

Avaliação no Campo, do Estado Operativo de Capacitores de Potência do Sistema de Distribuição da Light

A. F. S. Levy*, A. T. Carvalho, R. M. Oliveira e H. P. Amorim Jr -CEPEL e

S. G. de Carvalho - Light

E-mail: alain@cepel.br

Palavras-Chave: Capacitores de potência, Descargas parciais, Medição no Campo, Ultra-som.

Resumo: O objetivo desse trabalho foi realizar uma análise do estado operativo de capacitores de potência instalados nas subestações de 13,8 – 24/34,5 e até 138 kV da Light. Para tanto, foi necessário a criação de mecanismos que viabilizassem a avaliação de um número maior de unidades capacitivas em um tempo razoavelmente curto. O método acústico de medição de Descargas Parciais foi, então, empregado, o qual demonstrou, através dos resultados obtidos, ser amplamente aplicável para a avaliação do estado operativo de capacitores de potência. Para unidades com carcaças sob potencial, foi utilizado um sistema especial isolado à fibra ótica, que permite o isolamento entre as partes energizadas e o instrumento de medição.

A avaliação final é baseada nas análises estatísticas dos dados e como resultado conclusivo do trabalho, há um direcionamento na busca de prover uma maior confiabilidade no fornecimento de energia e a conseqüente redução dos cortes de energia para os consumidores.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação no campo de equipamentos de alta tensão quanto a geração de Descargas Parciais é uma ferramenta de manutenção preditiva que pode auxiliar na realização da manutenção dos equipamentos. O resultado dessa avaliação pode indicar para a intervenção no sistema ou sua substituição antes que estes possam sofrer danos mais graves ou até mesmo afetar o sistema como um todo.

As principais características do sistema de medição são: a possibilidade de se avaliar unidades capacitivas sob alta tensão; utilizar instrumentação convencional de uso comercial, tal como o osciloscópio; permitir a execução de medições em curto intervalo de tempo; e ser pouco sensível a interferências normalmente existentes nas subestações.

Esse trabalho foi realizado numa parceria de Pesquisa e Desenvolvimento entre a Light e o CEPEL. Os desenvolvimentos laboratoriais foram realizados no CEPEL, enquanto que as medições de campo foram realizadas em bancos de capacitores de 13,8 – 24/34,5 e até 138 kV da Light.

2. HISTÓRICO

A Light possui instalados mais de 10.000 unidades capacitivas distribuídos em cerca de 60 subestações, perfazendo um total de mais de 400 bancos de capacitores. São subestações de 13,8 – 25/34,5 e 138 kV, com bancos monofásicos de diversos arranjos e constituídos por 18 ou mais unidades capacitivas. Em termos de ocorrência de defeitos, com conseqüente troca de unidades, a Light tem verificado ao longo dos últimos anos, uma taxa de cerca de 2,5 % de falhas ao ano.

Cada unidade capacitiva é constituída internamente por uma rede capacitiva formada por um conjunto de bobinas em série e paralelo de tal modo a prover a potência e tensão necessárias ao sistema (Figura 1). Os capacitores podem possuir ou não fusíveis internos. Caso uma ou mais bobinas se danifique, sendo estas curto circuitadas ou permanecendo eletricamente em aberto, a capacitância original de toda a unidade será afetada.

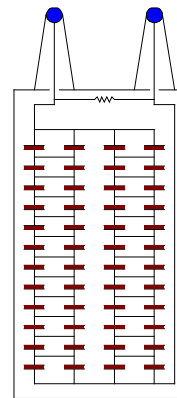


Figura 1 - Configuração Interna do Capacitor

Ao longo dos anos os projetos dos capacitores têm sido sistematicamente aperfeiçoados e otimizados. O uso de novos materiais dielétricos e a introdução de novos métodos de avaliação de desempenho dos capacitores, sobretudo em termos de sua expectativa de vida útil, contribuíram para esse aperfeiçoamento. Atualmente, os capacitores são constituídos por filme de polipropileno e impregnados por líquidos não clorados, podendo operar sob um campo elétrico da ordem de 60 kV/mm e potência específica por massa de até 6,5 kvar/kg.

Normalmente, quando da montagem dos bancos no campo, as unidades são distribuídas de modo que haja um

equilíbrio no fluxo de correntes em cada uma das fases. Essa distribuição das unidades leva em conta a dispersão de suas capacitâncias em torno de seu valor nominal.

Ao longo da operação do sistema, se houver unidades capacitivas apresentando defeitos internos, de tal forma que sua capacitância seja alterada, ocorrerá um desequilíbrio que irá afetar a solicitação elétrica do restante das unidades do banco. Essa alteração pode, após algum tempo de ocorrência, comprometer o desempenho desses equipamentos. Nestes casos, os dispositivos de proteção irão, ou deveriam, atuar de forma que as sobretensões nas unidades sãs não ultrapassem os limites recomendados.

O primeiro e mais importante objetivo é conseguir detectar problemas internos incipientes dos capacitores, antes que estes venham a comprometer o sistema como um todo. Essa foi a tarefa realizada na primeira etapa do projeto, denominada de etapa de campo. A confirmação quanto à existência de problemas internos detectados no primeiro estágio passa por ensaios em laboratório, onde a possibilidade de variações de arranjos de ligações e outras modificações julgadas necessárias podem ser realizadas sem ônus algum ao objeto de teste. Esta segunda etapa recebeu a denominação de etapa laboratorial.

3. GENERALIDADES SOBRE AS TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS

A ocorrência de descargas parciais nos sistemas isolantes dos equipamentos de alta tensão é um sintoma de fragilidade na suportabilidade dielétrica e cuja evolução pode vir a acarretar graves conseqüências para esses equipamentos e para o sistema elétrico.

A medição de descargas parciais se destina a verificar se há atividades de micro descargas no interior dos dielétricos e se possível quantificá-las.

Fisicamente, as Descargas Parciais se caracterizam por um processo de ionização em ambiente gasoso no interior dos materiais dielétricos, causado por um campo elétrico intenso e localizado [1]. A partir desse processo diversas grandezas físicas são geradas no local, tais como, pulsos eletromagnéticos conduzidos e radiados, luminosidade, ruído acústico, acréscimo de temperatura e reações químicas localizadas. Tradicionalmente as Descargas Parciais têm sido substancialmente avaliadas pela medição dos pulsos elétricos de alta frequência conduzidos em um circuito de medição específico, conforme os procedimentos descrito na Norma IEC 270 [2]. Menos explorada é a medição dos sinais acústicos produzidos por essas descargas.

Entre as razões para não se ter, no caso da acústica, procedimentos de medição tão universais como no caso das medições elétricas, podemos citar:

- A dificuldade de se quantificar a severidade do problema interno visto que as amplitudes registradas são também função da localização das descargas. A medição acústica é mais qualitativa do que quantitativa;

- A sensibilidade da medição, na maioria dos casos, é inferior do que no método elétrico;
- A unidade de medição, geralmente em dB, não está diretamente associada com nenhuma característica de deterioração elétrica.

No entanto, no caso em particular dos capacitores de potência, para os quais a própria medição elétrica é bem menos sensível, a medição dos sinais acústicos apresentam vantagens importantes visto ser um equipamento de pequenas dimensões físicas e formado por dielétricos sólidos e líquidos.

O objetivo principal dessa técnica de medição, em particular no campo, é possibilitar o diagnóstico de equipamentos, para auxílio na decisão sobre intervenções para manutenção.

4. ACÚSTICA APLICADA À MEDIÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS

Ao serem geradas, as Descargas Parciais produzem ondas de choque - vibrações mecânicas ou emissões acústicas - no meio onde se formam. As ondas de choque se propagam em todas as direções e se refletem e refratam nos diversos materiais que constituem os capacitores de potência, entre dielétricos e carcaça.

A acústica é a ciência, que de modo geral, trata do estudo dos sons no ambiente cobrindo sobretudo a faixa de frequência desde alguns Hz até centenas de kHz. Frequências até 20 kHz são identificadas como sônicas e se referem tipicamente às características auditivas de animais tais como o homem e similares. Frequências acima de 20 kHz até centenas de kHz são identificadas como ultra-sônicas e é nesse domínio de frequências que trabalhamos quando medimos Descargas Parciais via métodos acústicos [3].

Por se tratar de ondas que traduzem ruídos ou sons, os níveis de pressão (S) são quantificados em decibéis pela equação: $S = 20 \log (P/P_{ref})$, onde P se refere ao nível de pressão efetivo e P_{ref} é um nível de pressão de referência. Ambas as pressões podem ser quantificadas, por exemplo em Pascal ou em micro-bar.

Na prática, não se trata de medir diretamente a pressão sonora visto que o princípio de medição pelo método acústico em equipamentos de alta tensão envolve a utilização de transdutores piezoelétricos muito sensíveis nas frequências ultra-sônicas. Esses transdutores têm a propriedade de transformar ondas de pressão de pequenas amplitudes, em definidas quantidades de cargas elétricas. As correntes elétricas geradas então pelo fluxo de cargas, ao passar por um circuito elétrico e pré-amplificadores, se apresenta como uma onda de tensão em um analisador de espectro ou osciloscópio.

Os sensores piezoelétricos são fabricados de tal forma a apresentarem uma resposta constante numa ampla faixa de frequência, ou resposta ressonante numa dada frequência dentro de sua faixa de operação, garantindo maior sensibilidade na medição. Normalmente, a frequência de ressonância do sensor fica na faixa de 60 a 300 kHz.

Descargas Parciais invariavelmente se formam pela ruptura elétrica em um meio gasoso. A partir de seu ponto de formação, as ondas acústicas criadas vão se propagar através dos diversos materiais (dielétricos e condutores) adjacentes até alcançar um sensor, normalmente na parte externa dos equipamentos. A sensibilidade de uma determinada medição será então função também da impedância característica dos materiais envolvidos nas trajetórias das ondas ultrassônicas. Essa impedância será função da densidade do material e da velocidade do som em seu meio. Esses parâmetros definem os coeficientes de reflexão e refração os quais vão definir qual é a parcela de potência sonora total que será detectada em determinado sensor, devido às diversas mudanças de meio. Além disso existe também a atenuação dos sinais no meio de propagação devido à difusão, colisões moleculares, viscosidade, etc.

Assim, dentre os fatores que afetam a sensibilidade da medição via sensores piezoelétricos, além dos ruídos ambientes, destacam-se: as características do sensor (faixa de frequência); a qualidade do contato do sensor ao equipamento; as características físicas dos materiais por onde as ondas ultra-sônicas devem passar e a distância entre as descargas e o sensor.

5. TÉCNICA DE MEDIÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS EM CAPACITORES DE POTÊNCIA

Em conformidade com os principais objetivos para avaliação de capacitores, optou-se por desenvolver e implantar um circuito de medição que registrasse os sinais acústicos emitidos pelas Descargas Parciais, por meio de sensores piezoelétricos ativos de alta sensibilidade. Os sinais acústicos são registrados por um simples osciloscópio digital comercial. Aqui ressalta-se que os instrumentos de mercado dedicados a medição e análise de sinais acústicos para uso em alta tensão, são geralmente onerosos e pouco práticos. O exemplo desta montagem pode ser visto na Figura 2.

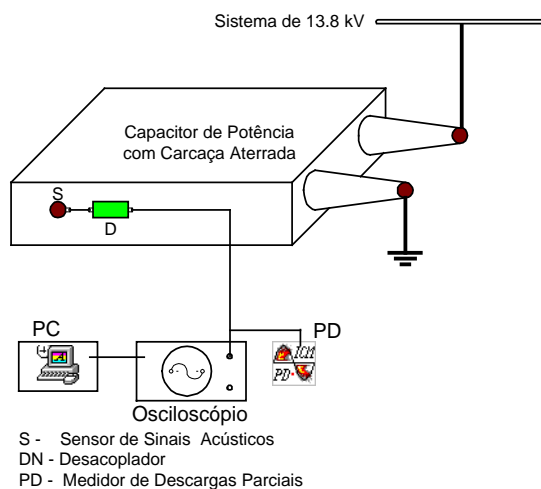


Figura 2 - Medição de Descargas Parciais pela metodologia acústica, em capacitores de potência do sistema de 13,8 kV

Foram, então, implementados dois diferentes circuitos de medição conforme a existência ou não de capacitores que contenham carcaça flutuante. As figuras 2 e 3 apresentam os diagramas elétricos de cada um desses circuitos. Na Figura 3, um sistema transmissor/receptor isolado por fibra ótica serviu de isolamento para alta tensão no caso em que as carcaças dos capacitores de potência se encontrassem sob potencial.

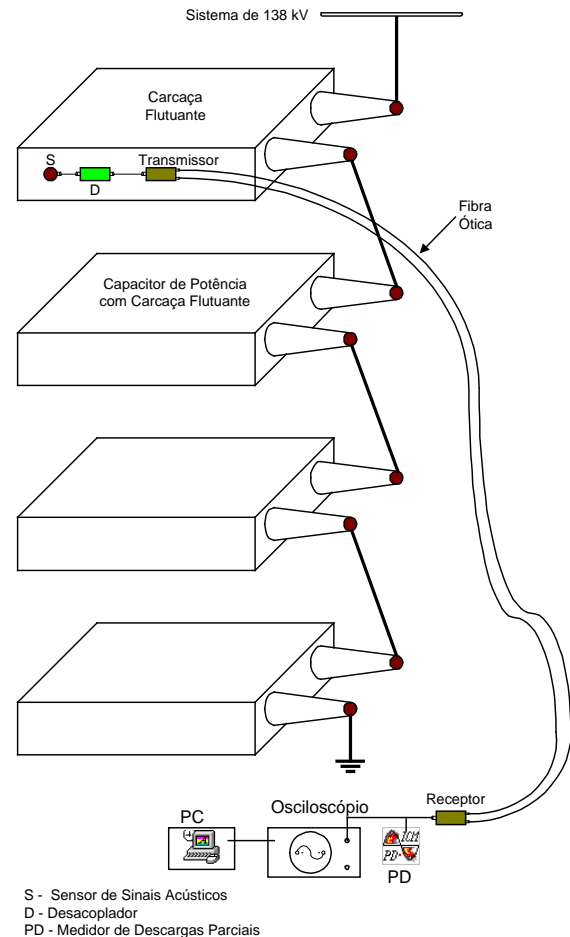


Figura 3 – Medição de Descargas Parciais em bancos de capacitores do sistema de 138 kV.

Nessas configurações, o sensor acústico S foi escolhido de tal maneira que sua sensibilidade fosse a máxima possível e que operasse em uma faixa de frequência na qual não houvesse ruídos ambientes significativos. Dessa forma, optou-se pelo uso de sensores piezoelétricos com frequência de ressonância acima de 100 kHz

Os sensores ativos necessitam de uma tensão contínua para operarem. A unidade adaptadora D realiza então a dupla função de alimentar o sensor e desacoplá-lo do circuito de medição. O terminal de saída dessa unidade é conectada, via cabo coaxial, diretamente aos instrumentos de medição, no caso em que a carcaça do capacitor estiver diretamente aterrada (figura 2). Quando a carcaça do capacitor de potência estiver sob potencial, será acrescentado um sistema transmissor/receptor isolado por fibra ótica (figura 3).

6. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E AVALIAÇÃO

Do ponto de vista das atividades experimentais fez-se inicialmente uma inspeção em alguns bancos de capacitores de sistemas de 13,8 kV da Light. A finalidade dessa visita foi de verificar fisicamente as condições das instalações locais, infraestrutura, dificuldades de acesso aos capacitores, entre outros.

Um ponto importante na medição de sinais acústicos refere-se às reais condições de aterramento das carcaças dos capacitores não só para fins de segurança pessoal como também para se evitar danos ao circuito de medição. Verificou-se, através de medições preliminares, que algumas unidades capacitivas apresentavam diferenças de potencial de até 2kV entre a carcaça e conexão elétrica do capacitor, valor suficiente para inutilizar o sistema de medição. Outras unidades, no entanto, estavam diretamente aterradas e outras ainda apresentavam valores intermediários.

Em condições normais, é esperado um certo nível de tensão à frequência industrial uma vez que as carcaças são aterradas através do transformador de neutro. Para fins da implantação dessa técnica de medição, considerou-se como normal uma tensão de até 50 Vrms nos terminais do transformador de neutro.

Esta medição foi importante no sentido de se prover um reforço no aterramento de cada banco de capacitores, antes de se instalar o sistema de medição.

A partir deste levantamento é possível afirmar que, apesar da maioria das subestações se assemelharem, não existe uma padronização geral da configuração e montagem do banco de capacitores. Este fato pode ser considerado importante na medida que outros serviços são realizados e a padronização é, por vezes, necessária para evitar acidentes.

Em todo o projeto foram avaliados 313 capacitores, nas diversas subestações da Light, o que representa em torno de 3% do número total de capacitores de toda a concessionária. Como já foi dito o projeto se constitui de duas etapas que convencionou-se chamar de etapa de campo e etapa de laboratório. A primeira consistiu de avaliações no campo através de medições realizadas nas próprias subestações, em um ambiente real de utilização das unidades capacitivas. Na segunda etapa, denominada de laboratorial, algumas unidades avaliadas na primeira etapa, com indícios de descargas internas, podendo acarretar em falha, foram retiradas e enviadas ao laboratório de alta tensão do CEPEL. Essa fase possibilitou novas pesquisas no âmbito de aperfeiçoamento dos procedimentos de teste bem como proporcionou comprovar a eficiência da metodologia de medição acústica aplicada.

6.1 Etapa de Campo

Um procedimento básico foi estipulado e se refere à criação de algumas categorias que definem, com base na taxa de ocorrência de Descargas Parciais no interior do equipamento elétrico, a taxa de repetição das Descargas

Parciais. Esta prática viabilizou a classificação das unidades capacitivas em quatro categorias. São elas:

- Sem Descargas Parciais,
- Ocorrência de Descargas Parciais eventuais,
- Ocorrência esporádica de Descargas Parciais e
- Ocorrência contínua de Descargas Parciais.

O registro das condições apresentadas pelas unidades deve ser estimado no momento do ensaio elétrico. Esta classificação foi importante na priorização da retirada de algumas unidades capacitivas de serviço para avaliações suplementares em laboratório, que fez parte da etapa final de verificação da eficiência da metodologia acústica no monitoramento de unidades capacitivas.

A avaliação da amplitude da Descarga é também um fator importante na descrição do grau de severidade da mesma. Ela, no entanto, é de difícil definição quando se faz uso do método acústico, pois a calibração do sistema de medição não segue um padrão que permita comparações entre as amplitudes aquisitadas entre as várias unidades avaliadas. Desta maneira, a quantificação das Descargas Parciais deixou de ser ponto fundamental e será somente utilizada no âmbito laboratorial, exposto na próxima subseção.

Na Tabela 1 são apresentadas de forma sucinta as subestações que receberam visitas técnicas e o número de unidades avaliadas em cada uma delas.

Tabela 1 - Resumo das medições nas subestações Light

A	B	C	D
1	36	10	27.78
2	18	2	11.11
3	27	8	23.35
4	18	4	22.22
5	18	3	16.67
6	36	3	8.33
7	70	5	7.14
8	11	4	36.36
9	54	15	27.78
10	18	6	33.33
11	07	2	28.57
Total	313	62	19.81

Onde as colunas A, B, C e D são:

A - Subestação

B - N° de Capacitores Analisados

C - N° de Capacitores com Sintomas de Anomalia

D - % de Capacitores com Sintomas de Anomalia

A análise destes dados indica que quase 20% das 313 unidades apresentaram algum tipo de anomalia relativo à ocorrência de DP. Este valor é bem representativo e é um indicativo da real necessidade de um acompanhamento periódico destes equipamentos. Na Tabela 3 é discriminada a quantidade de capacitores pertinente a cada classe de defeito considerada e a representatividade de cada uma com referência ao total de unidades analisadas.

Tabela 3 - Divisão dos Resultados

	Nº Capacitores	Percentual %
Sem DP	240	78,68
Eventual	23	7,35
Esporádica	17	5,43
Contínua	22	7,03
Ruídos	11	3,51

Outra análise preliminar, também importante em trabalhos iniciais desta natureza, refere-se à correlação entre a faixa etária da unidade, ou seja, seu tempo de vida e as quantidades de anomalias encontradas. Isto pode permitir que grupos ou famílias sejam criadas, possibilitando que avaliações aprofundadas se realizem em cada uma destas famílias. Na Tabela 5 são apresentados dados referentes à data de fabricação e ao número de unidades avaliadas.

Tabela 6 - Relação entre a faixa etária dos capacitores e número de unidades com anomalias

Fabricação	Un.	Un. com Anomalia	
		Qtd.	%
Mais de 15 anos	32	11	35,48
De 10 a 15 anos	99	27	27,27
De 5 a 10 anos	157	29	18,47
De 0 a 5 anos	25	3	12,00

Pode-se observar a tendência de decréscimo de unidades com anomalia com relação à diminuição do tempo de utilização, fato já esperado.

Como ilustração uma montagem de campo, com os respectivos sensores acoplados, é mostrado na Figuras 4.



Figura 4 - Bancos de capacitores com os sensores acústicos instalados

6.2 Análise dos resultados obtidos no campo

As Figuras 5 e 6 apresentam sinais adquiridos no domínio do tempo em duas das 313 unidades capacitivas analisadas. Ambos os sinais contêm um significativo pulso que se destaca de forma comparativa com os demais pontos da curva, caracterizando a ocorrência de Descargas Parciais. Apesar da amplitude em mV indicada no eixo vertical ser diferente nos exemplos mostrados, eles não têm grande importância quando comparados. A

amplitude somente pode ser comparada em medições de uma mesma unidade capacitiva.

Desta forma, cabe à análise por meio dos sinais acústicos diagnosticar a ocorrência ou não de DP e sua taxa de ocorrência.

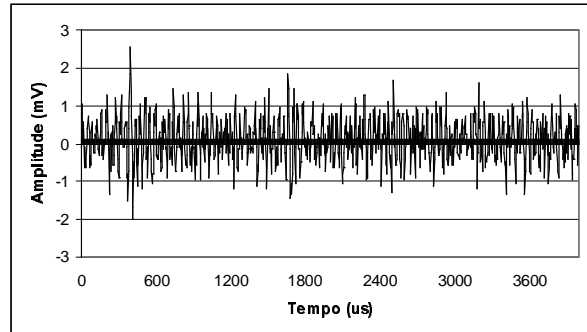


Figura 5 - Sinal no domínio do Tempo de um capacitor localizado na subestação A

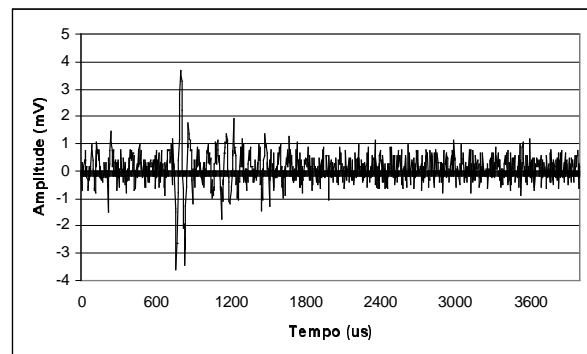


Figura 6 - Sinal no domínio do Tempo do Capacitor localizado na subestação C

6.3 Etapa Laboratorial

A partir dos resultados obtidos na etapa de campo e da análise de alguns destes resultados, algumas unidades, foram retiradas de serviço e enviadas ao laboratório do CEPEL. Das oito unidades retiradas, sete delas apresentaram anomalias contínuas durante ensaio no campo e uma apresentou DP esporádica.

Essas unidades foram devidamente identificadas e rearranjadas duas a duas de forma a viabilizar o ensaio laboratorial conforme pode ser visto na Figura 7.

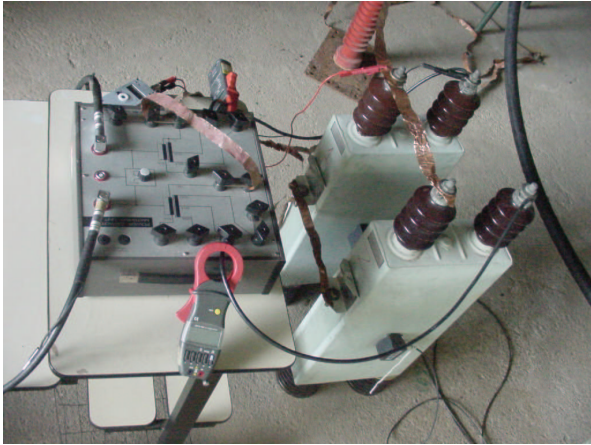


Figura 7 - Ponte de Balanceamento e Medição de DP, Unidades Capacitivas e os Sensores Acoplados

Este esquema, além de permitir a alimentação das unidades, permitiu também o registro das amplitudes das Descargas Parciais, através de sistema eletromagnético de medição, fato inviável através do método acústico. Os resultados confirmaram a existência de DP e, possibilitou avaliar o seu grau de severidade.

O fato mais importante, confirmado através dos resultados laboratoriais, é a comprovação do que foi detectado na etapa de campo. Existem, como prova de que um aperfeiçoamento do sistema ainda é necessário, pequenas diferenças entre as duas classificações, mas num âmbito geral todas as unidades apresentaram, umas com mais intensidade do que as outras, sinais de DP, comprovando a eficiência do método de medição acústico de campo.

Por fim, foi notado, com grande repetição entre as baterias de ensaios, um sobreaquecimento dos terminais das buchas das unidades capacitivas que apresentavam sinais de DP. Sabendo-se que a variação de temperatura é um dos principais males ao isolamento elétrico e, na maioria das vezes está relacionada à alguma anomalia, esta informação poderia ser importante para as conclusões complementares do trabalho.

Desta forma, foi utilizado um termovisor para a verificação desta mudança de temperatura e até mesmo para mensurar a intensidade da variação desta temperatura. A Figura 8 apresenta um dos registros realizados pelo sistema de termovisão, indicando também as temperaturas nos pontos indicados com referência à temperatura ambiente, cerca de 28°C. Pode-se observar alguns pontos quentes e, em especial P1 em torno de 49,1°C. Este ponto, designado como P1, está localizado no terminal da bucha de uma das unidades capacitivas sob potencial.

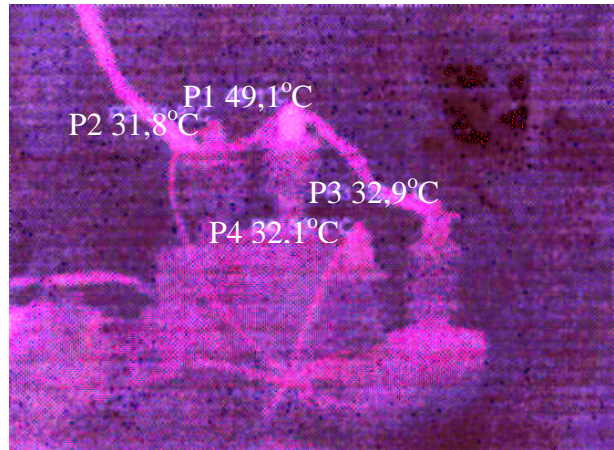


Figura 8 – Imagem do Termovisor registrada em dois capacitores sob ensaio com tensão nominal no laboratório

As outras buchas, embora apresentem variação de temperatura, estão com valores menores que P1. Isto na realidade pode servir como indicativo de falhas internas no interior do capacitor, fato que deve ser investigado em trabalhos futuros. Outro aspecto importante se refere à sensibilidade que poderia ser obtida com cada técnica de avaliação.

6.4 Medição com fibra óptica em bancos de capacitores de 138 kV

Nos casos em que existia a necessidade de isolamento entre as partes envolvidas na medição, cita-se entre a carcaça das unidades capacitivas e o sistema de medição, como ocorre no caso das subestações de 138 KV, uma outra metodologia foi introduzida. Foram desenvolvidos mecanismos que possibilitassem a utilização de um desacoplador a fibra óptica nesses casos. A montagem desta configuração foi apresentada na Figura 3.

Como forma experimental do método, duas subestações de 138 kV foram visitadas e duas unidades capacitivas, uma em cada subestação, foram avaliadas. Embora os procedimentos adotados de maneira preliminar no laboratório tivessem apresentado bons resultados, algumas alterações são encontradas quando de sua implementação no campo. O conjunto de medição, devido à necessidade de se introduzir um transmissor e um receptor com suas respectivas fontes de alimentação e desacoplamentos, acarretaram em uma maior introdução de ruídos eletromagnéticos, o que prejudicou em parte os registros de sinais úteis. Não houve tempo hábil, dentro das atividades do projeto, para se desenvolverem filtros suplementares que pudessem isolar os registros dentro das faixas mais sensíveis dos sensores piezoelétricos.

No entanto, os resultados oriundos desta experiência foram suficientes para cumprir de forma adequada seu objetivo, que era a de identificar unidades defeituosas nos sistemas de distribuição.

7. CONCLUSÕES

Algumas conclusões importantes obtidas neste trabalho podem ser enumeradas e são elas:

- As unidades capacitivas são susceptíveis ao diagnóstico de Descargas Parciais via sistema acústico de medição;
- O mecanismo desenvolvido, permitindo a leitura e armazenamento de informações, bem como a classificação inicial dos sinais, atenderam de modo satisfatório às necessidades.
- A análise laboratorial realizada posteriormente à análise de campo, já com as unidades devidamente classificadas apresentando indícios de sinais de Descargas Parciais, comprovou a eficiência da metodologia.
- A utilização do sistema térmico de identificação de pontos quentes nas unidades capacitivas pode servir como mais uma ferramenta complementar no processo de identificação de falhas nestes equipamentos.
- A fibra ótica se prestou para a sua finalidade, que era a de isolar um sistema elétrico flutuante, com elevado potencial para terra e os equipamentos de medição aterrados. Embora, o sistema careça de aprofundamentos no que tange à minimização de ruídos, a isolação foi realizada com eficácia.
- Um sistema útil e totalmente experimentado foi aprovado, dando margens à criação de um controle contínuo ao longo dos anos de operação das unidades capacitivas.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] Perkins, J.R., "Some general remarks on corona discharges", Engineering Dielectrics Volume I: Corona Measurement and Interpretation. ASTM Special Publication 699, Philadelphia, 1979, pp. 03-21.
- [2] Zaengl, "IEC TC 42 WG – CD September 95 – Partial Discharge Measurements".
- [3] Lundgaard, L. E., "Partial Discharge - Part XIII: Acoustic PD Detection - Fundamental Considerations", IEEE on Electrical Insulation Magazine, Vol. 8, No. 4, Jul/Aug 92, pp. 25-31.
- [4] Levy, A., Chinelli, E., Carvalho, S., Souza, F., Carvalho, A., e Oliveira, R. "Metodologia para Avaliação no Campo de Descargas Parciais em Capacitores de Potência Via Medição Acústica", Prêmio de Destaque no Grupo de Estudo de Subestações e Equipamentos Elétricos (GSE) no XVI SNPTEE, em Campinas 2001.
- [5] Levy, A., Carvalho, A., Amorim, H. e Oliveira, R. "Diagnóstico de Campo da Condição Operativa de Unidades Capacitativas – Metodologia de Medição de DP e sua Implementação "; relatório parcial, DPP-TEQ, N° 599/2001.
- [6] Lundgaard, L.E., "Partial Discharge - Part XIV: Acoustic Partial Discharge Detection - Practical Application", IEEE Electrical Insulation Magazine, Sep./Oct. 1992, Vol. 8, No. 5, pag. 34-43.

