



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GSE 10
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO VIII

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

MEDIÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS EM TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS ATÉ 550 KV NO CAMPO

**LOPES. J, I, (*) CEMIG; FRANCO. E. M, CEMIG
SILVA. M. A. C, FPLF; MARTINS. H. J. A, CEPEL; SILVA. A. N, CEPEL, SANTOS. L. T. B, CEPEL**

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG GERAÇÃO E TRANSMISSÃO S.A.

RESUMO

Este relatório descreve os trabalhos de pesquisa para avaliar a utilização da técnica de emissão acústica na identificação de descargas parciais em laboratório e no campo, observando suas vantagens, desvantagens e potencialidades como ferramenta de diagnóstico aplicada a transformadores de corrente (TCs) operando em ambiente com alto nível de ruído.

PALAVRAS-CHAVE

Descargas Parciais, Emissão Acústica, Transformadores de Instrumentos, Ruído.

1.0 - INTRODUÇÃO

De acordo com o crescente número de ocorrências de falhas em transformadores de corrente, a procura por técnicas de diagnóstico que melhor avaliem a evolução da degradação dos mesmos colaborou para o surgimento de diversas metodologias que pudessem avaliar o estado da isolamento sólida e líquida destes equipamentos quanto à existência de descargas parciais, degradações e envelhecimento sob condições de carga, surtos de manobra e descargas atmosféricas.

Durante os ensaios de laboratório, foi utilizado um TC fornecido pela CEMIG, fabricante BBC, modelo AOK BBC de 500kV, que já apresentava problemas internos de descargas parciais, utilizando o método de medição de descargas parciais pelo efeito eletromagnético, em conjunto com a técnica de emissão acústica. Os ensaios de campo foram realizados nas Subestações de Emborcação e Neves I pertencentes à CEMIG Geração e Transmissão, em 33 (trinta e três) TCs, e na Subestação de Teresina II pertencente à CHESF, em 12 (doze) TCs; utilizando-se somente a metodologia acústica.

2.0 - METODOLOGIA APLICADA NA MEDIÇÃO ACÚSTICA

O método de medição de descargas parciais utilizando a técnica de emissão acústica consiste na conversão de ondas mecânicas, oriundas do fenômeno de descargas parciais internas do TC, em sinais elétricos. Estas ondas são captadas por um sensor piezoelétrico (R151) que as transformam em sinais elétricos posteriormente tratados pelo instrumento de medição acústica. O guia de onda acoplado ao sensor acústico deve estar mecanicamente acoplado à superfície do corpo de porcelana (saia) do TC, para que possam ser sensibilizados pelas ondas mecânicas oriundas de atividades de descargas parciais internas ao equipamento. Tal guia é composto basicamente por um bastão de fibra de vidro, que possibilita o posicionamento do sensor a uma distância mais segura do equipamento energizado.

Conforme mencionado anteriormente, em conjunto com a técnica de emissão acústica, adotou-se o método de medição de descargas parciais pelo método eletromagnético. Com isso, durante os ensaios realizados no Laboratório de Alta Tensão - AT1 do CEPEL, foi possível avaliar não somente o início das atividades de descargas parciais, mas também sua evolução com o aumento da tensão. A Foto 1 mostra o arranjo de medição utilizado no laboratório.

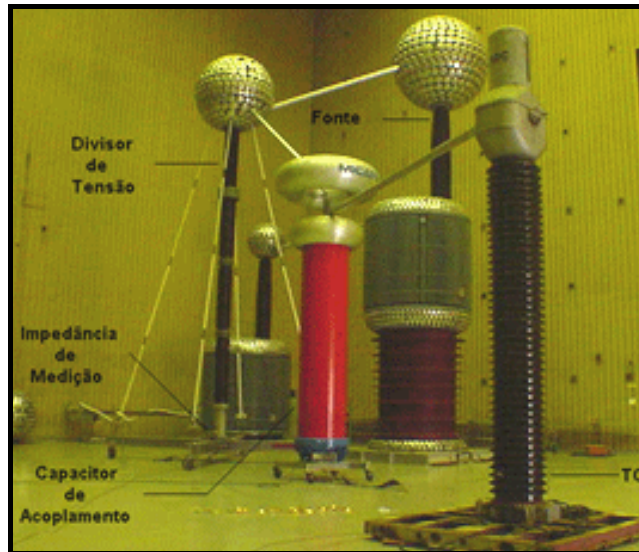


Foto 1 - Arranjo de medição utilizado no laboratório

A tensão aplicada ao transformador de corrente foi elevada gradativamente, monitorando-se o surgimento de descargas parciais, através dos métodos eletromagnético e acústico. O arranjo do ensaio, foi composto dos seguintes equipamentos: fonte de tensão AC de 60 Hz, divisor de tensão, capacitor de acoplamento, impedância de medição e equipamento sob teste (TC).

3.0 - ANALISADOR ACÚSTICO - AIA

O método de medição de descargas parciais utilizando a técnica de emissão acústica, por ser não invasiva, ou seja, não necessitar a interrupção do sistema ou desligamento do equipamento, consiste em uma ferramenta muito poderosa e ágil para o diagnóstico do estado de operação do mesmo. O Analisador Acústico de Isolamento (AIA), por ser um equipamento compacto e com uma interface muito amigável, facilita ainda mais essas medições. A análise dos resultados pode ser feita por vários parâmetros e basicamente por 3 (três) gráficos gerados pelo instrumento, sendo eles:

- a. Gráfico de modo Contínuo: Este gráfico indica 4 (quatro) parâmetros para o sinal acústico medido durante um ciclo da tensão de sincronismo, Valor de pico, Valor RMS, Grau de correlação com apenas um semiciclo (componente de frequência 1) e Grau de correlação com ambos semiciclos (componente de frequência 2). Estes dois últimos indicam o aparecimento da atividade de descarga. Para baixos níveis de descarga a componente de frequência 1 aparecerá com um valor maior que a componente de frequência 2, o que significa uma correlação com 60 Hz, a atividade de descarga se dá em apenas um semiciclo. Já para altos níveis de descarga a componente de frequência 2 sobressai em relação à componente de frequência 1, o que significa uma correlação com 120 Hz, a atividade de descarga se dá em ambos semiciclos. Logo, este gráfico fornece informações importantes para o diagnóstico do equipamento. A Figura 1 apresenta o exemplo de um gráfico de modo contínuo.

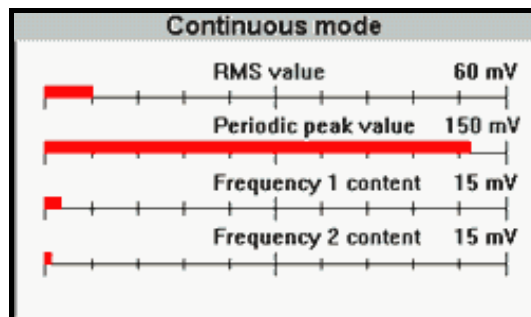


FIGURA 1 – Exemplo de gráfico de barras pelo modo contínuo

- b. Gráfico de Fase: Este gráfico é utilizado para verificar a correlação das descargas parciais com o instante de ocorrência dentro do ciclo da tensão de referência, logo, é possível identificar em quais ângulos de fase na forma de onda senoidal da tensão de sincronismo ocorrem as atividades de descargas parciais. Esta é uma informação muito importante, pois, sabendo a posição das descargas parciais no ciclo da rede, pode-se estimar o tipo de defeito que as ocasionou. A Figura 2 mostra o exemplo de um gráfico de fase de uma medição na qual a descarga possui uma correlação em ambos semiciclos da tensão de sincronismo, ou seja, correlação com uma atividade de descarga a 120 Hz.

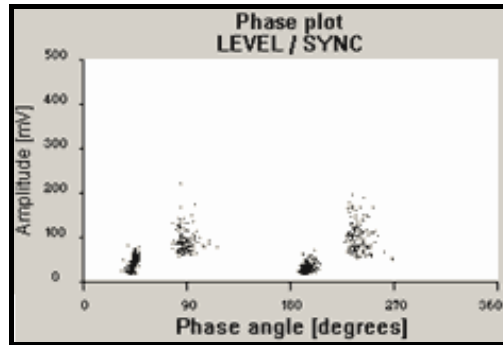


FIGURA 2 – Exemplo de gráfico de modo de fase

- c. Gráfico de Pulso: Este gráfico corresponde ao tempo de elevação do sinal, registrando o tempo entre cada aquisição acústica. Cada ponto no gráfico significa uma aquisição acústica do sensor. Caso haja uma maior concentração de pontos em tempos menores, conclui-se que a taxa de repetição das descargas parciais é elevada. A Figura 3 apresenta o exemplo de um gráfico de pulsos indicando a periodicidade das atividades acústicas.

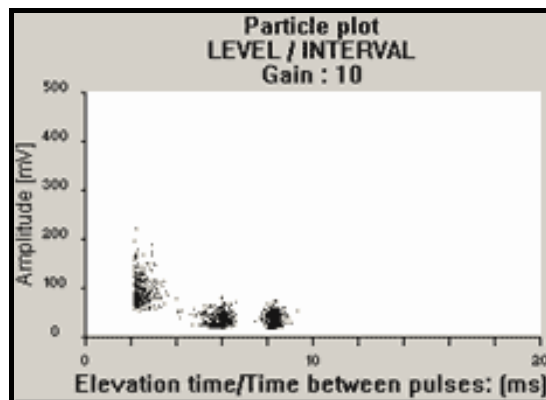


FIGURA 3 – Exemplo de gráfico de modo de pulso

4.0 - ENSAIOS EM LABORATÓRIO

De acordo com o projeto do TC tipo AOK 550 de fabricação BBC, todos os enrolamentos encontram-se na parte superior (“cabeça”) do equipamento, região de alta tensão. Logo, supõe-se que, nesta região existe uma maior probabilidade de ocorrência de descargas parciais. Entre a região de ocorrência de uma descarga parcial (no interior do equipamento) e o ponto de instalação do guia de onda (no exterior do equipamento), existe diversos materiais e interfaces, tais como: papel, óleo, cobre, porcelana e outros que causam grande atenuação no sinal acústico. Portanto, é esperada uma variação da resposta do sistema em função da posição relativa do sensor.

Para verificação deste comportamento foram realizados ensaios de sensibilidade variando-se a posição do sensor entre a oitava e quarta saias, utilizando o TC AOK sabidamente com existência de descargas parciais. O arranjo de ensaio foi então energizado com uma tensão de 317 kV, medindo-se a atividade de descargas parciais entre 50 e 60 pC no TC através do método de medição eletromagnético. Simultaneamente utilizou-se a metodologia acústica, posicionando-se primeiramente o guia de onda acoplado ao sensor acústico na 8ª saia. Mantendo-se a tensão aplicada ao sistema e deslocando-se o sensor para as saias inferiores, observou-se uma diminuição na sensibilidade, onde na 3ª saia apenas sinais provenientes do nível de ruído de fundo foram detectados. Portanto, concluiu-se que o instrumento somente seria sensibilizado com o guia de onda colocado a partir da 4ª saia do TC.

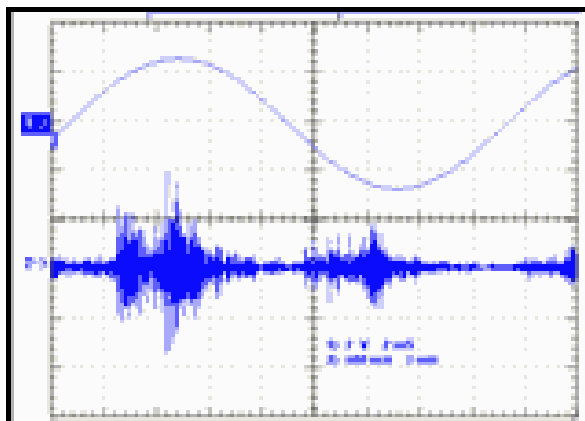
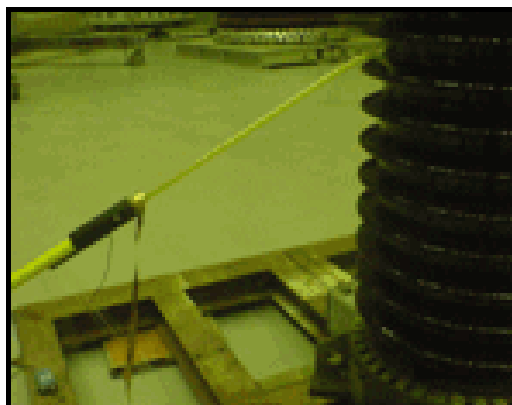


FIGURA 4 - Sinais do Osciloscópio Foto 2 -



Guia de onda posicionado na oitava saia de porcelana

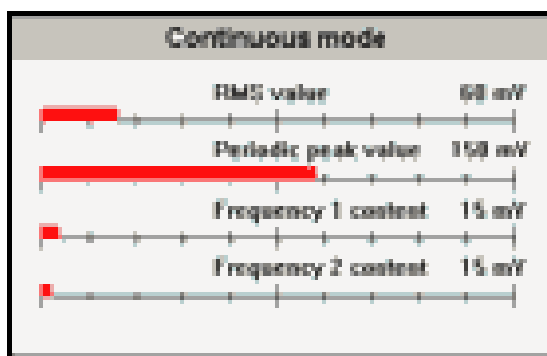


FIGURA 5 – Gráfico em modo contínuo do AIA

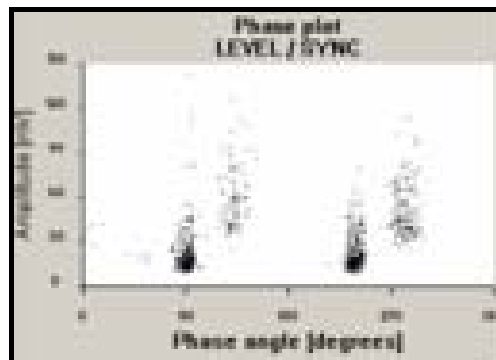


FIGURA 6 – Gráfico em modo de fase do AIA

Para verificação da sensibilidade do sistema quanto a presença de ruídos externos, foi simulado em laboratório uma atividade corona nos terminais de alta tensão do TC atingindo um valor em torno de 18.000 pC de acordo com a foto 3 abaixo. Teoricamente, os sensores acústicos são imunes a interferências eletromagnéticas, logo, o começo da detecção acústica neste ensaio, significa o começo do fenômeno de descargas parciais.

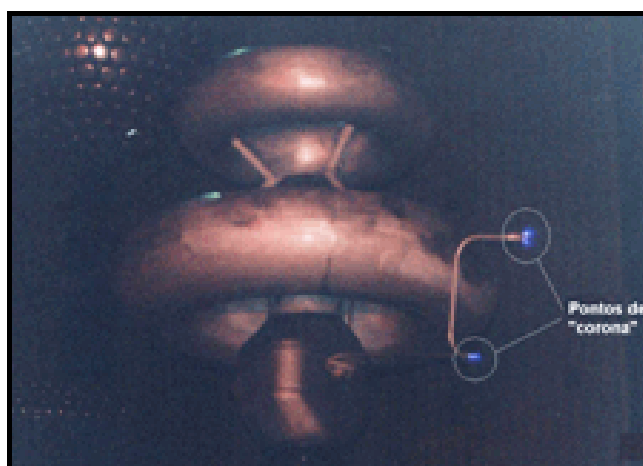


Foto 3 - Simulação de corona externo

De acordo com os resultados observa-se que o sensor acústico mostrou-se imune a interferência eletromagnética causada pelo corona. De acordo com as Figuras 8 e 9, que representam a aquisição dos sinais sem e com a

introdução de corona respectivamente, a detecção acústica ocorreu no mesmo nível de tensão de 200kV, independente do nível de descarga corona introduzida no arranjo de ensaio.

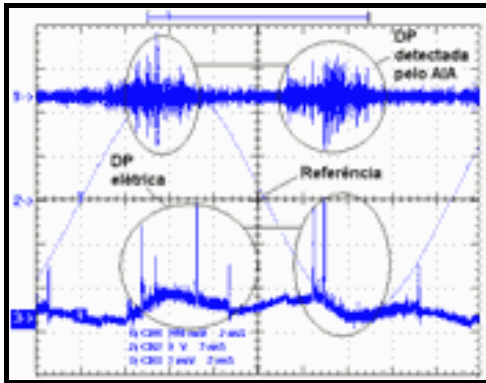


FIGURA 7
Sinais sem a introdução do corona externo

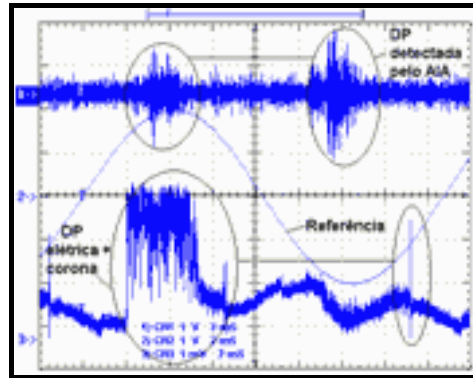


FIGURA 8
Sinais com a introdução do corona externo

5.0 - MEDIÇÕES EM CAMPO

5.1 Se Emborcação:

Foram realizadas medições de descargas parciais pelo método acústico na SE de Emborcação, no período de 27 a 29 de Outubro de 2004, nos TCs dos disjuntores: 7U4, 8U4 e 9U4. Para evitar uma maior influência de ruídos nas medições, utilizou-se um sistema de fibra óptica, com o objetivo de isolar eletricamente os instrumentos de medição. Este sistema é composto por um transmissor, um cabo de fibra óptica de 50 metros e um receptor. Para maior segurança dos equipamentos e dos operadores envolvidos na medição, o TC foi desligado nesta etapa da pesquisa.

O arranjo de medição foi composto pelos seguintes componentes: TC sob ensaio, vara de fibra de vidro, sensor acústico, transmissor, fibra óptica, receptor e instrumento de medição acústica. Conforme ilustrado na Figura 9, o arranjo de medição foi composto pelos seguintes componentes: TC sob ensaio, vara de fibra de vidro, sensor acústico, transmissor, fibra óptica, receptor e instrumento de medição acústica.

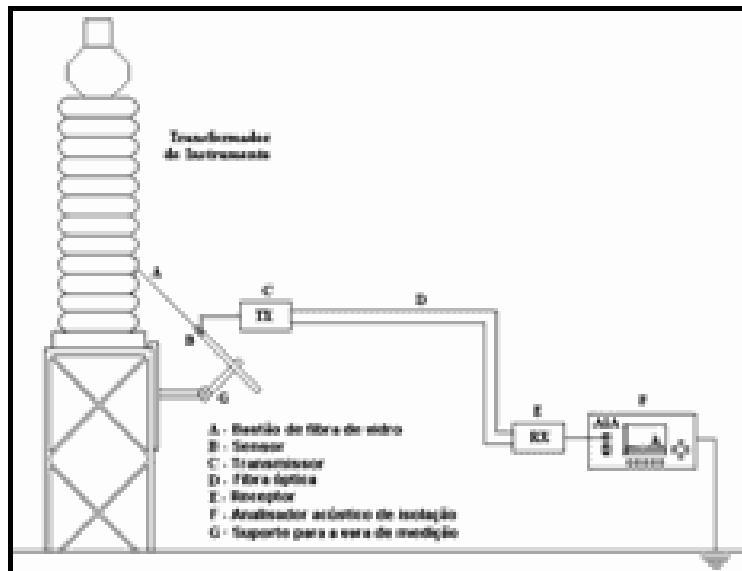


FIGURA 9 - Arranjo de medição utilizado no campo

As medições foram efetuadas em 9 (nove) TCs localizados nos vãos dos disjuntores 7U4, 8U4 e 9U4. Para estas medições utilizou-se o sensor R15I posicionado na 4ª saia do TC. A seguir na Foto 4 e a Figura 10, são apresentados a forma de medição utilizada em campo e todos os resultados obtidos através do analisador acústico de isolamento, apresentando os gráficos de modo contínuo e de fases, respectivamente.



Foto 4

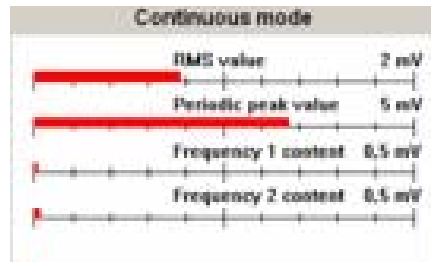


FIGURA 10

Foto 4 - Arranjo de medição utilizando o guia de onda sobre a saia de porcelana do TC

FIGURA 10 - Gráfico de modo contínuo na fase 7U4 B

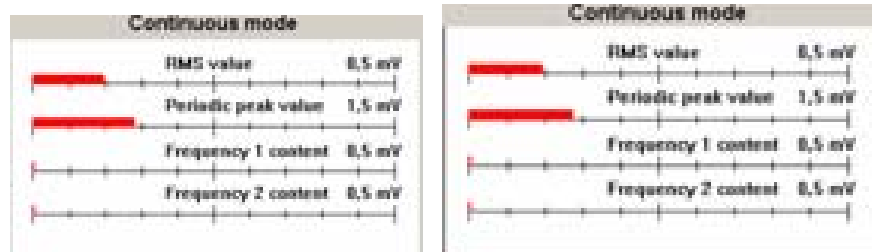
De posse dos gráficos apresentados, e em comparação com as medições realizadas em laboratório, pode-se dizer que os TCs sob ensaio, não apresentaram descargas parciais, apresentando somente o nível ruído de fundo.

5.2 Se Neves 1:

Foram realizadas medições de descargas parciais pelo método acústico na SE Neves I, no período de 16 a 20 de Maio de 2005, nos TCs dos disjuntores: 7U4, 10U4, 12U4, 5P4, 6P4, 7P4, 8P4 e 9P4. Nestas medições utilizou-se um suporte do tipo "telescópio" conforme a Foto 5 como um aprimoramento do dispositivo utilizado nas medições de campo anteriores. Para evitar uma maior influência dos ruídos nas medições, utilizou-se também uma comunicação através de sistema de fibra óptica, com o objetivo de isolar eletricamente os instrumentos de medição. As medições apresentadas pelas Figuras 11 e 12 foram realizadas com o sensor R15I e foi realizada uma adaptação do "telescópio" de medição e os resultados obtidos utilizando-se o analisador acústico através dos gráficos de modo contínuo de dois TCs.



Foto 5 - Telescópio de medição



FIGURAS 11 e 12 - Modo de medição contínuo 8P4 C e 8P4 A

De posse dos gráficos apresentados, e comparando com as medições realizadas em laboratório, pode-se dizer que os TCs acima mencionados não apresentaram atividades de descargas parciais, uma vez que os gráficos apresentaram somente o nível de ruído de fundo.

5.3 Se Teresina 2:

Foram realizadas medições de descargas parciais na SE Teresina II - CHESF, no período de 26 a 30 de Setembro de 2005, nos TCs dos disjuntores: 95V9, 95D12, 95E52 e 95D31. Essas medições ocorreram devido a um convite da Chesf, e pelo fato de ser uma oportunidade para aprimoramento da técnica, uma vez que os TCs medidos estavam com a suspeita de apresentarem descargas parciais e a presença de gases combustíveis. Os valores de acetileno (C_2H_2) estavam entre 0 e 27 ppm. Para evitar uma maior influência do ruído nas medições, foi utilizado o

sistema de fibra óptica, com o objetivo de isolar eletricamente os instrumentos de medição além de serem realizadas novamente com o sensor R15I.

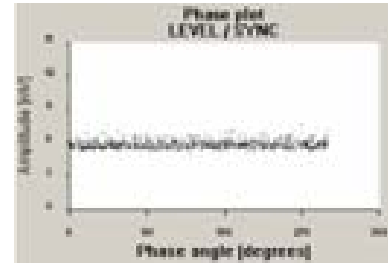
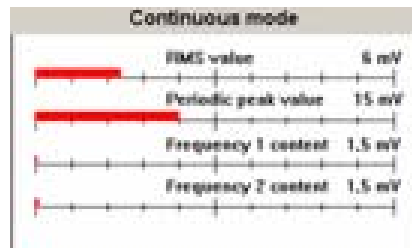


Foto 6 - Medição em campo

FIGURA 13 - Medição contínuo 5V9 C

FIGURA 14 - Medição de fase 5V9 C

De acordo com os gráficos apresentados e comparando com as medições realizadas em laboratório, pode-se dizer que os TCs acima mencionados não apresentam atividades de descargas parciais, uma vez que os gráficos apresentam somente o nível de ruído de fundo.

6.0 - CONCLUSÕES

Devido à imunidade dos sensores acústicos a ruídos eletromagnéticos, ficou evidenciada a possibilidade de sucesso nas medições em campo. Tomando como exemplo os resultados em laboratório e em campo, pode-se dizer que:

- Comparando os ensaios com e sem “corona”, nota-se que a introdução do ruído não prejudicou a resposta do sensor, ou seja, o limiar de detecção acústica, neste caso em 200kV, não se altera para ambos ensaios;
- De acordo com os ensaios realizados em laboratório para avaliar a sensibilidade do sensor, pode-se estabelecer como limite mínimo para a detecção acústica a 4ª saída do TC. Qualquer medição realizada abaixo deste ponto não sensibilizou o sistema, ou seja, o mesmo não respondeu aos fenômenos ocorridos no interior do TC;
- O sistema obteve um excelente desempenho perante aos ruídos existentes na SE. Através de algumas dificuldades encontradas no campo, foi possível estabelecer alguns procedimentos de segurança e desenvolver um dispositivo que pudesse auxiliar nas medições, oferecendo praticidade e segurança ao operador. Este dispositivo foi projetado e testado em laboratório, não influenciando na resposta do sistema, porém deverá ser aprimorado para facilitar a fixação do guia de onda durante as medições com o equipamento energizado;
- Através das medições de campo realizadas na SE Teresina II – CHESF, pode-se constatar que a técnica de emissão acústica não foi sensibilizada. Logo, concluiu-se que a existência de gás no óleo dos TCs ocorrem provavelmente devido a descargas parciais somente em regime transitório de manobra dos seccionadores;

A metodologia de detecção de descargas parciais pelo método acústico, mostrou-se bastante promissora na avaliação de TCs no campo. Entretanto, serão necessários outros ensaios laboratoriais e novamente em campo, considerando outros tipos e modelos de TCs que estejam inseridos em diferentes arranjos nas subestações, para propiciar uma maior consolidação da metodologia.

É importante ressaltar que o objetivo do P&D foi alcançado e efetivamente comprovado através da utilização de um TC com problema previamente conhecido. Tal fato possibilitou a aplicação do método acústico ao diagnóstico de TCs energizados em campo e a comparação em laboratório da técnica de emissão acústica com o método eletromagnético, apresentando resultados satisfatórios e aplicáveis tecnicamente.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Silva, M. A. C.; Martins, H J. A.; Silva, A. N. - Medição de Descargas Parciais em Transformadores de Instrumentos até 550kV no Campo - Relatório Técnico - CEPEL - nº 1521/04, Janeiro de 2004.
- [2] Martins, H. J. A. - Novas Técnicas Aplicadas ao Diagnóstico de Transformadores de Potência - ALAB/Labdig - Laboratório de Diagnóstico em Equipamentos Elétricos - CEPEL.
- [3] Rodrigues, F. R. F. - Estudo para implementação de Medição de Descargas Parciais Utilizando Osciloscópio Digital, Monografia submetida ao Corpo Docente do Departamento de Eletrotécnica da Escola de Engenharia da UFRJ, 2000.
- [4] Acoustic Diagnosis of Gas Insulated Substation (GIS) in Normal Operation - Instrument from Transinor AS - AIA-1 , User's Guide, Version 5.0.1, May 2001.
- [5] Physical Acoustics Corporation - Partial Discharge Detection using Acoustic Emission, Prepared by the Dielectrics Tests Subcommittee, October 1989.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Jeferson Inácio Lopes,

Nascido em Baependi, M.G. em 26 de agosto de 1966.

- (2007) - Especialização - Engenharia de Sistemas Elétricos na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG);
- (2002) - MBA em Gestão de Negócios na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG);
- (1999) - Especialização em Engenharia de Manutenção na PUC - M.G;
- (1994) - Graduação em Engenharia Elétrica: Faculdade Federal de São João Del Rei (FUNREI)

Empresa: CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais, desde 1984, trabalhou nas Gerências de Operação e Manutenção de Subestações, Gerências de Novas Usinas e atualmente é engenheiro Sênior II da Gerência de Engenharia da Transmissão.

Gerente do projeto de P&D da ANEEL número 059 sobre "Medição de descargas parciais em transformadores de instrumentos até 550kv no campo" desenvolvido pela CEMIG e CEPEL.