

# Classificação Estatística de Sinais de Descargas Parciais

E.C.T. Macedo, J.M Villanueva, E. G. Costa, R. C. S. Freire, D. B. Araújo, J. M. R. de Souza Neto and I. A. Glover

A análise de sinais de Descargas Parciais (DP) é uma ferramenta importante para avaliar o nível de degradação dos isolamentos de equipamentos de alta-tensão. Durante muitos anos, a avaliação dos padrões obtidos a partir de sinais de DP era feita de forma visual, por meio da representação gráfica dos sinais de corrente e tensão utilizando osciloscópios. A interpretação dos sinais de DP (geralmente representados em formas de elipses) é fortemente dependente da experiência de especialistas, o que limita razoavelmente o diagnóstico de equipamentos de alta tensão em operação. O emprego de computadores e técnicas de inteligência artificial na avaliação de sinais de DP permitiram o reconhecimento automático de padrões obtidos a partir das medições de DP realizadas em campo. Este trabalho relata o emprego de operadores estatísticos na classificação de sinais de DP de isolamentos elétricos de equipamentos de alta-tensão.

**Palavras Chave** — Descargas Parciais, Identificação de Padrões, Monitoramento em Tempo Real, Operadores Estatísticos.

## I. INTRODUÇÃO

A falha do isolamento elétrico de equipamentos de alta tensão (AT) pode ocasionar consequências desastrosas tanto economicamente, quanto em relação à segurança de pessoas ou das instalações que estejam nas proximidades dos equipamentos defeituosos. Dessa maneira, é imperativo que o estado evolutivo da degradação do isolamento seja previsto e

quantificado de forma antecipada, para possibilitar o reparo ou a substituição do equipamento defeituoso em tempo hábil.

A medição e análise de sinais de Descargas Parciais há muitos anos vêm sendo utilizadas tanto em campo quanto em laboratório na avaliação do nível de degradação do isolamento de equipamentos de alta tensão [1]. As DP são descargas elétricas localizadas na superfície ou no interior de um material isolante, que curto-circuitam parcialmente a isolação entre os condutores. Os sinais de DP geralmente são de baixa amplitude e curta-duração, tipicamente não mais que algumas centenas de nano-segundos. A sua forma de onda depende de vários fatores, dentre os quais, do tipo de defeito e das características do isolamento [2].

Geralmente, a maior dificuldade em realizar corretamente a medição e interpretação de DP é a presença de ruídos eletromagnéticos existentes no ambiente da medição. Cada vez mais se faz necessário a utilização de técnicas sofisticadas de processamento de sinais, as quais permitem uma discriminação eficiente dos sinais de DP e conseqüentemente a avaliação correta dos defeitos do isolamento [3].

Existem diversas técnicas de tratamento de sinais que podem ser utilizadas para a supressão de ruídos, dentre as principais, podem-se citar os filtros digitais, filtros adaptativos, técnicas baseadas na transformada rápida de Fourier, e mais recentemente, técnicas baseadas na transformada *wavelet* [4, 5].

Uma vez feita à atenuação e/ou supressão das interferências do ambiente de medição, existe a possibilidade de correlacionar o sinal de DP com o tipo de defeito existente nos isolamentos dos equipamentos de potência. Esta correlação (classificação) é feita a partir do conhecimento do desgaste que causa a DP e pelo uso de atributos que são obtidos a partir do sinal original.

Geralmente, a classificação é realizada pela criação de uma “assinatura” correspondente a cada tipo de defeito. A geração da assinatura é feita dentre outras formas utilizando operadores estatísticos. A análise dos operadores estatísticos permite avaliar e descrever as principais características dos sinais de DP, principalmente quando os operadores são analisados de forma conjunta.

Dentre os principais operadores estatísticos utilizados na análise de sinais de DP, podem-se citar: a média, a correlação cruzada, a assimetria da descarga (*Skewness*), o desvio padrão e a curtose (*Kurtosis*). Neste trabalho, são apresentados alguns resultados obtidos a partir da classificação de defeitos de DP utilizando os operadores estatísticos.

---

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e INCT NAMITEC pelo apoio financeiro durante a realização deste trabalho. O apoio destas instituições e deu pelo fornecimento de bolsa de estudo aos pesquisadores e bolsa produtividade em pesquisa.

E. C. T. Macedo faz parte do Centro de Energias Alternativas e Renováveis da Universidade Federal da Paraíba (CEAR/UFPB), (autor correspondente, fone: +55 83 30450215; e-mail: [euler@cear.ufpb.br](mailto:euler@cear.ufpb.br)).

J.M Villanueva é aluno de pós-doutorado no Departamento de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Campina Grande (DEE/UFCG) (email: [jmauricio@ee.ufcg.edu.br](mailto:jmauricio@ee.ufcg.edu.br))

E. G. da Costa é professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande (DEE/UFCG), (e-mail: [edson@ee.ufcg.edu.br](mailto:edson@ee.ufcg.edu.br)).

R. C. S. Freire é professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande (DEE/UFCG), (e-mail: [rcsfreire@ee.ufcg.edu.br](mailto:rcsfreire@ee.ufcg.edu.br)).

D. B. Araújo é estudante de mestrado da Universidade Federal de Campina Grande (DEE/UFCG), (email: [diego.araujo@ee.ufcg.edu.br](mailto:diego.araujo@ee.ufcg.edu.br)).

J. M. R. de Souza é estudante de doutorado da Universidade Federal de Campina Grande (DEE/UFCG), (email: [jose.neto@ee.ufcg.edu.br](mailto:jose.neto@ee.ufcg.edu.br))

Ian A. Glover faz parte do Departamento de Eletrônica e Engenharia Elétrica da Universidade de Strathclyde, Glasgow, Escócia e também é professor visitante da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). (email: [ian.glover@eee.strath.ac.uk](mailto:ian.glover@eee.strath.ac.uk)).

## II. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### A. Arranjo Experimental

Com o objetivo de gerar um banco de dados com sinais de DP com características bem definidas, a serem usados na classificação estatística, foi desenvolvida uma estrutura constituída de eletrodos conectados a um potencial de alta tensão. Os eletrodos podem ser espaçados por uma distância variável e o espaçamento entre eles, pode ser preenchido com gás, óleo ou outro dielétrico, de forma a reproduzir (gerar) as descargas parciais o mais fiel possível às condições reais de isolação.

Com os objetivos de aumentar a proteção durante o ensaio e de poder estudar o comportamento das DP quando os eletrodos estão imersos em óleo ou gás, foi utilizado um invólucro que tornou a célula hermeticamente fechada. O invólucro da célula de ensaio é composto por um tubo de acrílico com diâmetro externo de 45 mm e diâmetro interno de 32 mm. A configuração da célula de ensaio usada para geração de DP é apresentada na Fig. 1. O uso da estrutura permitiu simular e avaliar as características dos principais tipos de defeitos que possam ocorrer em equipamentos de alta tensão.

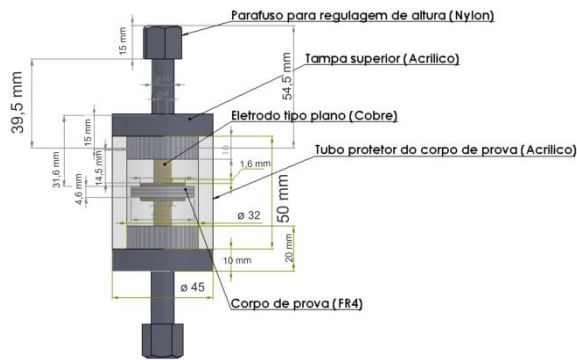


Fig. 1. Configuração da célula de ensaio geradora de DP.

Existem basicamente três configurações de defeitos que podem ser associados a um par de eletrodos:

- Descargas em cavidades, representadas pelo sistema de eletrodos esfera-plano;
- Descargas do tipo corona, representadas pelo sistema de eletrodos ponta-plano;
- Descargas internas, representadas pelo sistema de eletrodos roda-plano com dielétrico (normalmente tipo epóxi).

As configurações dos arranjos dos eletrodos usados na geração das descargas parciais estão apresentadas na Fig. 2.

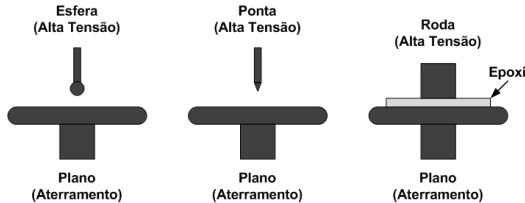


Fig. 2. Configurações de eletrodos usados para simulação de descargas parciais.

Com o objetivo de realizar o estudo das características das descargas parciais internas, utilizando para isso a configuração de eletrodos roda-plano com dielétrico, desenvolveram-se diferentes tipos de corpo de prova, utilizando como dielétrico,

placas circulares de fenolite. A escolha deste tipo de material foi motivada por este ser um isolante com alta rigidez dielétrica (ex. rigidez dielétrica paralela: 50 kV, rigidez dielétrica perpendicular: 26 kV/mm), bem similar aos isolamentos usados nos equipamentos de alta-tensão. O mesmo estudo pode ser realizado com outros tipos de material, dependendo do equipamento de alta-tensão em interesse.

Cada corpo de prova é composto por uma sobreposição de placas de fenolite com espessura de 1,6 mm, as placas foram coladas umas as outras, com uma resina epóxi. A colagem das placas fez com que não houvesse, além de ar, outro componente com características dielétricas desconhecidas dentro do corpo de prova.

Algumas das placas foram perfuradas de modo a inserir uma cavidade no fenolite, o que permite observar o comportamento das falhas na geração de pulsos característicos de DP. As falhas do fenolite foram realizadas com dois diâmetros diferentes: 1 mm e 2 mm, dispostas de modo diferenciado em cada corpo de prova. Cada defeito foi rotulado com um número, para melhor gerenciamento. Todas as falhas desenvolvidas foram submetidas, inicialmente, ao mesmo nível de tensão, 10 kV, na frequência industrial de 60 Hz, durante um período de 10 segundos (600 ciclos), de modo que se pudesse observar a presença ou não de atividade característica de DP, durante este intervalo de tempo, e realizar a classificação estatística.

Na Tabela I, são ilustradas graficamente as configurações dos corpos de prova desenvolvidos. São fornecidas informações acerca do diâmetro da cavidade e da configuração do defeito, ou seja, a quantidade e posição geométrica das falhas em relação às placas de fenolite. Observa-se na coluna referente à configuração da falha (coluna 3), que as regiões sombreadas correspondem às cavidades criadas, as demais correspondem ao dielétrico de fenolite sem falhas.

A fotografia da configuração (célula) geradora de DP com dielétrico é apresentada na Fig. 3. O espaço em volta da placa de fenolite foi preenchido com óleo para redução do efeito corona.



Fig. 3 – Estrutura usada para geração de DP preenchida com óleo.

TABELA I  
CONFIGURAÇÕES DE DEFEITOS PARA GERAÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS

Defeito	Diâmetro da cavidade (mm)	Configuração da falha
1	2	
2	1	
3	2	
4	1	
5	2	
6	1	
7	2	
8	1	
9	2	
10	1	

### B. Aquisição de sinais de descargas parciais

Um sistema comercial foi utilizado para aquisição de sinais de DP, baseado na norma IEC 60270. Além da aquisição, o sistema permite realizar a quantificação dos sinais de DP obtidos a partir da célula de ensaio quando a mesma é submetida à alta tensão. O arranjo de medição de DP é representado na Fig. 4.

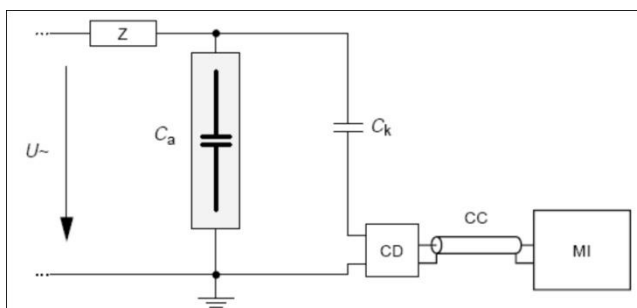


Fig. 4 – Arranjo de medição de DP utilizando o sistema comercial LDIC.

Os elementos básicos do circuito da Fig. 4 são: uma fonte de alta tensão alternada  $U\sim$ ; um capacitor de acoplamento  $C_k$ , isento de descargas parciais na tensão de ensaio e que facilitará a circulação dos impulsos de corrente de alta frequência, aumentando dessa maneira a sensibilidade da medição; o objeto em teste  $C_a$ , que neste caso é a estrutura desenvolvida (Fig. 3); um impedor de medição  $CD$ , na qual os impulsos de corrente gerarão um queda de tensão proporcional ao pulso de DP, e que pode ser conectado a um instrumento de

medição  $MI$  por meio de um cabo coaxial  $CC$  [2].

A medição dos sinais de DP foi feita utilizando o arranjo apresentado de forma esquemática na Fig. 4 e em fotografia na Fig. 5.

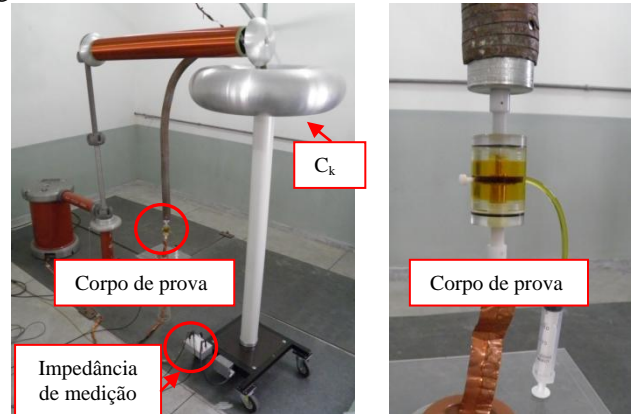


Fig. 5 – Arranjo do LDIC utilizado na medição de DP.

Após a aquisição dos sinais de DP, foi realizada a extração de atributos estatísticos com o objetivo de caracterizar matematicamente cada tipo de defeito.

### C. Extração de atributos dos sinais de DP

De acordo com [6,7], verifica-se que os sinais de DP podem ser descritos e classificados por grandezas características, dentre as quais, podem-se destacar:

- Grandezas básicas: são as grandezas relacionadas às DP observadas durante um ciclo da tensão aplicada;
- Grandezas deduzidas: são as grandezas obtidas a partir das grandezas básicas, e são calculadas após a análise dos pulsos de DP durante diversos ciclos da tensão aplicada ao equipamento;
- Operadores estatísticos: são os operadores obtidos a partir da análise estatística das grandezas deduzidas.

Cada grandeza possibilita apenas uma informação parcial acerca da DP, e por isso deve ser analisada de forma conjunta.

Em resumo, de acordo com [8], pode-se definir as grandezas básicas como sendo: a magnitude da descarga ( $q_i$ ), a tensão de início da ocorrência da DP ( $V_{inc}$ ) e a posição do pulso DP em relação à fase da tensão aplicada ( $\phi_i$ ).

As grandezas deduzidas podem ser enumeradas como sendo: a soma das magnitudes das DP, o número de ocorrências de DP, o valor médio das DP e o valor máximo dos pulsos de DP.

Após a determinação das grandezas básicas e deduzidas, efetua-se o cálculo dos operadores estatísticos, para isso, são avaliadas e calculadas funções de distribuições de probabilidade levando em consideração a ocorrência dos pulsos de DP em relação à fase da tensão aplicada.

As distribuições de probabilidade em interesse são:

- A contagem dos pulsos ( $H_n(\psi)$ ), que representa o número de pulsos observados em cada janela de fase.
- A magnitude média dos pulsos ( $H_{qn}(\psi)$ ), essa grandeza caracteriza a amplitude média dos pulsos para cada janela de fase.

A seguir, apresenta-se uma descrição sucinta sobre os operadores estatísticos usados na classificação de DP

(informações adicionais sobre os operadores estatísticos podem ser obtidas em [6]):

- Valores de pico (**Max**): corresponde ao valor máximo obtido na distribuição para os dois semi-ciclos;
- Média (**Mean**): é a média aritmética dos pulsos de DP para cada semi-ciclo, a média foi calculada a partir de (1):

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i f(x_i)}{\sum_{i=1}^N f(x_i)}. \quad (1)$$

- Desvio padrão (**Std**): foram calculadas o desvio padrão para cada semi-ciclo das distribuições;
- Assimetria (**Skewness - Sk**): é um indicador para a assimetria de uma distribuição com relação à distribuição normal da DP (Sk = 0 representa uma distribuição simétrica, Sk positiva representa uma assimetria para a esquerda e Sk negativa representa uma assimetria para a direita);
- Achatamento (**Kurtosis - Ku**): é uma medida de dispersão que caracteriza o pico ou “achatamento” da curva da função de distribuição de probabilidade, Ku = 0, representa uma distribuição normal, Ku positiva representa uma distribuição mais “afunilada” e Ku negativa representa uma distribuição mais plana.

Cada distribuição apresentada foi calculada para cada semi-ciclo da tensão aplicada, pois verificam-se que dependendo do tipo e localização da falha, as distribuições estatísticas apresentam resultados diferentes para cada semi-ciclo, e por isso devem ser analisadas separadamente.

## RESULTADOS

### A. Aquisição de sinais de DP

A aquisição de vários sinais de DP foi realizada utilizando-se um equipamento disponibilizado comercialmente pela Doble Lemke®. Apenas para efeito de exemplificação, em uma das medições utilizando o defeito 1 (Tabela 1), foram obtidos sinais de DP com características bem definidas de aproximadamente 640 pC. O resultado da medição pode ser visualizado na Fig. 6. A forma de onda senoidal que aparece na figura é uma amostra da tensão aplicada ao corpo de prova e serve como referência de fase em relação à ocorrência do pulso de DP.

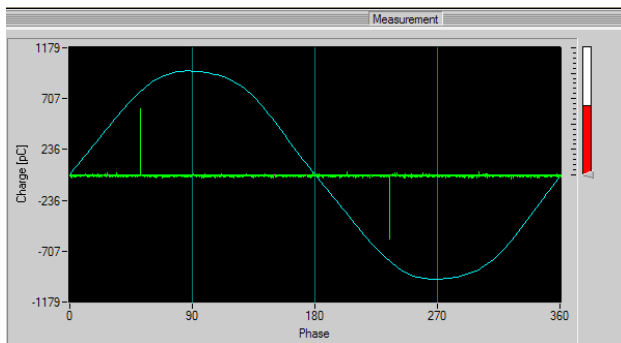


Fig. 6 – Resultado obtido utilizando o sistema comercial.

### B. Classificação Estatística dos padrões de DP

Após a aquisição e armazenamento de sinais de DP durante um intervalo de 10 segundos, foram calculadas as distribuições  $H_n(\psi)$  e  $H_{qn}(\psi)$  dos pulsos de DP.

Com o objetivo de avaliar a ocorrência de variações na distribuição com o passar do tempo, foram calculadas as distribuições para intervalos inferiores de tempo, para isso, a partir do banco de dados obtido durante os 10 segundos, gerou-se três bancos de dados distintos, um intervalo de tempo correspondente a 100, outro com 200 e por fim 500 ciclos da tensão aplicada.

Na Fig. 7 apresenta-se a distribuição de valores de pico dos pulsos obtidos na medição do defeito 1 durante o período de tempo referentes a 100 ciclos da tensão aplicada.

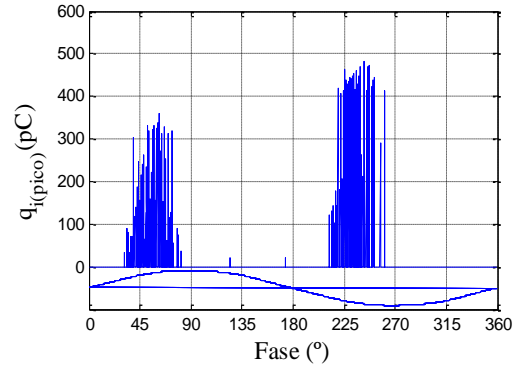


Fig. 7 - Valores de pico das DP adquiridas durante 100 ciclos para o defeito 1.

A título de exemplificação, nas Figs. 8 e 9 são apresentadas as distribuições de contagem de pulsos  $H_n(\psi)$  e da magnitude média das descargas  $H_{qn}(\psi)$  calculadas também para o defeito 1, usando o período de tempo equivalente a 100 ciclos da tensão aplicada.

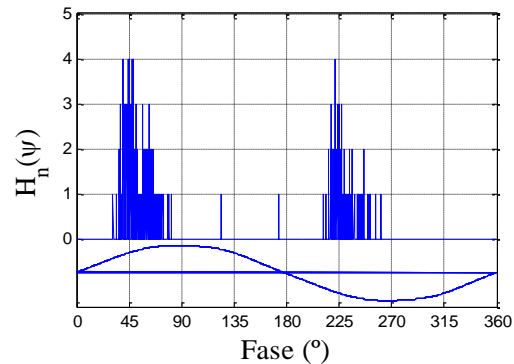


Fig. 8 – Distribuição do número de pulsos de DP para o defeito 1 durante 100 ciclos da tensão aplicada.

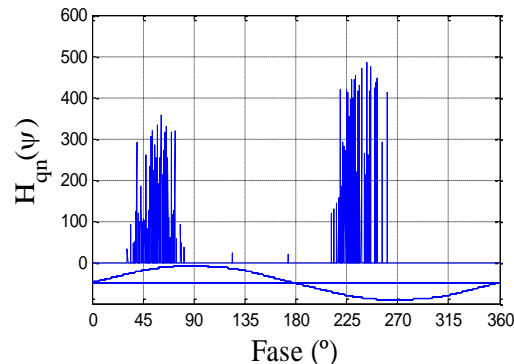


Fig.9- Distribuição da magnitude média dos pulsos de DP para o defeito 1 durante 100 ciclos da tensão aplicada.

O processo de obtenção das distribuições também foi repetido para o intervalo de tempo de aquisição de 200 e de 500 ciclos.

Foi realizado o estudo de todos os defeitos apresentados na Tabela 1. Os resultados obtidos para os bancos de dados de 100 e 500 ciclos são apresentados na Tabela II.

Dentre as configurações de defeitos apresentados na Tabela I, o corpo de prova correspondente ao defeito 8 apresentou os menores valores de DP, quando submetido a uma tensão de 10 kV.

TABELA II

OPERADORES ESTATÍSTICOS CALCULADOS APÓS MEDIÇÕES EM LABORATÓRIO

Defeito 1 (100 ciclos)			Defeito 1 (500 ciclos)		
Semi-ciclo	Positivo	Negativo	Semi-ciclo	Positivo	Negativo
Max	330,65	530,16	Max	362,06	530,16
Mean	7,79	13,11	Mean	8,46	15,3
Std	34,97	65,13	Std	36,35	71,29
Sk	5,14	5,36	Sk	4,9	4,97
Ku	31,39	32	Ku	28,77	27,5
Defeito 2 (100 ciclos)			Defeito 2 (500 ciclos)		
Max	681,87	719,88	Max	704,90	719,88
Mean	21,37	20,25	Mean	43,51	39,80
Std	83,37	85,25	Std	129,78	130,32
Sk	5,96	6,74	Sk	3,58	4,17
Ku	38,24	48,14	Ku	14,46	19,08
Defeito 3 (100 ciclos)			Defeito 3 (500 ciclos)		
Max	357,38	509,63	Max	463,13	529,69
Mean	13,32	16,04	Mean	30,14	43,93
Std	60,63	75,70	Std	95,19	129,48
Sk	4,54	4,83	Sk	2,95	2,69
Ku	22,16	25,18	Ku	9,97	8,45
Defeito 4 (100 ciclos)			Defeito 4 (500 ciclos)		
Max	607,10	580,13	Max	617,53	599,27
Mean	25,34	22,76	Mean	71,23	63,01
Std	90,73	86,39	Std	168,44	154,81
Sk	4,38	4,40	Sk	2,26	2,41
Ku	22,08	22,02	Ku	6,33	7,19
Defeito 5 (100 ciclos)			Defeito 5 (500 ciclos)		
Max	248,76	243,22	Max	256,15	262,92
Mean	16,46	21,05	Mean	17,49	25,06
Std	49,77	57,08	Std	51,53	62,91
Sk	2,8	2,56	Sk	2,69	2,34
Ku	9,38	7,97	Ku	8,75	6,89
Defeito 6 (100 ciclos)			Defeito 6 (500 ciclos)		
Max	336,35	24,21	Max	336,35	24,21
Mean	1,09	0,07	Mean	1,09	0,07
Std	17,82	1,23	Std	17,82	1,23
Sk	15,89	17,51	Sk	15,89	17,51
Ku	260,38	308,63	Ku	260,38	308,63
Defeito 7 (100 ciclos)			Defeito 7 (500 ciclos)		
Max	476,69	620,43	Max	476,69	662,2
Mean	0,27	13,69	Mean	0,2895	14,76
Std	26,34	32,96	Std	29,71	34,97
Sk	8,04	7,93	Sk	8,72	8,41
Ku	108,36	117,22	Ku	113,15	121,85
Defeito 8 (100 ciclos)			Defeito 8 (500 ciclos)		
Max	28,10	28,10	Max	28,10	28,10
Mean	0,00	0,00	Mean	0,00	0,00
Std	0,80	0,80	Std	0,80	0,80
Sk	0,04	36,50	Sk	36,50	36,50
Ku	1,33	1331,30	Ku	1,33	1331,30
Defeito 9 (100 ciclos)			Defeito 9 (500 ciclos)		
Max	39,71	31,43	Max	39,71	31,43
Mean	0,18	0,06	Mean	0,22	0,06
Std	2,09	1,22	Std	2,31	1,23
Sk	11,95	20,63	Sk	10,71	19,51
Ku	150,16	437,94	Ku	120,49	389,99
Defeito 10 (100 ciclos)			Defeito 10 (500 ciclos)		
Max	629,29	629,91	Max	784,53	656,67
Mean	7,60	12,19	Mean	17,32	27,79
Std	29,47	62,29	Std	62,60	105,40
Sk	12,83	8,80	Sk	6,87	5,06
Ku	196,33	80,69	Ku	54,14	27,14

Cada tipo de defeito foi avaliado para três diferentes períodos de tempo. A partir do banco de dado criado com a aquisição de DP durante 10 segundos, geraram-se bancos de dados distintos, considerando apenas partes desse banco de dados inicial. Foram gerados arquivos com a informação da ocorrência das DP para intervalos de tempo correspondente a 100, 200 e 500 períodos da tensão aplicada.

Foi possível verificar que cada tipo de defeito, possui características estatísticas bem definidas, o que é útil para identificar cada tipo de defeito em estudo. Alguns dos principais resultados obtidos a partir do cálculo dos operadores estatísticos, calculados para os ciclos positivos da tensão aplicada são apresentados de forma visual nas Figs. 10-14. O mesmo procedimento foi realizado para o ciclo negativo da tensão aplicada, porém não serão abordados neste trabalho.

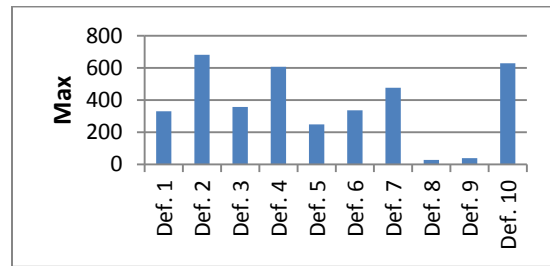


Fig. 10 – Histograma dos valores de pico das DP.

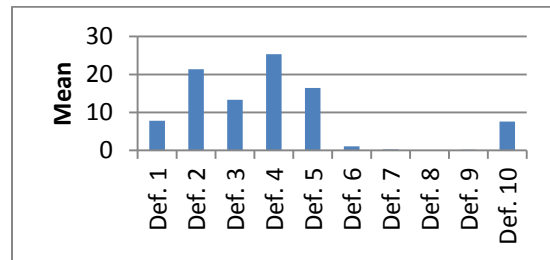


Fig. 11 – Histograma dos valores médios das DP.

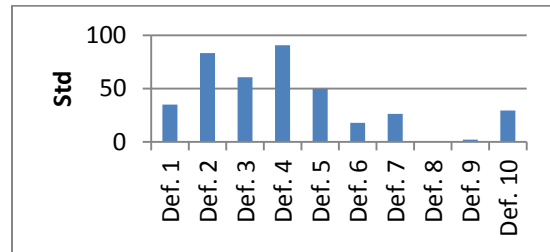


Fig. 12 – Histograma dos desvios padrão das DP.

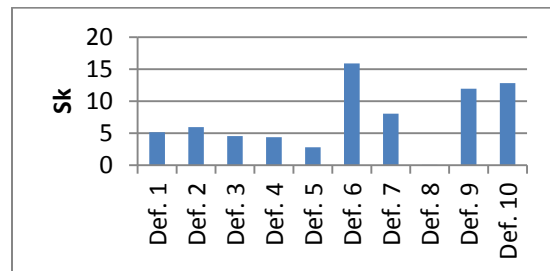


Fig. 13 – Histograma das assimetrias das DP.

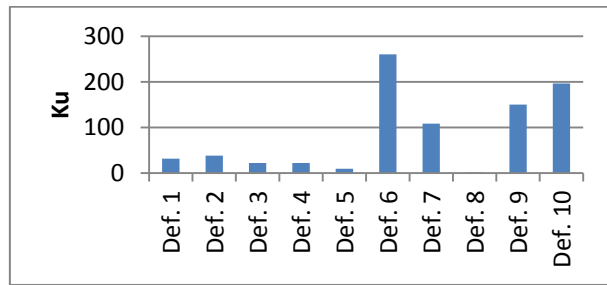


Fig. 14 – Histograma das curtoses calculadas.

Com o aumento de medições e o uso de diferentes tipos de defeitos, é possível desenvolver sistemas automáticos de identificação de defeitos baseados em inteligência artificial, por exemplo, redes neurais ou lógica *fuzzy*. Os sistemas automáticos seriam capazes de avaliar os operadores de forma isolada ou conjunta, aumentando a probabilidade de identificação de cada tipo de defeito.

### III. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados resultados obtidos a partir da classificação de defeitos de DP, que podem ocorrer em isolamentos de equipamentos de alta tensão, utilizando os operadores estatísticos.

Para a geração de DP, desenvolveu-se uma estrutura baseada em célula hermética, o que possibilitou a geração de sinais de DP bem definidos. Após a geração de DP, utilizou-se um sistema comercial para a aquisição de sinais de DP. Após a aquisição dos sinais de DP, foi realizada a classificação de padrões de DP para alguns dos principais tipos de defeitos que podem ocorrer em isolamentos elétricos. Para realizar a classificação de padrões, foram utilizados operadores estatísticos, como por exemplo, os valores máximos, a média, o desvio padrão, a assimetria e a curtose.

Verificou-se que cada tipo de defeito possui características estatísticas bem definidas (assinaturas) e que podem ser utilizadas para identificar o tipo de defeito existente no equipamento de alta tensão.

Após a análise dos resultados obtidos, verifica-se a possibilidade de automatizar a identificação de defeitos a partir dos operadores estatísticos, por meio de técnicas de inteligência artificial, como por exemplo, redes neurais ou lógica *fuzzy*. A principal limitação desse tipo de sistema automático se dá pela necessidade de um banco de dados considerável para treinamento do sistema automático de identificação de padrões, o que na prática, nem sempre é disponível.

### IV. REFERÊNCIAS

- [1] Nattrass, D. A. “*Partial Discharge Measurement and Interpretation*”, IEEE Electrical, 1988.
- [2] IEC 60270 High-voltage test techniques, “*Partial Discharge Measurements*”, Rel. Téc., Geneve, Switzerland, 2000.
- [3] Shim, I. e Soraghan, J. “Digital signal processing applied to the detection of partial discharge: An overview”, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, pp. 6 – 12, 2000.
- [4] Sriram, S.; Nitin, S.; Prabhu, K. M. M. e Bastiaans, M. J., “Signal denoising techniques for partial discharge measurements”, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, pp.1182- 1191, 2005.

- [5] E.C.T. Macedo, D. B. Araújo, E. G. Costa, R. C. S. Freire, Waslon T. A. Lopes, J. M. R. de Souza Neto and I. A. Glover, “Wavelet Transform Processing Applied to Partial Discharge Evaluation”, *25th International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management*”, junho de 2012, artigo aceito a ser publicado.
- [6] Gulski, E. and Kreuger, F. H. “Computer-aided recognition of Discharge Sources”. *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, Vol. 27 No. 1, February 1992.
- [7] N. C. Sahoo, M. M. A. Salama and R. Bartnikas, “Trends in Partial Discharge Pattern Classification: A Survey”, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 12, No. 2, pp.248-264, 2005.
- [8] Jian Li, S. Grzybowski, Lijun Yang and Ruijin Liao. “Statistical Parameters of Partial Discharge Used to Recognize Aged Oil-Paper Insulation”, *Power Modulator Symposium*, 2006.

### V. BIOGRAFIAS

**Euler C.T. Macedo** nasceu em Campina Grande, Paraíba, Brasil, em 1983. Concluiu os cursos de graduação, mestrado em 2009 e 2010 respectivamente, ambos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), atualmente é aluno de doutorado da UFCG, e professor assistente da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), lotado no Centro de Energias Alternativas e Renováveis (CEAR). Suas áreas de interesse são: alta tensão, descargas parciais, processamento digital de sinais, instrumentação eletrônica e redes de sensores sem fio.

**Juan M. Villanueva** nasceu em Lima, Perú, em 1977. Concluiu os cursos de graduação, mestrado e doutorado em 2002, 2005 e 2009 pela Universidade Nacional de Engenharia - Perú, Universidade Federal do Maranhão e Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, respectivamente. Atualmente atua como pesquisador através de um projeto de Pós-Doutorado na UFCG. Suas áreas de interesse são instrumentação eletrônica, sensores e sistemas embarcados.

**Edson Guedes da Costa** Concluiu os cursos de graduação, mestrado e doutorado em 1978, 1981 e 1999 respectivamente, todos da Universidade Federal da Paraíba. Suas áreas de interesse são: alta tensão, campos elétricos, descargas parciais, para-raios e isoladores. Atualmente é Prof. Associado III, lotado Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG, Brasil. É membro do IEEE, do Cigré, da Abenge e da SBA.

**Raimundo C. S. Freire** nasceu em Poço de Pedras, RN, Brasil, em 1955. Concluiu os cursos de graduação, mestrado e doutorado em engenharia elétrica em 1979, 1982 e 1988, respectivamente. Atualmente é Professor Associado II, lotado na Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da UFCG, onde atua nos cursos de graduação e de pós-graduação em engenharia elétrica. Suas áreas de interesse são instrumentação eletrônica, sensores e microeletrônica

**Diego Buriti Araújo** nasceu em Campina Grande, Paraíba, Brasil, em 1986. Obteve o título de bacharel em Engenharia Elétrica no ano de 2010 pela UFCG e atualmente é aluno de mestrado na mesma instituição. Seus interesses incluem equipamentos elétricos, descargas parciais, sistemas de isolamento, processamento digital de sinais e aquisição de dados.

**José Maurício Ramos de Souza Neto** nasceu em Campina Grande - PB, Brasil, em 1984. Ele concluiu os cursos de graduação, mestrado em 2008 e 2010 respectivamente, ambos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), atualmente é estudante de doutorado na mesma universidade. Seus interesses incluem instrumentação eletrônica, sensores, atuadores e aplicações de rede de sensores sem fio.

**Ian Glover** é Diretor da Escola de Pós-Graduação e *Reader* em Radio Science & Wireless Communications no Departamento de Engenharia Eletrônica e Elétrica da Universidade de Strathclyde, Escócia. Autor (com Peter Grant) de “Digital Communications”, publicado pela Pearson e agora em sua terceira edição. Ele é professor visitante em Radio Science da Universidade Federal de Campina Grande.