



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

AB/GTM/17  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO – XIII**

**GRUPO DE ESTUDO DE TRANSFORMADORES, REATORES, MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES -  
GTM**

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE SENSOR MODALMÉTRICO DE FIBRA ÓPTICA PARA DETECÇÃO  
DE DESCARGAS PARCIAIS EM TRANSFORMADORES E REATORES DE POTÊNCIA.**

ARANTES, I.P. (\*)  
ELETRONORTE

HENRIQUES, H.D.O.  
LETD / UFF

BARBERO, A.P.L.  
LACOOP / UFF

GERMANO, S.B.  
LACOOP / UFF

**RESUMO**

Este trabalho relata a construção de um sensor óptico que mede a intensidade e duração de descargas parciais, baseado nas alterações causadas por vibrações mecânicas na luz injetada em uma fibra multimodo. A fibra sensora, fazendo parte do sistema modalmétrico, comporta-se como uma espécie de “nervo de vidro”, muito sensível aos distúrbios mecânicos de baixa magnitude. Serão apresentados resultados de ensaios no CEPEL e na subestação de Imperatriz da Eletronorte. O trabalho mostra que existe forte evidência de que o número de ocorrências, a amplitude, a duração e o intervalo entre duas sequências de DP's, podem medir o estado do isolamento.

**PALAVRAS-CHAVE**

Fibra Óptica, Descargas Parciais, Transformadores, Sensor Modalmétrico.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Com o avanço tecnológico, é possível monitorar em tempo real as condições operacionais de transformadores de potência e seus acessórios tais como buchas, comutadores, moto ventiladores, etc.

O fenômeno das descargas parciais ocorre em cavidades ou inclusões de constante dielétrica diferente do material que a rodeia. Quando este material é submetido a um campo elétrico, este se distribui pelo material, submetendo a cavidade ou inclusão a um gradiente de tensão em excesso ao gradiente máximo suportável pela mesma. Este fenômeno dará origem a pequenos centelhamentos no interior de transformadores, devido a conexões frouxas, baixa isolamento elétrica, curtos-circuitos e outros fatores (1).

As descargas consistem então de transientes elétricos que ocorrem onde houver queda suficiente da isolamento elétrica e, portanto, o colapso local da rigidez dielétrica, acarretando um processo temporal de deterioração progressivo do material e eventualmente a falha do equipamento.

Esta deterioração da isolamento elétrica ocorre de forma cumulativa, devendo-se à fadiga mecânica, térmica, química e elétrica durante a operação do transformador. Logo, é importante a detecção das descargas parciais em equipamentos como controle de qualidade não destrutivo, sendo uma forma para avaliar a degradação e o envelhecimento gradual do material dielétrico que garante a isolamento elétrica interna de um transformador.

Este trabalho apresenta o resultado do desenvolvimento de um sensor de fibra óptica utilizado para detecção das descargas parciais (3), (4). O equipamento apresenta grande precisão devido a sua alta sensibilidade e, associado a equipamentos eletrônicos de grande taxa de amostragem, proporcionam análises da condição do isolamento de transformadores, reatores, transformadores de instrumentos, entre outros (3).

Foram realizados dois testes com o sensor desenvolvido (2), (5). O primeiro no laboratório do CEPEL e o segundo, em campo, no pátio da subestação de Imperatriz da Eletronorte.

Os resultados possibilitaram desenvolver um algoritmo para a análise de parâmetros que inferem o estado do isolamento do equipamento que será descrito nas seções a seguir.

## 2.0 - SENSOR MODALMÉTRICO OU FIBREDYNE TIPO SMS REFLEXIVO

O sistema de sensoriamento funciona da seguinte forma (6), (7), (8) e (9): O laser manda uma luz através de uma fibra monomodo, em um determinado comprimento de onda, que entra no sensor, fibra multimodo. A luz reflete em sua extremidade espelhada e é re-injetada na fibra monomodo novamente, só que, com presença de vibrações mecânicas, elas se reacoplam de maneira diferente, conforme a vibração. Ao retornar à fibra monomodo, a luz é conduzida pelo circulador óptico para um detector, um foto-diodo, que transforma o sinal de luz em tensão (volts), que é conduzido a um osciloscópio e tem os valores armazenados em um arquivo através de um programa de leitura. O processo descrito é ilustrado no esquema desenhado pela figura 1.

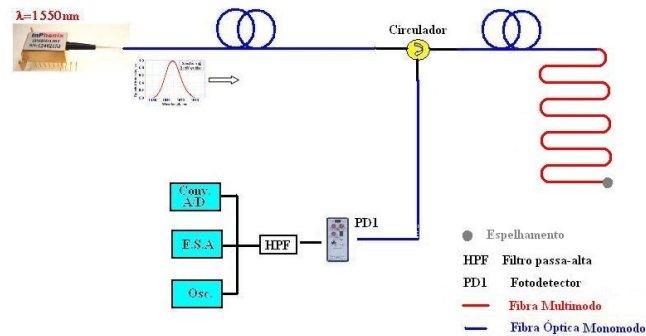


FIGURA 1 - Esquema de funcionamento do sensor modalmétrico.

## 3.0 - ENSAIO CEPEL – TRANSFORMADOR 500 KVA

O CEPEL, através do LABDIG, montou um transformador de 500 kVA, de relação nominal de 13200/216,5 volts, usado em sistemas subterrâneos, para que fossem realizados os testes de descargas parciais com o sensor modalmétrico desenvolvido neste projeto.

Conforme indicado no desenho da figura 2, instalou-se uma ponta entre o enrolamento de alta tensão e a carcaça do transformador de forma que, ao aumentar a tensão, provoque descargas entre a ponta e a carcaça.

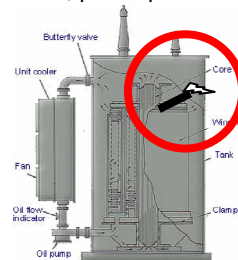


FIGURA 2 – Diagrama esquemático de um transformador de potência com a ponta instalada.

A idéia foi retirar uma parte do óleo do transformador, de tal forma que na parte superior, no ar, pudesse ser instalada uma ponta, bem próxima à carcaça, onde se darão as descargas.

Na fase X2, lado de baixa tensão, foi injetada gradualmente uma tensão, controlada por um variac (figura 3).

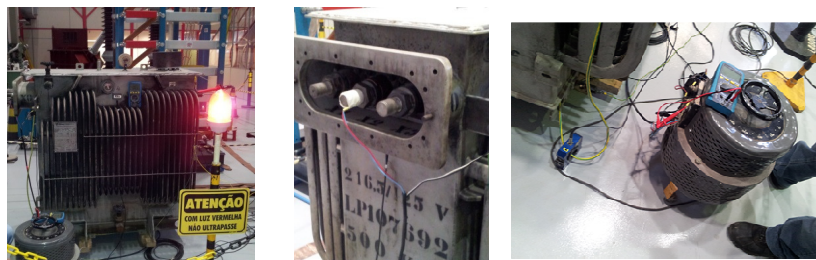


FIGURA 3 - Transformador preparado para ensaio de descargas parciais

No lado de alta tensão, foi instalado um divisor de tensão que foi ligado a um voltímetro digital. Desta forma pode-se verificar o aumento das descargas, à medida que se vai aumentando a tensão no lado de baixa tensão, através do Variac. Pode-se também, determinar o valor de tensão ao qual estas descargas se iniciam (Figura 4).

O sensor modalmétrico, de fibra óptica, foi instalado na parte externa da saída de alta tensão do transformador, junto a outros dois sensores piezoelétricos do CEPEL, para fins de comparação, conforme mostrado na figura 4.

Com o transformador desligado, é recomendado fazer uma aquisição de dados com o sensor para avaliar os níveis de ruído e vibração local. Como o laboratório utilizado para os testes, possui um sistema de refrigeração e fica localizado sobre uma subestação de força, o nível de interferência foi elevado.



FIGURA 4 – Detalhe do divisor de tensão, medidor e sensores.

Como, em campo, o sensor irá ser aplicado às distâncias até maiores que 100 metros, estudou-se um filtro para as frequências de ruído que apareceram neste caso. A figura 5 mostra essas frequências.

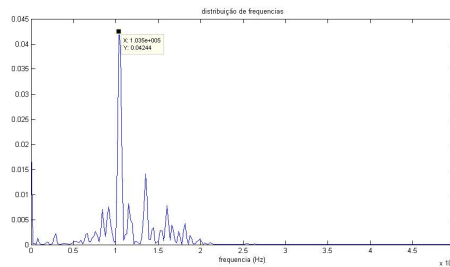


FIGURA 5 - As frequências do ruído com 100 metros de cabo.

Nota-se uma concentração grande do ruído na frequência de 103.5 kHz. Para captação dos dados quando da aplicação de tensão no secundário do transformador, foi necessário projetar um filtro para eliminar as frequências de ruído, sem grandes perdas do sinal da vibração do transformador.

#### 4.0 - ENSAIO ELETRONORTE SUBESTAÇÃO IMPERATRIZ

A Eletronorte, através de ensaios de cromatografia gasosa, indicou dois transformadores de corrente do tipo Pedestal de 500 kV. O primeiro foi o TC 702 \_V do DJ701, figura 6, que por ensaios do CEPEL e análise cromatográfica de gases, apresentava fortes atividades de descarga parcial, DP. O segundo, TC 702 \_B do DJ701, foi medido para ser a referência de um equipamento de baixa atividade de DP.

Foi utilizado o sensor óptico, modalmétrico, desenvolvido pela UFF, nos dois casos. Os resultados dos ensaios foram gravados, de tal forma, que cada arquivo contém 1 min de gravação, 60 milhões de registros, valor da tensão transduzida pelo ruído na faixa do ultrassom, a cada  $\mu s$ . No TC 702 \_V foram gravados 30 min e no 702 \_B dez minutos. A telemetria instalada e integrada ao sensor, na casa de relés mais próxima do TC, e a distância do TC à casa de relés são mostrados na figura 6.



FIGURA 6 - Sensor instalado no TC 702 \_V do DJ701, telemetria integrada e distância do TC à casa de relés.

A figura 7 mostra a primeira descarga gravada e sua transformada de Fourier. No eixo  $y$ , encontra-se a potência do sinal, no  $x$  a frequência. Pode-se observar que as frequências estão entre 29 e 103,5 kHz. Baseados nestes resultados, foram escolhidas as frequências de corte para um filtro passa faixa entre 27 e 105 kHz. A figura 8, mostra a ação do filtro passa faixa escolhido para o ruído do TC 702 \_V.

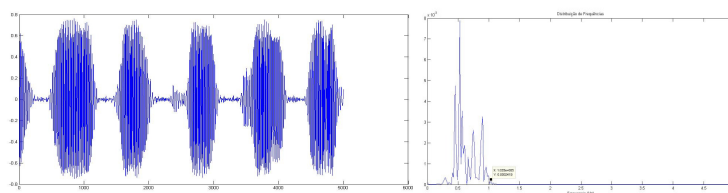


FIGURA 7 - Descarga escolhida aleatoriamente e sua transformada de Fourier.

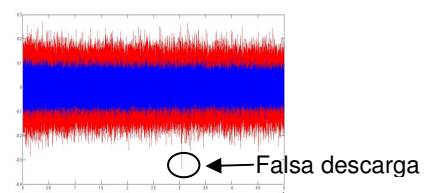


FIGURA 8 – Sinal com filtro.

Nota-se que há uma redução de 50% no ruído e que alguns picos, que poderiam ser confundidos com descargas, são filtrados. Na cor vermelha da figura 11 encontra-se o ruído sem filtro e na cor azul o ruído filtrado.

## 5.0 – ALGORITMO DE ANÁLISE

Após a coleta dos dados de ruídos acústicos nos transformadores de corrente, é necessária a identificação das descargas parciais e determinação de parâmetros, como duração, frequência, energia e amplitude, que possam ser usados na comparação entre os transformadores.

Por meio da amplitude e tempo de duração, é possível separar o ruído acústico causado por uma descarga parcial dos ruídos causados por efeitos externos e falhas na medição.

O figura 9 apresenta o primeiro minuto de coleta de dados do transformador TC 702\_V, que possui grande atividade de DP. Pode-se notar o ruído causado por duas descargas parciais detectadas. A primeira aos 19,8 s e a segunda aos 42,8 s. Observa-se o enorme contraste entre as amplitudes das descargas e do ruído.

Outra característica importante das descargas parciais é o seu tempo de duração. Assim como ocorre na amplitude, as descargas parciais podem apresentar diversos tempos de duração. Na figura 10, que apresenta os dados coletados durante o décimo quarto minuto no transformador defeituoso TC 702\_V, podem ser observadas duas descargas parciais logo no início dos dados. A primeira descarga apresenta uma duração de aproximadamente 29 milissegundos, enquanto a segunda descarga dura três vezes o tempo da primeira, com 95 milissegundos. As durações das descargas são importantes, pois ajudam a identificar valores de alta amplitude, mas com duração muito pequena, tratando-se de um ruído desconhecido, ou seja, falsa descarga. A figura 11, mostra uma falsa descarga.

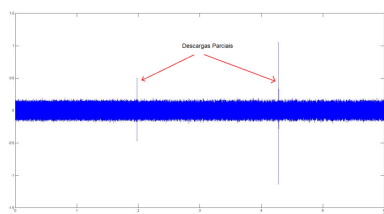


FIGURA 9 – Diferença de amplitude entre o ruído base e a descarga parcial.

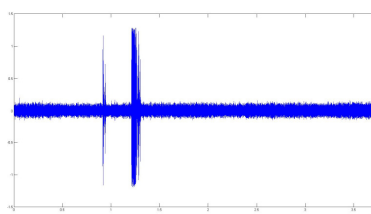


FIGURA 10 – Duas sequências de descargas parciais de diferentes durações.

Apesar de ter determinado que a grande maioria das descargas parciais dure, em média, em torno de 50 milissegundos, vemos que na verdade este valor corresponde à duração de uma sequência de microdescargas que formam a descarga observada. Assim, nota-se na figura 12, que outra característica única das descargas parciais é a existência dessa sequência de microdescargas.

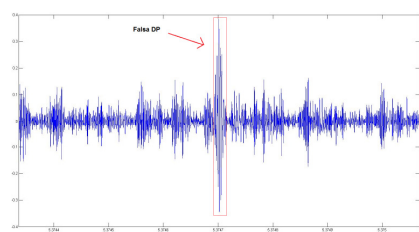


FIGURA 11 – Falsa Descarga.

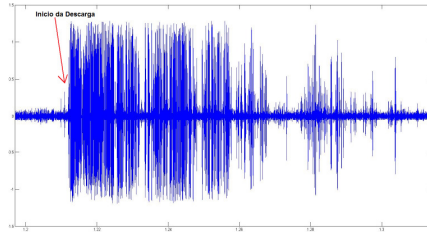


FIGURA 12 – Sequência de Descargas

Outro valor importante a se notar é o tempo entre duas microdescargas. Na sequência da figura 12, pode ser observado que o tempo entre duas microdescargas assume valores de 0,05 milissegundos até valores maiores de 0,25 milissegundos. Esta análise é importante para determinar quando acaba uma descarga e quando começa outra, uma vez que, caso o tempo entre duas sequências de microdescargas seja muito pequeno, pode-se considerar erroneamente duas descargas como sendo apenas uma descarga mais longa.

É importante então para a contagem correta do número de descargas, determinar um parâmetro que represente o tempo máximo entre duas microdescargas para serem consideradas parte de uma mesma sequência. Este valor deve ser baseado no maior tempo entre duas microdescargas encontrado no banco de dados.

A amplitude e o tempo mínimo são bem eficientes como métodos de detecção de DPs, porém às vezes não são suficientes e podem eliminar possíveis descargas. Para resolver este problema é utilizada a área debaixo da curva de amplitude de uma DP. Esta característica será chamada de Severidade e é utilizada em conjunto com a amplitude e a duração para eliminar falsas DPs.

Na descarga da figura 13, a severidade apresenta um valor de 172,3 V.μs. A severidade de outras descargas chega a valores de até 15000 V.μs mas, na média, ficam próximas de 3000 V.μs.

Devido a enorme quantidade de dados gravados, o programa fará a leitura de apenas 1 minuto de dados por vez, portanto os dados serão separados em blocos de minutos, cada um contendo 60.000.000 (sessenta milhões) de dados a serem analisados.

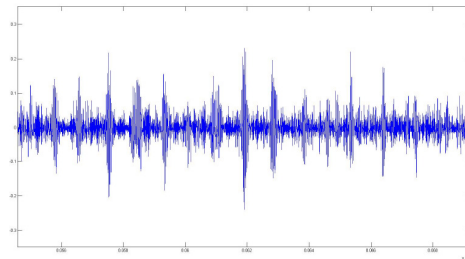


FIGURA 13 – Sequência de descarga de baixa amplitude

Considerando as observações feitas durante a análise dos dados dos TC's, foram selecionados os seguintes parâmetros na comparação entre as DPs presentes nos dois transformadores:

- **Duração Média:** As descargas parciais podem apresentar uma duração média diferente quando ocorrem em um transformador em bom funcionamento ou em situação defeituosa.
- **Frequência de DP:** A quantidade de descargas por minutos pode variar entre os equipamentos, sendo, portanto útil na comparação.
- **Pico Médio:** As descargas parciais talvez possam apresentar uma média de picos na amplitude maiores dependendo das condições do equipamento.
- **Severidade:** A área debaixo da curva de amplitude de uma DP, este pode ser um parâmetro que apresenta uma diferença significativa entre os transformadores, portanto também pode ser útil para a avaliação.

Em cada minuto será determinado uma amplitude de ruído base (Rb), que representará a mediana do valor de ruído máximo presente em cada minuto, ou seja, assumirá um valor diferente para cada bloco de minuto de dados e será útil na separação entre ruídos e descargas. A determinação do valor de Rb para cada minuto será feita da seguinte maneira:

- Divide-se os 60 milhões de dados em N conjuntos de mesmo tamanho;
- Determina-se o valor da maior amplitude em cada um dos N conjuntos;
- A mediana dos N valores será o ruído base (Rb).

Além do valor de ruído base, para a detecção das descargas parciais o programa requer que sejam definidos quatro valores iniciais:

- **amp:** Define o fator aplicado em Rb determinando o valor mínimo que um dado deve apresentar para ser reconhecido como possível descarga. Por exemplo: 1,4 (a amplitude mínima para uma DP será 130% de Rb);
- **tmin:** Define a duração mínima que um conjunto de dados que satisfaçam a condição de amplitude devem ter para serem considerados como DPs. Por exemplo: 1 ms;
- **tesp:** Define o tempo mínimo entre duas descargas parciais. Qualquer tempo entre duas DPs menor que tesp, fará com que as duas descargas passem a ser consideradas como uma descarga parcial mais longa. Por exemplo: 60 ms;
- **sevmin:** Define a severidade mínima que um conjunto de dados que satisfaçam a condição de amplitude devem ter para serem considerados como DPs. Por exemplo: 50 V.μs.

Com as condições iniciais determinadas, a lógica com os principais passos da varredura dos dados em busca de DP's é apresentada a seguir:

1. Carrega o primeiro minuto de dados;
2. Busca o próximo dado (first) que apresente valor acima da amplitude mínima determinada ( $amp \cdot Rb$ ). A busca parte da posição final da ultima possível descarga detectada (last). Caso seja a primeira busca, parte do primeiro dado (last = 1). Caso não encontre um dado que satisfaça a condição de amplitude, vá para 7);
3. Determina o ultimo dado (last) que apresente valor acima da amplitude mínima, em um intervalo tesp de tempo, a partir do dado first;
4. Determina um novo dado last, que será o ultimo dado que apresente valor acima da amplitude mínima, em um intervalo tesp de tempo, a partir do dado last atual. Repita o processo até não existir um novo possível dado last;
5. A duração em microssegundos será o valor da posição do dado last subtraído do valor da posição do dado first. Confira se o valor da duração é maior que tmin, calcule a severidade, confira se o valor da severidade é maior que sevmin. Caso a duração ou a severidade não satisfaça a condição, vá para 2);
6. Salve os parâmetros desta DP detectada em uma tabela: Duração, Amplitude máxima, Integral no intervalo first a last. Adicione 1 no contador de DPs. Volte para 2);
7. Substitua o bloco de dados de ruído acústico, pelo próximo minuto de dados, vá para 2). Caso não exista mais minutos a serem analisados, salve a tabela com os parâmetros das DPs detectadas e termine o programa.



## 6.0 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 6.1 Resultados de ensaios no CEPEL

Foram registradas as vibrações, iniciando-se o ensaio a 500 volts e incrementando mais 500, até 2500 volts, lado primário do transformador. Foi registrada também a tensão de 2600 volts, valor que se inicia forte vibração dos sensores piezelétricos do CEPEL. A taxa de amostragem do sensor modal métrico é de 1 Mega sample por seg. A figura 14 mostra a influência das frequências de ruído na captação do sinal. Nota-se que o ruído predomina em quase todas as faixas. Foi escolhido um filtro passabaixa com frequência de corte de 80 kHz. Os sinais dos primeiros 10ms, são mostrados na figura 15. Em amarelo o sinal sem filtro e em azul o sinal filtrado.

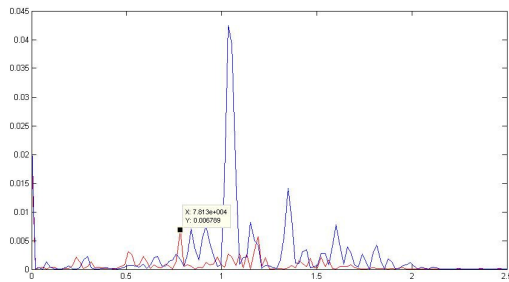


FIGURA 14 - Ruído (azul) x Captação em 2000V (vermelho)

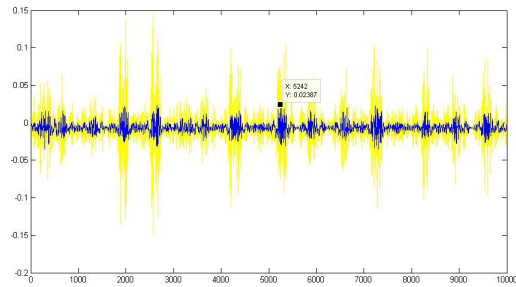


FIGURA 15 – sinal sem filtro (amarelo) x sinal com filtro (azul)

As descargas parciais eram inicialmente sensíveis pelos sensores piezelétricos instalados pelo CEPEL na tensão de 2600Volts. Era de se esperar que os valores de tensão da vibração (VV) aumentassem com a tensão do primário do transformador (VPT). A Figura 16 mostra a variação da tensão máxima e média de vibração com o valor de VPT. Nota-se que a amplitude da VVmax cresce muito quando a descarga se inicia. Para valores de VPT até 2000 volts, a vibração se mantém quase constante, sem maiores variações, o que confirma o resultado do sensor do CEPEL. Foi observado também que o intervalo de tempo entre duas sequências de descarga diminui com o aumento da tensão.

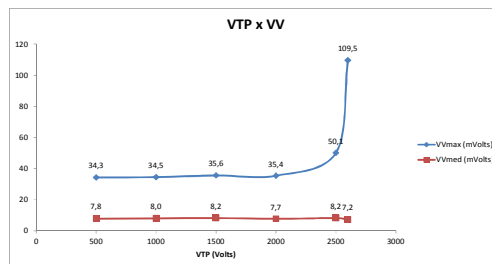


FIGURA 16 – Vibração x Tensão no primário do transformador.

### 6.2 Resultados de ensaios em Imperatriz

Após uma análise visual de várias descargas parciais, as condições iniciais escolhidas para o programa desenvolvido e o motivo de suas escolhas são citados a seguir:

- **amp= 1,3:** Foi observado que dados com valores 130% acima do ruído já apresentam uma variação suficientemente grande para serem considerados como possíveis descargas;
- **tmin= 0,5 ms:** As descargas pareciam apresentar uma duração média de 50 ms, com o valor de 0,5 ms tenta-se então eliminar diversas falsas DPs enquanto se mantém uma boa margem para descargas com pequenas durações;
- **tesp= 100 ms:** O valor de tesp influencia bastante no tempo de varredura dos dados, o valor de 0,1 segundo não causou problemas de unir duas descargas distintas e garantiu um tempo de varredura satisfatório;
- **sevmin= 100 V.µs:** A severidade média parecia estar em torno de 3000 V.µs, entretanto foi constatada uma descarga com valor de apenas 172,3 V.µs, portanto, o valor escolhido foi de 100 V.µs.

Com as condições iniciais definidas, o programa levou 673 segundos para varrer os 40 minutos de dados coletados, de 1 em 1 microssegundo, resultando em um total de 2.400.000.000 (dois bilhões e quatrocentos milhões) de dados. A Tabela 1 apresentada a seguir se refere aos resultados encontrados na varredura dos 30 minutos de dados coletados no transformador defeituoso. Os valores médios estão apresentados na tabela 2. A tabela 3 e 4 são semelhantes as tabelas 1 e 2, com valores que representam os dados coletados no transformador de referência.

Tabela 1 – Características das Descargas Parciais no TC 702\_V (Defeituoso)

DESCARGA	Minuto	Início da DP (s)	Duração da DP (ms)	Pico (V)	Severidade (V.µs)	Ruído Base (Rb)
1	1	19,809391	9,610	0,502281293	363,7947431	0,195055289
2	1	42,797135	37,961	1,137154258	1878,21849	0,195055289
3	3	154,281091	6,544	0,277491381	172,3427863	0,212281269
4	8	446,025423	66,043	1,295578341	2066,506292	0,159157455
5	9	504,795207	28,498	1,367382423	3352,631202	0,183606622
6	9	511,8085	58,118	0,866224871	1476,573437	0,183606622
7	14	780,91621	29,031	1,163503117	2058,372539	0,163259262
8	14	781,20988	95,455	1,282145617	15096,53662	0,163259262
9	14	804,097235	145,806	0,23668888	2924,336357	0,163259262
10	17	1003,956196	14,686	0,744181422	1034,898743	0,188741317
11	24	1388,041327	24,016	0,238027637	591,7851701	0,138241573
12	24	1389,636062	53,904	0,547596627	1959,759342	0,138241573

Tabela 2 – Médias das Características das Descargas Parciais no TC 702\_V (Defeituoso)

Frequência (DP/min)	Média das Durações (ms)	Média dos Picos (V)	Média das Severidades (V.µs)
0,4	47,47266667	0,804854656	2747,979643

Tabela 3 - Características das Descargas Parciais no TC 702\_B (Referência)

DESCARGA	Minuto	Início da DP (s)	Duração da DP (ms)	Amplitude (V)	Severidade (V.µs)	Ruído Base (Rb)
1	1	22,494018	52,095	0,853429215	4338,75222	0,086537111
2	4	182,443293	96,864	0,27977475	1198,583843	0,090447203
3	5	296,202005	41,502	0,904297313	5169,206139	0,089887912

Tabela 4 - Médias das Características das Descargas Parciais no TC 702\_B (Referência)

Frequência (DP/min)	Média das Durações (ms)	Média dos Picos (V)	Média das Severidades (V.µs)
0,3	63,487	0,679167093	3568,847401

Avaliando-se os resultados nota-se:

- No TC defeituoso, o nível médio de ruído base é quase o dobro do TC de referência;
- A média dos picos (V) do TC defeituoso é 19% maior do que o da referência;
- A duração da descarga média do defeituoso é 25% menor que o equipamento de referência;
- TC defeituoso tem em média uma descarga a cada 150 segundos( 1800/12), enquanto o de referência tem uma a cada 200 segundos(600/3).

## 7.0 – CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados, é possível tirar uma conclusão dos dados coletados, podendo-se afirmar que existe uma relação entre o estado do transformador e as características de suas descargas.

Os parâmetros das descargas parciais que ajudam a identificar um transformador que apresenta operação defeituosa são os valores médios no intervalo de tempo de :

- Amplitude máxima (valores de pico);
- Quantidade de descargas por minuto que ocorrem;
- Ruído base;
- Duração da descarga;
- Número de descargas por segundo.

É possível então determinar valores limites de segurança para esses parâmetros. Quando a análise das descargas parciais apresentar sinais de que estão fora do limite, seria sinalizado uma possível necessidade de intervenção para uma manutenção preventiva no transformador.

Como muitos fatores podem influenciar nas descargas produzidas por um equipamento, cada tipo de transformador apresentará valores de segurança diferentes para seus parâmetros de descargas parciais. Recomenda-se que a realização da análise de descargas parciais seja feita inicialmente com o transformador em bom estado e utilizada,

posteriormente, como referência para monitorar mudanças nos parâmetros das descargas parciais de equipamentos de mesmo tipo.

Uma curiosidade observada foi que as descargas parciais presentes no transformador em más condições apresentaram parâmetros de duração e severidade menores que as do transformador usado como referência de boa condição de operação. Isso ocorre provavelmente porque o transformador em más condições requer menos energia nas suas descargas para que ocorra a ionização do seu material dielétrico, resultando em descargas com menor severidade e duração.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) JOSÉ TEIXEIRA JUNIOR - Apostila Medição de Descargas Parciais. Universidade Federal do Paraná.
- (2) (HENRIQUES, H. O.; BARBEIRO, A. P.; GERMANO, S. B. – Projeto N° ANEEL: 0372 – 009 / 2007.
- (3) E. HOWELLS AND E. T. NORTON, “**Detection of partial discharges in transformers using acoustic emission techniques**”, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. **PAS-97**, 5, 1538-1549 (1978).
- (4) J. A. COSGRAVE, A. VOUDAS, G. R. JONES, J. W. SPENCER, M. M. MURPHY AND A. WILSON, “**Acoustic monitoring of partial discharges in gas insulated substations using optical sensors**”, IEE Proceedings A, **140**, 5, 369-374 (1993)
- (5) ZARGARI AND T. R. BLACKBURN, “**Modified optical fibre sensor for PD detection in high-voltage power equipment**”, IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 424-427, Montreal, Canada, June 16-19 (1996)
- (6) B.T. Phung, T.R. Blackburn, G.D. Peng, H.C. Chang and L.K. Guan, “**Development of new partial discharge sensors for condition monitoring of power system equipment**”, Australasian University Power Engineering Conference, September 25-28, Hobart, Tasmania, Australia, paper S18.1 (2005).
- (7) P. Boffi, R. Bratovich, F. Persia, A. Barberis and M. Martinelli, “**1550 nm All-Fiber Interferometer For Partial Discharge Detection In Oil-Insulated Power Transformer**”, International Conference on Optical Fiber Sensors (OSA/OFC), paper TuC5 (2006).
- (8) S. E. U. Lima, O. Frazão, R. G. Farias, F. M. Araújo, L. A. Ferreira, J. L. Santos and V. Miranda, “**Mandrel-based fiber-optic sensors for acoustic detection of partial discharges – a proof of concept**”, IEEE Transactions on Power Delivery, **25**, 4, 2526-2534 (2010).
- (9) R. M. Ribeiro, Yanes C. Balod, Andrés P. Barbero e P. A. M. Santos, “**Sensor Modalométrico de Perturbações Baseado em Fibra Óptica de Sílica Multimodo**”.

## 3.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

**Iran Prado Arantes** - Nascido em Ituiutaba, MG, em 27 de junho de 1955, graduado em Engenharia Elétrica em 1986, pela Faculdade de Engenharia de Ituiutaba. Trabalhou na empresa CELG – Centrais Elétricas de Goiás S.A, de 1977 a 1988 na área de manutenção de subestações. Trabalha na Eletronorte – Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A., desde 1988, onde atuou como engenheiro de manutenção de subestações até 2004, e desde então é engenheiro de projeto e construção de subestação. Participa do Cobei / ABNT e do Cigré.

**Henrique de Oliveira Henriques** – Nascido no Rio de Janeiro em 25 de janeiro de 1956. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1978), mestrado em Computação Aplicada e Automação pela Universidade Federal Fluminense (1998) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2003). Atualmente é Professor Associado IV do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Fluminense. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Transmissão e Distribuição da Energia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: distribuição de energia, perdas, confiabilidade, manutenção, automação, redes inteligentes e atendimento a consumidores.

**Andrés Pablo Lopez Barbero** – Nascido no Uruguai, em Montevideu em 26 de maio de 1966. Possui graduação em Engenharia de Telecomunicações pela Universidade Federal Fluminense (1988), mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (1991) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (2000). Atualmente é professor Associado III do Departamento de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, em diversos projetos financiados pelas companhias distribuidoras de energia elétrica do Rio de Janeiro, Pernambuco, Pará e Santa Catarina. Tem experiência no desenvolvimento de sistemas eletrônicos embarcados, em sensores a fibras ópticas e instrumentação.

**Sydney Bragantine Germano** – Nascido no Rio de Janeiro, em 01 de março de 1952. É Mestrando em Engenharia de Telecomunicações na UFF, com ênfase em Sensoriamento a Fibra Óptica; \* Atua como pesquisador auxiliar em vários projetos de P&D no LaCOP - Laboratório de Comunicações Ópticas, da UFF e no LIF - Laboratório de Instrumentação e Fotônica, da UFRJ, desde 1999 até a presente data; \* É graduado em Engenharia Eletricista-Eletrônica - Faculdades Reunidas Nuno Lisboa (1986) e em Engenharia Operacional Eletrônica pela Universidade Santa Úrsula (1977); possui larga experiência industrial na área de Projetos Eletrônicos e de Engenharia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: Óptica aberta, Fibra óptica, Automação Industrial, Alta-tensão, Sensores e Sistemas elétricos prediais.