



**XXIV SNTPEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GSE/03

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO -VIII**

**GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO- SGE**

**DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICAS PREDITIVAS DE DIAGNÓSTICO EM SISTEMAS ISOLADOS À GÁS SF<sub>6</sub>.  
EXPERIÊNCIAS BEM SUCEDIDAS DE APLICAÇÃO**

**Leonardo T. B. dos Santos (\*)**  
CEPEL

**Daniel B. Ferreira**  
FURNAS

**Alessandro F. Nunes**  
FURNAS

**RESUMO**

Os sistemas isolados a Gás SF<sub>6</sub> constituem um conjunto de instalações e equipamentos de grande importância e aplicação no setor elétrico nacional e em todo o mundo. As Subestações e Isoladas a Gás (SIGs) geralmente são utilizadas por empresas geradoras na conexão com os sistemas elétricos de potência, concessionárias de transmissão e de distribuição. Apesar da elevada confiabilidade, as SIGs também estão sujeitas a eventuais falhas que podem causar grande impacto para a operação de sistemas locais ou mesmo no sistema interligado nacional.

No cenário global, diversas metodologias vêm sendo empregadas como alternativas de monitoramento e diagnóstico destes sistemas. Neste trabalho serão abordadas algumas amplamente aplicadas como a medição de descargas parciais pelo método UHF (Ultra High Frequency), e a avaliação pela metodologia acústica de boa aceitação pelos gestores de ativos por ser não invasiva e, portanto não necessitar de desligamentos. Aliado a estas duas ferramentas de diagnóstico, será também abordado uma terceira opção de monitoramento, amplamente empregada nestes sistemas e que auxilia na confiabilidade do diagnóstico das metodologias anteriormente citadas. Trata-se do monitoramento da qualidade do gás SF<sub>6</sub> em relação à formação de subprodutos, e o controle do teor de umidade como indicadores da ocorrência de descargas parciais.

Desta forma, o trabalho expõe os fundamentos de cada metodologia, como elas se desenvolveram como técnicas preditivas de diagnóstico através de ensaios laboratoriais e os estudos de caso bem sucedidos que comprovam a eficácia das mesmas. A convergência de resultados e a complementaridade de suas aplicações, serão apresentadas através da parceria entre o Cepel e Furnas nas aplicações de campo, com a realização de inspeções em componentes e equipamentos e constatações técnicas que contribuíram para a consolidação das mesmas como ferramentas eficazes e não invasivas na identificação de defeitos incipientes em Sistemas Isolados à Gás SF<sub>6</sub>.

**PALAVRAS-CHAVE**

SIGs, Emissão Acústica, Descargas Parciais, Método UHF, Diagnóstico

**1.0 - INTRODUÇÃO**

No cenário global, diversas metodologias vêm sendo empregadas como alternativas de monitoramento e diagnóstico de Sistemas Isolados à Gás SF<sub>6</sub>. Observando o contexto dessas instalações no setor elétrico brasileiro, muitos sistemas e instalações já apresentam tempos de operação superiores a 30 anos e no início deste período, nem todo o conhecimento técnico sobre este tipo de instalação, a tecnologia dos materiais envolvidos ou procedimentos de manutenção adequados eram conhecidos e praticados.

(\*) Avenida Horácio de Macedo, n° 354 - Bloco D – CEP 21.941-911 Rio de Janeiro, RJ – Brasil.  
Tel: (+55 21) 2598-6190 – Fax: (+55 21) 2270-4189 – Email: ltorres@cepel.br

Desta forma, muitas instalações já necessitaram de algum tipo de intervenção ou mesmo manutenção em função da existência ou inserção de defeitos. Como geralmente, estas subestações estão localizadas em pontos estratégicos para o fornecimento de energia e em locais com elevada densidade de carga, ocorrências que geram desligamentos reduzem consideravelmente a flexibilidade e a confiabilidade operativa do sistema onde estão inseridas.

Sendo assim, a busca crescente da gestão da manutenção por ferramentas preditivas de diagnóstico eficazes e que de alguma forma possam prever a evolução de defeitos em sua forma incipiente, torna-se cada vez mais efetiva e bem aceita nas práticas de manutenção. Existem diversas ferramentas já empregadas em tais sistemas e com casos bem sucedidos na prevenção de falhas.

Neste trabalho serão abordadas duas metodologias amplamente aplicadas como a medição de descargas parciais pelo método UHF (Ultra High Frequency), e a avaliação de defeitos incipientes pela metodologia acústica. Aliado a estas duas ferramentas de diagnóstico, também será abordado uma terceira opção de monitoramento, igualmente empregada e que auxilia na confiabilidade do diagnóstico das metodologias anteriormente citadas. Trata-se do monitoramento da qualidade do gás SF<sub>6</sub> em relação à possível formação de subprodutos que comprovam a existência de descargas parciais como o nível de SO<sub>2</sub>, e o controle do teor de umidade com a medição de ponto de orvalho. Desta forma, serão apresentados os fundamentos de cada metodologia e os estudos de caso que comprovam a efetividade de tais ferramentas na antecipação da evolução de falhas em tais sistemas.

## 2.0 - SUBESTAÇÕES ISOLADAS À GÁS SF<sub>6</sub>

As Subestações Isoladas a Gás SF<sub>6</sub> (SIGs), por serem compactas e ocuparem menor área que as subestações com isolamento a ar de mesmo porte, representam uma economia significativa no projeto e instalação, além de oferecerem maior confiabilidade por apresentarem as partes energizadas protegidas do meio externo através de compartimentos pressurizados com o referido gás.

Apesar de representarem instalações de elevada confiabilidade e com índices de falha inferiores às subestações isoladas a ar, muitos profissionais ainda não possuem todo o conhecimento técnico sobre este tipo de instalação, bem como a tecnologia dos materiais envolvidos ou os procedimentos de manutenção adequados ainda não são totalmente difundidos e praticados. Desta forma, muitas instalações já necessitaram de algum tipo de intervenção ou mesmo manutenção. Além disto, outros fatores potenciais de inserção de defeitos devem ser considerados tais como: Problemas de fabricação e montagem, transporte inadequado de equipamentos e compartimentos da SIG, procedimentos de limpeza inadequados durante a manutenção e problemas de natureza elétrica e mecânica devido ao desgaste de materiais.

### 2.1 Principais tipos de Defeitos em SIGs

Considerando os diversos mecanismos que possam levar as SIGs à algum tipo de falha, os principais tipos de defeitos internos encontrados nestas instalações, podem ser classificados em quatro grandes grupos, sendo estes:

#### 2.1.1 Presença de Partículas livres

A presença de partículas no interior das SIGs corresponde a um tipo de defeito muito recorrente em SIGs, pois conforme citado anteriormente, problemas no processo de montagem ou a falta de critério no manuseio de matérias podem gerar partículas metálicas e a sua presença pode reduzir significativamente o nível de suportabilidade dielétrica à frequência industrial do sistema. Dependendo de sua localização, podem colocar o sistema de alta tensão em risco quando submetidas a uma força decorrente do campo elétrico que supera o próprio peso da mesma, implicando no seu deslocamento em movimentos aleatórios e ao se carregarem eletricamente, podem promover a ocorrência de descargas disruptivas internas na instalação. Outro problema relacionado à existência de partículas ocorre quando as mesmas fixam-se em espaçadores, onde com o tempo, podem levar à deterioração dos mesmos através da ocorrência de descargas superficiais. Vale ressaltar que o risco de uma partícula, não é função apenas de sua geometria e peso, mas também de sua localização e sua movimentação.

#### 2.1.2 Cavidades e Defeitos nos Espaçadores

Quando submetidos a campos elétricos de elevada intensidade em razão das discontinuidades e não uniformidades geométricas no dielétrico dos mesmos, cavidades e defeitos no interior de espaçadores podem gerar descargas superficiais e no interior dos espaçadores e próximas ao condutor central, podendo ser identificadas por metodologias de diagnóstico já existentes.

#### 2.1.3 Eletrodos Flutuantes

Eletrodos de blindagem são utilizados em conexões de barramentos normalmente localizados entre seções

adjacentes, mudanças de direção e em terminações das SIGs. Eventualmente estes eletrodos tornam-se frouxos produzindo vibrações mecânicas que, ao longo do tempo, causam mau contato elétrico entre o condutor de alta tensão e o eletrodo de blindagem, formando a presença de um objeto metálico flutuante. Desta forma, o eletrodo flutuante adquire potencial elétrico causando descargas de energia considerável, entre o eletrodo e o condutor.

#### 2.1.4 Protuberâncias

Protuberâncias correspondem à irregularidades no condutor central ou no próprio invólucro, proporcionando uma região de intensificação de campo elétrico que resulta na ocorrência de descargas parciais. Defeitos de fabricação e problemas durante a montagem da SIG correspondem aos principais eventos causadores deste tipo de defeito. A Figura 1 a seguir apresenta um esboço dos principais tipos de defeitos existentes em SIGs.

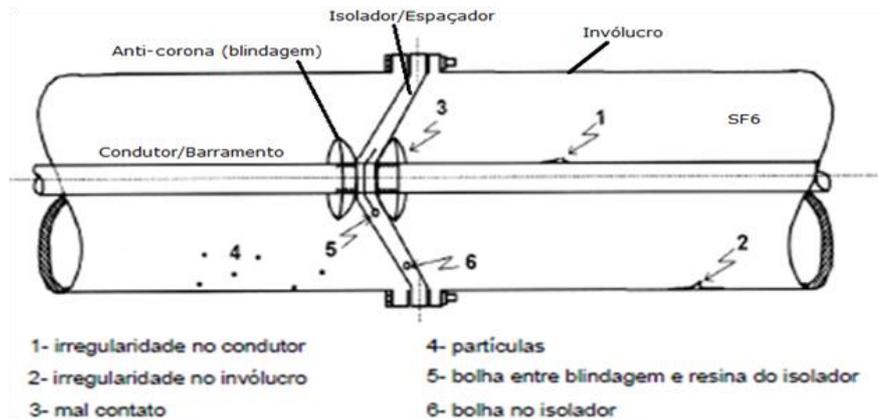


FIGURA 1 – Principais tipos de defeitos internos em SIGs

Cabe ressaltar que as SIGs podem estar sujeitas a outras ocorrências de natureza sistêmica como surtos de ondas transitórias rápidas (*VFT – Very Fast Transient*), esforços de curto-circuito entre outros defeitos externos à instalação e que possam da mesma forma afetá-la ou potencialmente iniciar um dos defeitos acima citados, entretanto a exemplificação anterior visa apenas descrever os mecanismos internos à SIG que podem levá-la à algum processo de falha.

### 3.0 - FERRAMENTAS DE DIAGNÓSTICO PREDITIVAS EM SIG

Sabe-se que qualquer disrupção ou falha interna em uma SIG, invariavelmente implica em uma ocorrência de grandes proporções e em alguns casos, diversos dias para reparo em razão dos cuidados especiais necessários à limpeza, montagem e tratamento do gás para o restabelecimento da mesma. Projetos mais modernos carregam todo o conhecimento técnico adquirido em subestações mais antigas frente às dificuldades que anteriormente surgiam, como novos arranjos com by-pass, estanqueidade de trechos e flexibilidades operativas. Seguindo esta tendência, as novas instalações estarão sendo alvo de ferramentas de monitoramento e diagnóstico capazes de fornecer parâmetros aos gestores de ativos para torná-los cada vez mais capazes de detectar com relativa brevidade, o desenvolvimento de defeitos e assim diminuir a possibilidade contingências inesperadas e por vezes catastróficas.

Ao longo dos anos, muitas ferramentas de diagnóstico têm sido aplicadas em testes de fabricação, comissionamentos no campo e fundamentalmente durante a própria vida útil das SIGs. Em diversas instalações, dispositivos de medição como acopladores capacitivos e pontos de medição da qualidade do gás SF<sub>6</sub> e seus subprodutos, já são especificados para diversas SIGs novas, e em outros casos, instalados gradativamente em subestações já em operação.

O Cepel já há mais de duas décadas vêm estudando e desenvolvendo metodologias capazes de avaliar preditivamente sistemas isolados à gás SF<sub>6</sub>, através de ensaios laboratoriais e experiências de campo bem sucedidas. Com o objetivo de ampliar o conhecimento sobre os mecanismos que podem levar tais sistemas à falha, uma intensa pesquisa laboratorial foi realizada e ainda continua sendo desenvolvida através da simulação de defeitos em um protótipo de SIG composto por barramentos, derivações, espaçadores cônicos e buchas para a energização do arranjo, formando um trecho monopolar real retirado de operação e montado em laboratório para a realização de tal pesquisa. A Figura 2 apresenta o arranjo de SIG montado no Cepel, utilizado por muitos anos para a realização de pesquisas nesta área.



FIGURA 2 – Arranjo de SIG montado no Cepel para realização de pesquisas laboratoriais

Dentre as principais metodologias não invasivas de diagnóstico amplamente aplicadas em SIGs e com potencial de detecção de defeitos incipientes, destacam-se a medição de descargas parciais pelo método UHF e a avaliação pela metodologia acústica. Considerando a possibilidade de ocorrência de descargas parciais nestas subestações, outras instrumentações também são capazes de identificar a formação de subprodutos oriundos da reação do gás SF<sub>6</sub> com as descargas e outros contaminantes. Portanto, acredita-se que uma boa convergência nas análises e uma complementariedade nos diagnósticos pode ser obtida com os métodos e instrumentações adequadas.

### 3.1 A Metodologia Acústica

A metodologia acústica aplicada como ferramenta preditiva de diagnóstico, têm sido amplamente utilizada em diversos setores da área industrial e principalmente em equipamentos no sistema elétrico de potência tais como transformadores de potência, cabos, muflas de alta tensão e SIGs. Dentre os principais motivos que justificam a sua ampla aplicação, destaca-se o fato de ser uma metodologia de diagnóstico com caráter preditivo e não invasivo, sendo este o fator determinante para a sua crescente utilização nos setores de manutenção das empresas, aliado à possibilidade de localização de defeitos internos com relativa precisão.

De uma forma geral, a metodologia busca através da medição de determinados parâmetros e gráficos, definir os chamados “mapas acústicos” de normalidade (ruído de fundo) e os possíveis padrões de defeitos característicos de um determinado equipamento ou instalação durante o seu funcionamento. A Figura 3 apresenta o arranjo básico adotado pela metodologia ao avaliar equipamentos em sistemas isolados a gás SF<sub>6</sub>.

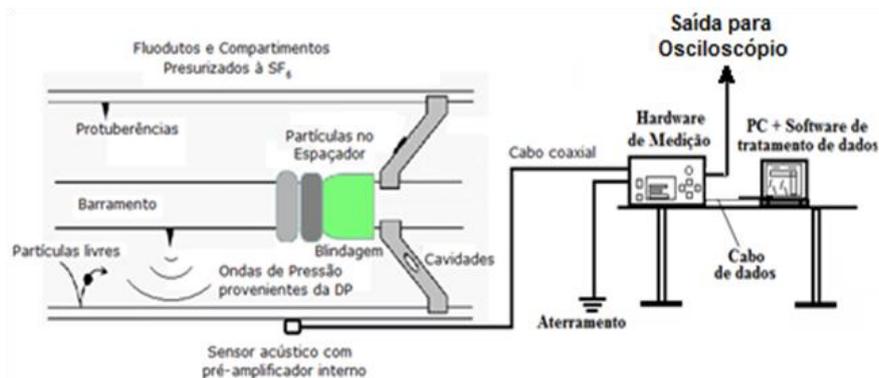


FIGURA 3 – Arranjo básico para a avaliação de SIGs pela metodologia acústica

Desta forma, através da comparação das medições com os mapas acústicos previamente determinados em simulações laboratoriais ou pelo histórico de medições de campo seguidas de inspeções, pode-se inferir se determinado equipamento apresenta ou não alguma atividade acústica característica fora da normalidade e até mesmo classificá-la.

### 3.2 O Método UHF

Descargas parciais em SIGs são provocadas por defeitos, imperfeições ou até mesmo pela presença de contaminantes existentes nos materiais que compõem seu sistema de isolamento. Considerando a fragilidade do SF<sub>6</sub> em regiões de campo elétrico não uniforme, alguns tipos de defeitos como a existências de protuberâncias nas partes energizadas ou aterradas, a presença de partículas livres e a presença de impurezas e imperfeições na estrutura isolante dos espaçadores, podem provocar a intensificação de campo elétrico em determinados pontos e a diminuição da resistência superficial de espaçadores. O método UHF utiliza o conceito da captação de ondas eletromagnéticas transientes que surgem durante a ocorrência de descargas parciais em frequências que variam de dezenas de megahertz a alguns gigahertz e que se propagam ao longo da subestação.

Em função das diversas discontinuidades existentes nas subestações como flanges e derivações, aliado à condutividade finita dos condutores e as perdas ao longo das estruturas e de todo o circuito da SIG, o amortecimento destes sinais transitórios ocorre de tal forma que a atenuação depende da frequência da onda e da quantidade de discontinuidades existentes na instalação. Sendo assim, considerando as devidas limitações citadas, torna-se também possível através do método UHF, estimar a localização de um determinado tipo de defeito através dos tempos de chegada das frentes de onda em cada ponto de sensoramento instalado na SIG.

Os sinais em UHF provenientes de atividades de descarga parcial podem ser detectados através destes pontos, denominados de acopladores capacitivos, que são similares à antenas e instalados ao longo de toda estrutura coaxial da SIG. Para melhorar o desempenho do sistema de medição quanto à relação sinal-ruído, costuma-se utilizar amplificadores, filtros além de realizar a medição em vários pontos de captação, seja por sensores internos como por sensores externos posicionados sobre estruturas isolantes e espaçadores de forma não invasiva com uma antena UHF ou mesmo uma cinta capacitiva. As Figuras 4 e 5 apresentam os dois tipos de sensoramento citados.



FIGURA 4 – Antena UHF interna já instalada na SIG



FIGURA 5 – Sensor UHF externo

Nesta metodologia, torna-se possível aplicar sinais de tensão em um dado sensor instalado na subestação e realizar a medição em outro sensor adjacente. Tal procedimento também permite que o usuário possa controlar o nível de sensibilidade do sistema de aquisição em função da geometria da SIG e do número de espaçadores além de localizar o provável local da ocorrência das descargas parciais na SIG.

### 3.3 A Análise química de subprodutos do SF<sub>6</sub>

A análise química como ferramenta preditiva de diagnóstico em SIGs se apresenta através da identificação de subprodutos associados à reação do hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) com as possíveis atividades de descarga parcial existentes na subestação além do contato com outros materiais. Inicialmente, trata-se de uma ferramenta de diagnóstico atrativa pois é imune a interferências eletromagnéticas e não invasiva, permitindo a adoção de critérios de monitoramento e níveis de criticidade. Embora o SF<sub>6</sub> seja um gás quimicamente estável, atóxico e inerte, seus subprodutos formados através de sua decomposição térmica sob a ação de descargas ou na presença de água e impurezas, são altamente reativos e tóxicos. Durante a decomposição do gás na presença de descargas parciais, este tenta se recompor para novamente formar a molécula de SF<sub>6</sub>, entretanto quando tal processo não se efetiva, subprodutos são formados como o tetrafluoreto de enxofre (SF<sub>4</sub>), fluoreto de tionila (SOF<sub>2</sub>), óxido de fluor sulfuroso

( $\text{SO}_2\text{F}_2$ ) que são tóxicos e em presença de água formam também ácido fluorídrico (HF), de acordo com as reações:

- a.  $\text{SF}_6 + \text{DP (Descarga Parcial)} \rightarrow \text{SF}_4 + 2\text{F}$
- b.  $\text{SF}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SOF}_2 + 2\text{HF}$
- c.  $\text{SF}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2\text{F}_2 + 2\text{F}$
- d.  $\text{SF}_6 + \text{O} \rightarrow \text{SOF}_4 + 2\text{F}$

Durante a decomposição do  $\text{SF}_6$  na ocorrência de DPs, tanto componentes metálicos como componentes da isolação sólida da SIG podem ser atacados. O Flúor livre ao reagir com arco elétrico também pode formar fluoretos metálicos como o hexafluoreto de tungstênio ( $\text{WF}_6$ ) e o fluoreto de alumínio ( $\text{AlF}_3$ ), sendo este último identificado como um pó branco e outro indicador característico da ocorrência de descargas parciais em inspeções de manutenção. Já a umidade, entre outros fatores causa significativa diminuição da resistividade superficial em espaçadores, fato este que colabora com o início da formação de descargas superficiais neste material isolante.

#### 4.0 - APRESENTAÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO

As constatações a seguir representam uma parceria entre o Cepel e Furnas a respeito do acompanhamento contínuo da SIG de Grajaú por ser uma instalação importante para a área metropolitana do estado do Rio de Janeiro com circuitos de chegada em 500 kV e vários circuitos de saída de 138 kV para subestações da Light. Além disso, sua instalação de 138 kV já está em operação há mais de quarenta anos e com o histórico de algumas intervenções. Nesta parceria, Cepel e Furnas interagiram respectivamente com o seu corpo técnico de pesquisa, operação e manutenção para o acesso às instalações, realização de medições, além de treinamento fornecido pelo Cepel sobre algumas técnicas preditivas que posteriormente passaram a ser utilizadas como ferramenta de diagnóstico pelos profissionais de Furnas.

##### 4.1 Estudo de Caso 1

Os gráficos a seguir apresentam os valores identificados pela metodologia acústica em um seccionador de uma SIG no setor de 138 kV. Neste caso, a análise de qualidade do gás  $\text{SF}_6$  foi realizada e não se obteve indicação da formação de  $\text{SO}_2$  ou evolução do teor de umidade. As Figuras 6 e 7 apresentam detalhes do seccionador que foi inspecionado e previamente avaliado por técnicas preditivas de diagnóstico.



FIGURA 6 – Compartimento do seccionador a  $\text{SF}_6$



FIGURA 7 – Detalhe da mola do isolador da haste de acionamento

Na existência de componentes flutuantes por defeitos mecânicos internos, quando a suportabilidade entre o eletrodo de alta tensão e o elemento flutuante é excedida, DPs internas podem ocorrer na SIG. Entretanto, vibrações mecânicas decorrentes de partes internas frouxas também representam o mesmo padrão de sinais acústicos sem necessariamente causar DPs. Durante as medições constatou-se que os níveis de ruído de fundo da SIG conforme a Figura 8 foram totalmente alterados no padrão acústico obtido na Figura 9. Nesta situação, pôde-se caracterizar a complementaridade das ferramentas de diagnóstico empregadas, onde a inexistência de subprodutos como o  $\text{SO}_2$  e a permanência do nível de teor de água, permitiram inferir com maior segurança, que a natureza do evento era estritamente mecânica, fato este posteriormente constatado na inspeção realizada pelo corpo de manutenção.

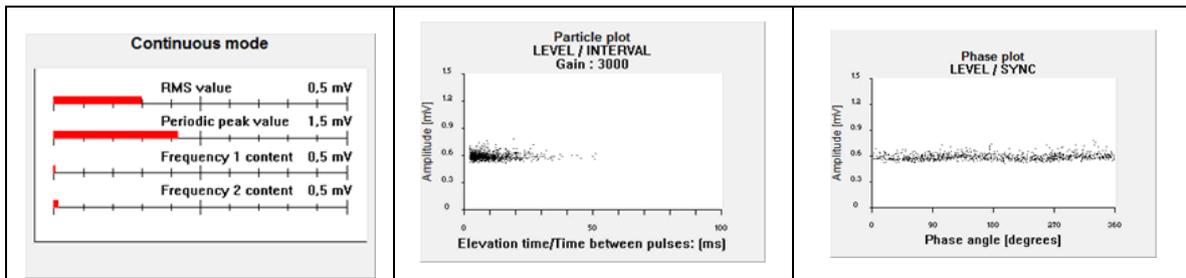


FIGURA 8 – Padrão de ruído de fundo obtido na SIG

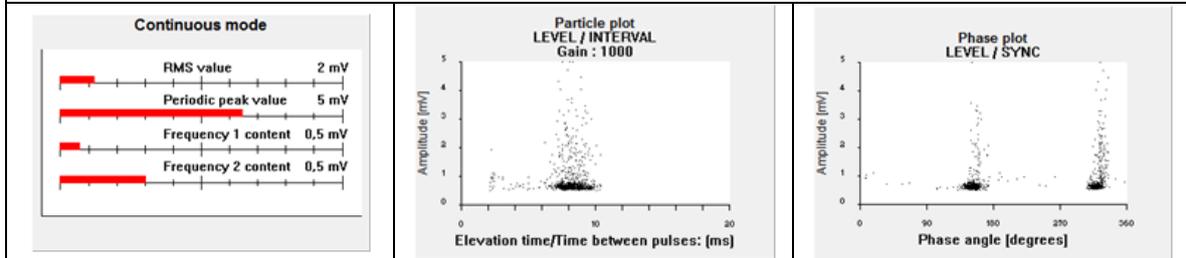


FIGURA 9 – Padrão de componentes internos frouxos confirmado após a inspeção interna no seccionador

O isolador do sistema de acionamento, além da função de isolamento, transmite o movimento rotacional da haste para o contato móvel do seccionador que possui duas molas, sendo uma anterior e outra posterior, para absorver seus eventuais movimentos axiais. Com a mola ausente, o conjunto da haste provocou uma vibração intermitente no conjunto, que pôde ser identificada como padrão de componentes frouxos pelas medições acústicas. Como a mola foi encontrada sobre o seccionador de aterramento, tratando-se de uma região de baixo campo elétrico, pode-se afirmar que a ela tenha permanecido em repouso, o que também explica a identificação de um padrão diferente do que se observa no caso de partículas, não havendo assim descargas parciais neste compartimento.

#### 4.2 Estudo de Caso 2

Este estudo de caso refere-se à uma avaliação preditiva periódica realizada na subestação de 138 kV de em Abril de 2016. Tais medições utilizavam a instrumentação DFA 500 que dispõe de duas ferramentas preditivas de diagnóstico aplicáveis em SIGs: A análise com sensores acústicos e com a antena UHF externa.

Nesta medição, foram identificados simultaneamente sinais anormais tanto pela metodologia acústica como no espectro UHF com a antena móvel em uma chave seccionadora seletora de barra. Posteriormente, em busca de uma convergência das técnicas de diagnóstico e um maior grau de confiabilidade na análise do fenômeno, realizou-se medições com o analisador químico de gases no compartimento da chave seccionadora, onde constatou-se também a evolução dos níveis de  $\text{SO}_2$  na instalação, sendo este, um subproduto tipicamente encontrado na ocorrência de descargas parciais em presença de umidade. Desta forma, como as três metodologias alteraram os seus padrões de normalidade com relação aos resultados apresentados, Furnas decidiu intervir sobre o equipamento e realizar uma inspeção interna visando constatar e apurar a gravidade do fenômeno.

As Figuras 10 e 11 a seguir apresentam os resultados obtidos como sensor UHF, primeiramente com o sensor captando o nível de ruído de SE e posteriormente com o sinal obtido em um espaçador da própria chave, apresentando alterações muito claras em todo o espectro de frequência com amplificações em quase toda a banda de 50 MHz a 1 GHz, sendo este um indicador de atividades eletromagnéticas provenientes de descargas parciais no interior do equipamento.



FIGURA 10 – Espectro de referência obtido preliminarmente na SIG Grajaú 138 kV

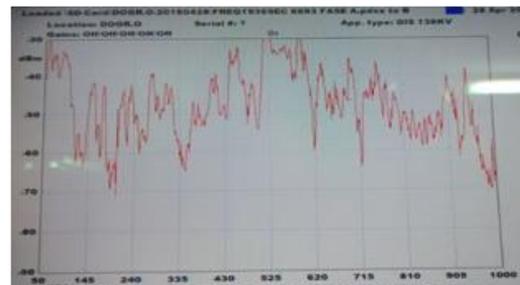


FIGURA 11 – Espectro UHF obtido com o sensor sobre o espaçador da chave seccionadora de barra

Para identificar as atividades acústicas Furnas realizou, previamente, a medição do nível de ruído de fundo dos compartimentos e equipamentos isolados à gás  $\text{SF}_6$  onde identificou sinais constantes, de baixa amplitude (1,5 mV)

e sem correlação ou modulação em frequência (seja de 60 ou 120 Hz) conforme a Figura 12. Entretanto, ao posicionar o sensor acústico sobre o seccionador, constataram-se alterações significativas no padrão acústico dos sinais, sendo eles de amplitude muito superior (entre 20 e 50 mV) e com modulação em 120 Hz, ou seja, indicando que o fenômeno ocorria duas vezes no ciclo de potência, padrão tipicamente observado em componentes internos frouxos (eletricamente com potencial flutuante), problemas em contatos, conexões e a possibilidade de vibração no anel anticorona gerando atividades de DP.

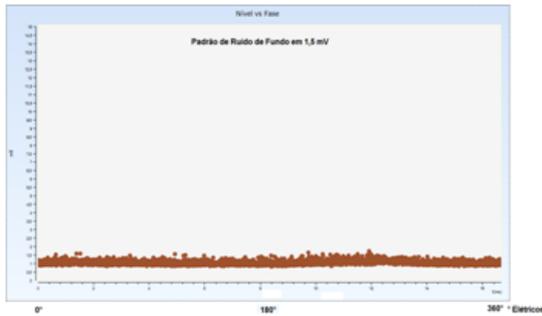


FIGURA 12 – Gráfico que correlaciona a amplitude dos sinais acústicos com um sinal de sincronismo mostrando o padrão de ruído de fundo e normalidade

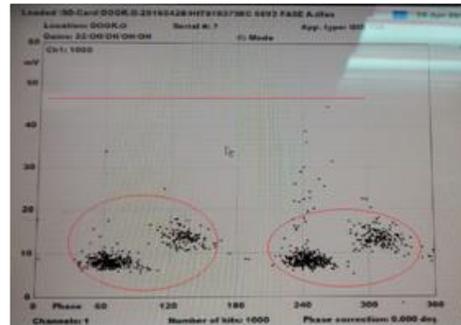


FIGURA 13 – Mesmo gráfico de amplitude vs sinal de sincronismo obtido com o sensor sobre o seccionador de barras indicando um padrão de componentes e contatos frouxos

Tais indicações são baseadas em padrões obtidos em simulações laboratoriais de defeitos já realizadas anteriormente no desenvolvimento da metodologia na instalação piloto no Cepel, oferecendo assim indicadores para os gestores de manutenção sobre os possíveis defeitos correlacionados a um determinado padrão de sinal anormal identificado no campo. Com o objetivo de confirmar os indicadores apresentados pela metodologia acústica e o método UHF, uma análise no gás isolante, especialmente quanto aos níveis de SO<sub>2</sub> por ser um gás formado na presença de umidade e descargas parciais, foi realizada utilizando um analisador químico portátil. A Figura 14 apresenta a tela do instrumento, com a indicação de 4,4 ppmv, sendo este valor convergente com as duas técnicas anteriores, apresentando forte indicação da ocorrência de descargas no interior do seccionador.



FIGURA 14 – Tela do medidor portátil com a indicação de SO<sub>2</sub>

Determinados fenômenos na SIG apresentam riscos potenciais, porém não necessariamente, geram tais subprodutos, principalmente, quando ocorrem problemas internos estritamente mecânicos sem a existência inicial de descargas, ou mesmo a presença de partículas no interior das instalações. Após a convergência das metodologias de diagnóstico e uma possível indicação de DPs no interior da chave, a gestão de manutenção de Furnas optou pelo desligamento e abertura do equipamento, para identificar o possível defeito no interior da mesma além de avaliar o seu grau de criticidade. A Figura 15 apresenta as fotos da inspeção onde de fato foi constatada a presença de sinais de descargas parciais entre o contato fixo e seu anel anti-corona.



FIGURA 15 – Fotos após a abertura da chave seletora de barra indicando a ocorrência de DPs

Durante as inspeções observou-se que alguns parafusos de fixação do anel anticorona estavam frouxos, ocasionando mau contato elétrico, fato este que gera uma diferença de potencial entre o contato fixo e o próprio anel, resultando no surgimento de descargas parciais e vibrações mecânicas. Após as inspeções os profissionais de Furnas envolvidos na manutenção avaliaram que o fenômeno estava em um estágio incipiente, fato este que tornou possível a recuperação dos contatos e do anticorona, pois tinham experiência nesse tipo de recuperação.

## 5.0 - CONCLUSÕES

De acordo com as medições de campo apresentadas nos estudos de caso 1 e 2, pôde-se observar o aspecto complementar das metodologias de diagnóstico representadas pelos métodos UHF e de emissão acústica, aliados à utilização de uma instrumentação dedicada à avaliação dos principais parâmetros da qualidade do gás SF<sub>6</sub>.

A utilização das metodologias de forma conjunta, torna o diagnóstico em SIGs mais confiável e fornece ao gestor de manutenção maiores subsídios na tomada de decisão. Um outro aspecto a ser observado, corresponde ao maior potencial de diferenciação de fenômenos com implicações puramente mecânicas de outros que promovam a formação de descargas parciais internas, sendo nestes casos, o analisador de gases de grande importância na caracterização dos fenômenos.

Em outros casos a convergência de metodologias poderá ser constatada ou não dependendo das características do tipo de defeito, dos parâmetros em que o mesmo se apresenta e as características físicas da própria SIG. Em termos de sensibilidade, pôde se observar que a metodologia acústica apresenta maior na qualificação de defeitos como partículas que podem gerar DP e os relacionados a eventos mecânicos. Já o método UHF apresenta em conjunto com o monitoramento de SO<sub>2</sub>, boa sensibilidade em relação a fenômenos elétricos incipientes.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Risk Assessments on Defects in GIS Based on PD Diagnostics, WG D1.03, Cigré, 2012;
- (2) Santos, L.T.B., Martins, H. J.A.; Neves, A.; "Identificação e Quantificação de Defeitos Incipientes em Subestações Isoladas a Gás SF<sub>6</sub> por Emissão Acústica. Fase Experimental – Ensaio de Campo e Laboratório". 2004, Janeiro. Relatório Técnico DIE 1218/2004, Cepel – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, Brasil.
- (3) COPEL–LAC GIS Course Notes, Part 1: Breakdown Mechanisms in SF<sub>6</sub>. Centre for Electrical Power Engineering University of Strathclyde, George Street, Glasgow, U.K, April 1994.
- (4) Ferreira, D.B.; "Manutenção corretiva após detecção de atividade de descargas parciais na fase vermelha do compartimento V da célula blindada e isolada a gás SF<sub>6</sub> do banco TR 52 da subestação de 138 kV" – Eletrobrás Furnas, Março, 2013.
- (5) Santos, L.T.B., Martins, H. J.A . Aplicação de Ferramentas Preditivas na Avaliação e Diagnóstico da SIG de 138 kV de Grajaú – Furnas; Relatório Técnico nº1229, 2016

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Leonardo T. B. dos Santos** – Nascido no Rio de Janeiro, em 16 de fevereiro, 1977. Graduado na Universidade Federal Fluminense em 2001 e possui Mestrado em Engenharia Elétrica na Pontifícia Universidade Católica – PUC –Rio em 2009. Sua experiência profissional inclui a antiga Companhia de Eletricidade do Rio de Janeiro – CERJ, atual AMPLA, MPE – Montagens e Projetos Especiais e o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, empresa do Sistema Eletrobrás no qual trabalha desde 2002. Sua principal área de interesse inclui pesquisas e trabalhos relacionados ao Diagnóstico de Equipamentos Elétricos de Potência e a Aplicação de Inteligência Artificial em Sistemas de Potência. Trabalha atualmente no CEPEL como pesquisador do Departamento de Linhas e Estações e desenvolve trabalhos relacionados ao diagnóstico de transformadores de potência através da Análise de Gases Dissolvidos, além de outras técnicas de diagnóstico

em equipamentos elétricos no campo como a Metodologia Acústica na identificação de defeitos em Subestações Isoladas a Gás SF<sub>6</sub>.

**Daniel B. Ferreira** – Nascido no Rio de Janeiro – RJ, em 06 de Dezembro de 1984. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ em 2010 e Pós-Graduado em Engenharia Econômica também pela UERJ em 2012. Funcionário de Furnas desde Dezembro de 2004, atualmente trabalha no setor de engenharia de manutenção de Furnas, mais especificamente na divisão de equipamentos de manobra de alta tensão, com participação e experiência em grupos de trabalho relacionados a Subestações Isoladas à Gás SF<sub>6</sub>.

**Alessandro F. Nunes** – Nascido em Campinas em 5 de junho de 1979. Formado em Técnico em Eletrotécnica na Escola Técnica Estadual de Furnas em 1998, e atualmente cursa o 7º período do curso de Engenharia Elétrica no Centro Universitário Claretiano, Batatais – SP. Trabalha em Furnas desde 2000 e atualmente na Divisão de Ensaio e Suporte à Manutenção