielectrics, Volume I, Corona Measurement and Interpretation, ASTM Special Technical Publication 669, ASTM, 1979, ISBN 0-8031-0332-8
  - [5] – TRINDADE, M.B., Menezes, R.C. e Martins, H – Partial Discharge Detection in Power Transformers Using Acoustic Emission Technique – 15<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering – CIGRÉ / IEEE, Ljubljana, Slovenia, 27/31 Agosto, 2007
  - [6] - NUÑEZ, A., “Recent Case Studies in the Application of Acoustic Emission Technique in Power Transformers” Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2006. TDC '06. IEEE/PES
  - [7] – BRANDÃO, J.C., Feres, P., Luzio, M.A., Martins, H. e Trindade, M. B. - “Correlation between Power Transformers Internal Inspection and Acoustic Emission (AE) Test Results” In Conference Record of the 2006 CIGRE General Meeting.
  - [8] – ABNT NBR 15633:2008 - Ensaio não destrutivo - Emissão acústica - Detecção e localização de descargas parciais e anomalias térmicas e mecânicas (DPATM) em transformadores de potência e reatores isolados a óleo
  - [9] - IEEE Standard C57.127-2007 - Guide for the Detection and Location of Acoustic Emissions from Partial Discharges in Oil-Immersed Power Transformers and Reactors
-