

Parametrização de HFCT para Medição de Descargas Parciais em Para-Raios de ZnO

Luiz A. M. M. Nobrega*, Margareth M. G. de Lima**, Patrese V. Quelemes*,
George R. S. de Lira[§] e Edson G. da Costa[§]

*Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

**Graduanda no Programa de Graduação em Engenharia Elétrica

[§]Professor no Departamento de Engenharia Elétrica

Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil

Resumo—Neste trabalho é realizada uma parametrização de transformadores de corrente de alta frequência - do inglês *High Frequency Current Transformer* (HFCT) - para medição de descargas parciais (DP) em para-raios de ZnO. Para tanto, foram realizadas medições de DP em para-raios com o arranjo proposto pela IEC 60270 (2000) simultaneamente com dois HFCT para geração de curvas de correlação entre a carga aparente da DP e os níveis de tensão medidos nos transformadores de corrente. A avaliação da medição foi feita verificando padrões representados em função da tensão aplicada, método conhecido por PRPD (*Phase Resolved Partial Discharge*). A aquisição dos dados foi realizada com um osciloscópio digital de quatro canais e o processamento dos dados com o Matlab. Para a filtragem dos sinais medidos, utilizou-se a Transformada Wavelet e métodos automáticos para seleção da base wavelet. A partir dos dados fornecidos neste artigo, as medições em milivolts nas saídas dos HFCT podem ser correlacionadas com valores definidos em norma para correto diagnóstico do estado do isolamento do equipamento.

Palavras-chaves: descargas parciais, HFCT, diagnóstico, monitoramento, para-raios de óxido de zinco.

I. INTRODUÇÃO

Os para-raios de ZnO são dispositivos essenciais na proteção de equipamentos dos sistemas elétricos de potência (SEP), principalmente contra sobretensões atmosféricas e de manobra. A função do para-raios é limitar as sobretensões citadas a níveis que possam ser suportados pelos isolamentos elétricos dos equipamentos que ele está a proteger. Os para-raios de ZnO são constituídos basicamente por um conjunto de pastilhas a base de óxido de zinco (varistores), também denominados de resistências não-lineares. As principais características do para-raios de ZnO são a não-linearidade em relação à curva tensão-corrente (V-I), uma alta capacidade de absorção de energia e uma forte dependência com a temperatura.

Eventuais falhas nos para-raios podem conduzir a desligamentos não programados, danos a outros equipamentos de uma subestação e risco de morte a profissionais que estejam trabalhando na subestação no momento da ocorrência da falha. Por estas razões, torna-se importante o monitoramento do para-raios em campo, prevenindo possíveis falhas ou necessidade de substituição.

Dentre as técnicas mais usadas de monitoramento de para-raios, pode-se citar: desconectores, contadores de descargas, medição de temperatura, medição de corrente de fuga e

medição de descargas parciais [1]. Destas, a medição de descargas parciais (DP) é considerada uma solução consolidada para o diagnóstico e detecção prévia de possíveis defeitos nos isolamentos que são partes constituintes de equipamentos de alta tensão [2].

As DP são caracterizadas por impulsos de corrente que ocorrem no interior dos equipamentos elétricos de alta tensão e são originadas pelo processo de ionização do meio gasoso submetido a um campo elétrico elevado. A técnica de medição e análise de descargas parciais pode ser utilizada para detectar pontos fracos antes que eles conduzam a falhas catastróficas no equipamento [3]. Portanto, os parâmetros associados à ocorrência das descargas parciais devem ser acompanhados periodicamente durante a vida útil do equipamento.

As normas internacionais específicas sobre descargas parciais, tais como a IEC 60270 [4], permitem o estabelecimento de procedimentos experimentais bem definidos, com explicações do procedimento de medição dos parâmetros das descargas parciais em equipamentos de alta tensão. Por outro lado, a aplicação do método padrão da IEC 60270 necessita da utilização de capacitores de acoplamento ligados em paralelo com o equipamento a ser medido, o que torna inviável a utilização do método em campo, devido aos altos níveis de tensão do SEP e de limitações físicas (tais como peso, tamanho, espaço disponível e dificuldades de instalação). Logo, uma alternativa para medição de DP em para-raios em operação e de modo não invasivo é a utilização de transformadores de corrente de alta frequência - do inglês *High frequency Current Transformer* (HFCT). No entanto, os HFCT retornam na saída de seus terminais valores volts (da ordem de mV) e não em carga aparente (da ordem de pC), conforme definido pela IEC 60270 [4].

A medição on-line de descargas parciais em para-raio com o objetivo de se avaliar o seu estado de degradação vem sendo empregada por alguns pesquisadores [5]–[8], utilizando diferentes métodos. Desses, alguns utilizam HFCT [7], [8]. No entanto, esses métodos não estão plenamente desenvolvidos devido, principalmente, as dificuldades de se realizar medições de descargas parciais em campo, pois são sinais de baixa intensidade e de alta frequência, facilmente sobrepostos pelo ruído ambiente. Em geral, os autores apresentaram somente alguns resultados preliminares indicando a possibilidade de identificar defeitos em para-raios, em campo. Portanto, ainda é necessário pesquisas que visem parametrizar a saída de tensão de HFCT para que seja possível a partir dela avaliar o estado

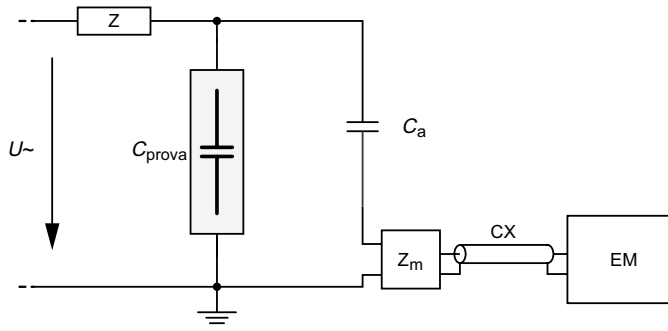


Fig. 1. Arranjo de medição apresentado na [4].

do isolamento de para-raios com base em parâmetros definidos por norma. Nesta trabalho é realizada a parametrização de dois HFCT para medição de DP em para-raios de ZnO.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Medição de Descargas Parciais

Um pulso de descarga parcial propaga ondas eletromagnéticas, luz, som e temperatura. Além disso, em alguns materiais, provoca também reações químicas. Portanto, a identificação da descarga parcial pode ser realizada através de métodos elétricos, sensores de fibras ópticas, sensores de ultrassom, sensores térmicos ou através da análise do gás dissolvido.

Nos para-raios de ZnO a medição elétrica pode ser realizada utilizando sensores de descargas parciais que detectem as componentes dos sinais dos pulsos que se deslocam através da coluna de varistores. Dentre os sensores de detecção elétrica de DP, este trabalho utiliza o método baseado na IEC 60270 [4] e outro que utiliza transformadores de corrente de alta frequência (HFCT). A seguir são apresentados os métodos de medição de DP utilizados.

B. Método Elétrico Convencional Baseado na IEC 60270

O método convencional para medição de DP definido pela IEC 60270 [4] utiliza um capacitor de acoplamento e uma impedância externa de medição. Um indutor para bloqueio de interferências oriundas da fonte de tensão também pode ser empregado. Diversas configurações podem ser utilizadas para a medição de DP conforme o método convencional. Dentre estas, o arranjo mais frequentemente utilizado é apresentado na Fig. 1.

O arranjo é composto de uma fonte de tensão alternada U ; uma impedância Z para filtragem de ruídos oriundos da fonte de tensão; o objeto de teste, representado por uma capacitância C_p ; um capacitor de acoplamento C_a ; uma impedância Z_m para a medição do sinal de DP; um cabo coaxial CX ; e um equipamento de medição EM , que pode ser um osciloscópio com alta taxa de aquisição.

A impedância externa Z_m normalmente é um circuito ressonante, cuja função é prolongar os impulsos de corrente de descarga no domínio do tempo, de modo que eles sejam mais fáceis de serem detectados [9]. A medição com o circuito apresentado normalmente é quantificada em carga aparente (q), com valores da ordem de picocoulombs (pC).

No arranjo apresentado na Fig. 1, a relação entre a carga medida (q_m) e a carga real (q) no equipamento depende da relação entre C_a e C_p e é dada por:

$$\frac{q_m}{q} = \frac{C_a}{C_p + C_a}. \quad (1)$$

Como a medição realizada sobre a impedância Z_m é em volts, precisa-se que previamente seja realizada a calibração do sistema para determinação da relação entre a tensão medida e a carga aparente efetivamente gerada pelo pulso de DP. Para tanto, a IEC 60270 [4] estabelece que um pulso de carga conhecida (q_c) deve ser aplicado paralelamente ao objeto de teste e então comparada a tensão medida em milivolts (mV) e a carga aplicada em picocoulombs (pC). O processo consiste em determinar a relação entre o valor de pico da tensão adquirida pelo sistema de medição e a carga transferida pelo calibrador. Assume-se, por conseguinte, uma relação linear entre a tensão medida e a carga para efeito de medições futuras. A calibração do sistema deve ser feita todas as vezes que se altere o equipamento cujos níveis de DP serão medidos, pois cada equipamento elétrico possui uma capacitância característica. Ou seja, a cada ensaio, a capacitância total do arranjo de medição é alterada, o que resulta em modificações na sensibilidade do sistema de medição [4].

A partir da explicação prévia que foi realizada, algumas vantagens podem ser observadas:

- 1) Um pulso pode ser injetado no circuito ressonante de modo a calibrar o sistema;
- 2) Uma sensibilidade ótima pode ser obtida maximizando a razão entre a capacitância de acoplamento e a capacitância do objeto de teste.

Por outro lado, algumas desvantagens são observadas neste tipo de arranjo, a saber:

- 1) O método é de difícil aplicação em equipamentos de alta tensão em serviço, pois necessita de um capacitor de acoplamento ligado em paralelo com o objeto de teste;
- 2) A calibração do sistema de medição é de difícil realização em campo;
- 3) A capacitância de acoplamento deve ser tanto maior quanto maior for a capacitância do objeto de teste;
- 4) O arranjo é muito sensível a interferências eletromagnéticas, uma vez que o capacitor de acoplamento funciona como uma antena receptora de interferências.

C. Método Elétrico Utilizando TC de Alta Frequência

Devido às desvantagens apresentadas para o método convencional, uma alternativa viável para medição de DP em campo é a utilização de transformadores de corrente de alta frequência (HFCT). Neste arranjo de medição, o HFCT é conectado, de forma não invasiva, ao cabo de conexão ao terra do equipamento sob teste, C_p , conforme Fig. 2. Neste caso, o nível de segurança da equipe responsável pela medição é aumentado, pois caso haja a falha do equipamento sob teste, o sensor de corrente irá saturar e o mesmo não submeterá alta tensão nos equipamentos de medição.

III. METODOLOGIA

Na Fig. 3 é apresentada uma visão geral, em forma de fluxograma, da metodologia utilizada para a parametrização dos HFCT. Inicialmente é utilizado um para-raios de ZnO com defeito a fim de realizar a medição de DP no equipamento. Em seguida a medição é realizada e os sinais obtidos são filtrados utilizando a transformada wavelet. Por fim a carga aparente em picocoulomb (pC) é estimada e é realizada a parametrização dos HFCT.

Neste trabalho, para realizar a medição das descargas parciais, foi utilizado o método elétrico convencional e dois HFCT. A seguir são apresentados alguns detalhes sobre o sistema de medição empregado.

A. Arranjo Experimental

Para a medição de DP foi montado um arranjo experimental em que a medição é realizada simultaneamente para o arranjo convencional e os dois HFCT. Na Fig. 4 é apresentado o arranjo experimental utilizado, em que se pode observar o arranjo do método convencional e a conexão dos dois HFCT na saída do cabo de aterramento do para-raios. O para-raios utilizado é de fabricação Hitachi, tensão nominal de 72 kV, MCOV de 42 kV e foi retirado de operação por suspeita de falhas internas. Na Fig. 5 é apresentada uma fotografia do arranjo montado.

A medição foi realizada com o para-raios submetido a uma tensão senoidal, a fim de fazer um avaliação em relação à fase da tensão, método esse conhecido por PRPD - do inglês *Phase Resolved Partial Discharge*. Para a aplicação do método PRPD, as medições foram realizadas para 60 ciclos de tensão, sendo cada medição espaçada de aproximadamente 500 ms.

O instrumento de medição utilizado foi o osciloscópio MDO4104B-3 da Tektronix, que possui quatro (04) canais analógicos com largura de banda de 1 GHz. A medição foi realizada com 5 MSa de memória por canal, taxa de amostragem de 250 MSa/s e representação numérica de 16 bits por ponto. A impedância de entrada do osciloscópio utilizada foi de 1 M Ω . Para a ligação da saída do sistema ao equipamento de medição, foi utilizado três cabos coaxiais de 5 m cada e 50 Ω de impedância característica.

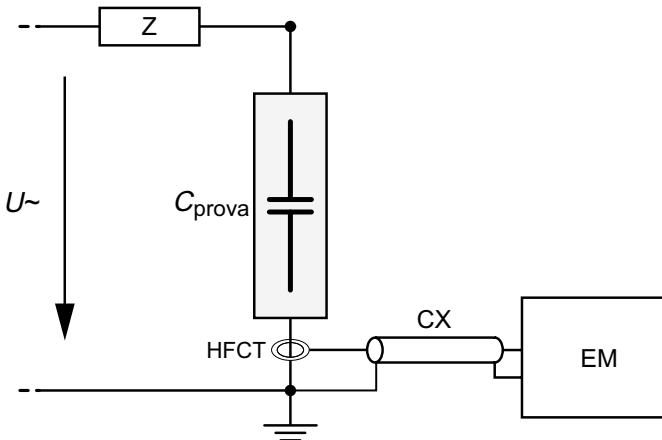


Fig. 2. Arranjo de medição utilizando HFCT.

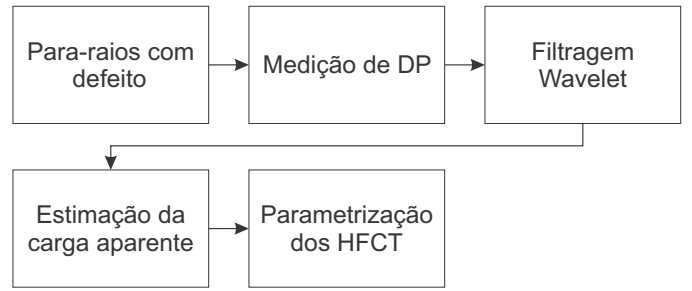


Fig. 3. Fluxograma geral da metodologia proposta.

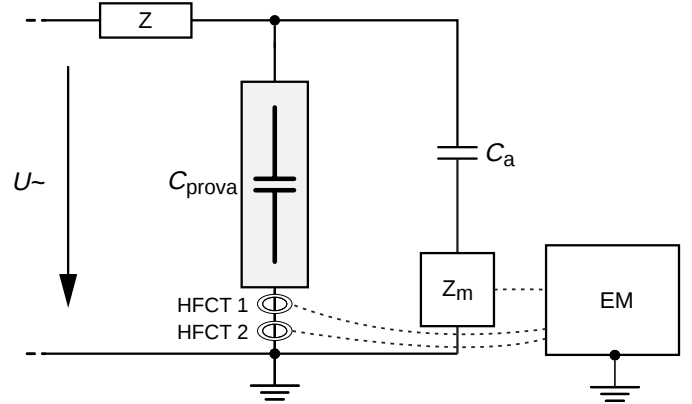


Fig. 4. Arranjo de medição utilizado.

Para realização da medição utilizando o método clássico, foi utilizado um capacitor padrão de 1000 pF; um indutor de 15 mH; e uma impedância de medição LDM-5, produzida pela Doble Lemke, que possui largura de banda de 100 kHz a 20 MHz, tempo de subida menor que 20 ns e corrente máxima permitida de 5 A. A impedância de medição é um circuito ressonante, cuja função é prolongar os impulsos de corrente no domínio do tempo a fim de que eles sejam mais fáceis de serem detectados [9].



Fig. 5. Fotografia do arranjo de medição utilizado.

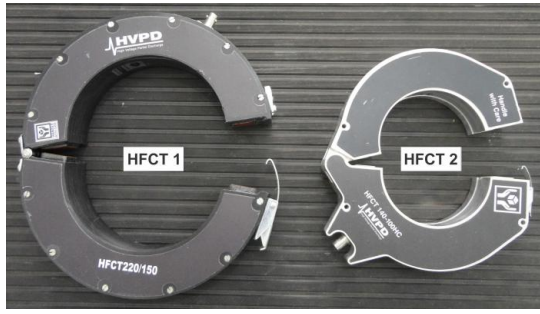


Fig. 6. Fotografia dos HFCT utilizados.

Para a calibração do sistema conforme a IEC 60270 [4], foi utilizado um calibrador LDC-5, também desenvolvido pela Double Lemke, com valores de calibração de 5, 20, 100 e 500 pC; taxa de subida dos pulsos menor que 60 ns; e trem de pulsos com frequência de 650 Hz. O erro no valor da amplitude é menor que ± 1 pC, segundo o manual do equipamento.

Os sensores indutivos de alta frequência (HFCT) utilizados foram fabricados e comercializados pela HVPD (*High Voltage Partial Discharge*). O $HFCT_1$, modelo 220/150, possui resposta em frequência na faixa de 100 kHz a 10 MHz; sensibilidade de 2,8 mV/mA; e tempo de subida superior a 35 ns quando conectado a uma carga de 50 Ω . O $HFCT_2$, modelo 140-100HC, possui resposta em frequência entre 100 kHz a 12 MHz com uma sensibilidade de 3,2 mV/mA. Estes sensores são do tipo alicate, conforme mostrado na Fig. 6, e podem ser utilizados em campo sem a necessidade de interrupção do cabo de aterramento do para-raios.

B. Procedimento de Filtragem dos Sinais de Descargas Parciais

Para que a identificação das DP seja realizada com sucesso e o método PRPD aplicado, é necessário proceder a filtragem da medição. Para tanto, foi utilizada a Transformada Wavelet Discreta (TWD) e o método de Limiarização de Coeficientes Wavelets (LCW) como ferramenta computacional para filtragem digital dos possíveis ruídos prejudiciais às medições. No processo de LCW foi escolhida a wavelet mãe Daubechies 2, quatro níveis de decomposição e a limiarização abrupta como critérios de filtragem.

A determinação dos limiares de ruído foi realizada conforme proposto por [10], onde o cálculo é realizado para cada nível de decomposição da topologia wavelet. O limiar para cada nível é calculado conforme a seguir:

$$\lambda_j = \frac{\sigma_j}{0,6745} \sqrt{2 \log(n_j)} \quad (2)$$

em que n_j é o numero de coeficientes no nível e σ_j é o desvio absoluto da mediana dos coeficientes do nível considerado.

O processo de cálculo na filtragem dos sinais consiste em aplicar a transformada wavelet, eliminar os coeficientes de detalhes abaixo do limiar calculado em (2) e, por fim, recompor o sinal.

C. Identificação dos Pulsos de DP

A identificação dos pulsos de DP foi realizada após a filtragem wavelet e então construído os gráficos PRPD para cada uma das medições realizados. Para tanto, a identificação dos pulsos de DP foi feita utilizando a estratégia de detecção de cruzamento de nível. A metodologia consiste em estabelecer um limiar acima do qual o sinal é registrados como sinais de descargas parciais e um tempo de resolução de pulso, o qual é o mínimo intervalo entre pulsos consecutivos tal que o sistema de medição consiga distinguir a ambos com um erro mínimo de superposição. O valor da carga aparente foi obtido a partir da medição do pico máximo ocorrido dentro da janela de tempo do pulso registrado. Esse procedimento para a identificação dos pulsos de DP está de acordo com as especificações da IEC 60270 [4].

D. Parametrização dos HFCT

Após a aquisição dos dados e a criação dos gráficos PRPD, foi realizada a parametrização dos HFCT. Para tanto, o seguinte procedimento foi adotado:

- 1) Para uma mesma amostra, identificou-se os pulsos de DP obtidos simultaneamente com o método convencional e o HFCT a ser parametrizado. Então, criou-se um conjunto de pares ordenados (Q_i, V_i) , em que Q_i representa a carga obtida para um pulso i pelo método convencional e V_i a tensão obtida pelo HFCT.
- 2) A partir do conjunto de pares ordenados obtidos, realizou-se um ajuste de curvas $V = f(Q)$, de modo a obter uma curva de correlação entre a medição com o HFCT e o arranjo convencional. O ajuste foi realizado através do método dos quadrados mínimos R^2 .
- 3) Construiu-se um gráfico $Q \times V$ a partir dos pares ordenados e da curva $V = f(Q)$, a fim de verificar a dispersão dos dados obtidos.

Para a aplicação do procedimento acima, foi necessário que somente pulsos medidos simultaneamente com o método convencional e o HFCT fossem utilizados no conjunto de pares ordenados (Q_i, V_i) . Para identificação destes pulsos, foi adotada a seguinte metodologia:

- 1) Localizou-se no tempo t_{CA} os pulsos de DP obtidos pelo método convencional no gráfico PRPD.
- 2) Localizou-se no tempo t_{HFCT} os pulsos de DP obtidos pelo HFCT no gráfico PRPD.
- 3) Criou-se um par ordenado para os pulsos que satisfazem, no tempo, a seguinte condição: $|t_{CA} - t_{HFCT}| \leq JT$. Em outras palavras, somente os pulsos localizados no mesmo instante de tempo, com uma tolerância de JT, foram considerados pulsos identificados simultaneamente pelos métodos utilizados.

O procedimento acima descrito foi realizado para o para-raios de ZnO avaliado e para os dois HFCT utilizados.

IV. ANÁLISE E RESULTADOS

Na Fig. 7 é apresentada a medição de DP no para-raios com o arranjo convencional. A forma de onda senoidal que aparece nas figuras é a representação de uma amostra da

tensão aplicada ao objeto sob estresse elétrico. Os pontos no gráfico são a indicação dos pulsos de DP identificados, os quais possuem localização, magnitude e número de pulsos bem definida em relação ao ângulo de fase φ da tensão aplicada. Conforme pode-se observar, foram obtidas em laboratórios vários pulsos de DP de diversas amplitudes, dentro de uma faixa de -50 pC a 300 pC. Esse conjunto de dados favorecem a construção de um conjunto de pares ordenados (Q_i, V_i) amplo e de diferentes magnitudes para a parametrização dos HFCT.

Nas Figuras 9 e 8 são apresentadas as medições de DP com os HFCT utilizados. Para o HFCT 1 e 2 verificou-se pulsos de DP na mesma região (em relação à fase de tensão) que com o arranjo convencional. Portanto, esse resultado comprova a medição simultânea realizada. Por outro lado, verificou-se a presença de pulsos de DP não identificados. A não identificação de pulsos de DP pode ser atribuída ao processo de filtragem e ao limiar de ruído de fundo LR adotado. No entanto, verifica-se ainda um conjunto de dados amplo e suficiente para o propósito da correlação de dados.

Nas Figuras 11 e 10 são apresentadas as curvas de correlação construídas para os HFCT 1 e 2. Para o ajuste da curva de correlação, foi testada a função linear a seguir:

$$f(x) = a \cdot x. \quad (3)$$

Conforme pode-se observar, a curva apresentada em (3) é uma boa aproximação dos dados, em que a relação obtida foi de aproximadamente $18 \mu\text{V/pC}$ para o HFCT 1 e $22 \mu\text{V/pC}$ para o HFCT 2. Os coeficientes de determinação obtidos foram 0,79 e 0,69, respectivamente, para os HFCT 1 e 2. A partir dos dados obtidos, é possível realizar a medição de DP em para-raios de 42 kV em campo utilizando os HFCT apresentados neste trabalho.

Verificou-se alguns pontos que aparentemente não seguem a mesma tendência que a curva linear obtida, sobretudo para pulsos menores que 50 pC. Mais estudos são necessários no sentido de explicar os pontos fora da curva. No entanto, constatou-se que a maioria dos pulsos detectados apresentava a mesma tendência linear, indicando que a melhor aproximação foi a obtida. Além disso, em medições de descargas parciais, o principal interesse para efeito de diagnóstico são os pulsos de grandes intensidades.

Para a utilização dos resultados apresentados neste trabalho, o seguinte procedimento pode ser adotado para a utilização dos HFCT na medição de DP em para-raios de 42 kV:

- 1) Realizar a medição de DP utilizando os HFCT apresentados ou similares;
- 2) Realizar a filtragem dos dados, utilizando o processo de Limiarização de Coeficientes Wavelet;
- 3) Identificar os pulsos de DP;
- 4) A partir dos níveis de tensão obtidos com o HFCT, verificar nas curvas apresentadas nas Fig. 11 e 10 o valor de carga aparente correspondente.
- 5) Realizar o diagnóstico do para-raios a partir dos níveis de DP identificados.

Na Fig. 12 é apresentado em forma de fluxograma o procedimento proposto para a utilização dos resultados desta pesquisa.

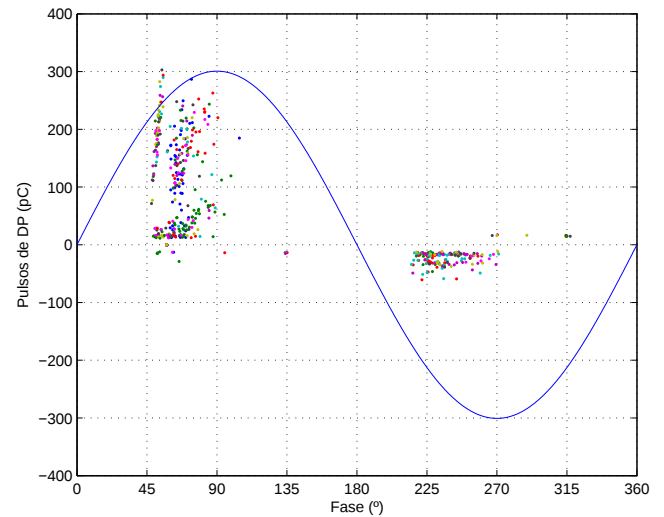


Fig. 7. Medição de DP no para-raios com o arranjo convencional.

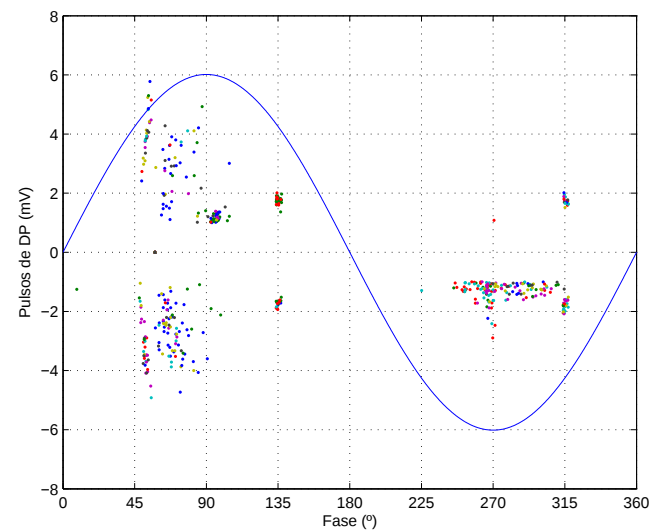


Fig. 8. Medição de DP no para-raios com o HFCT 1.

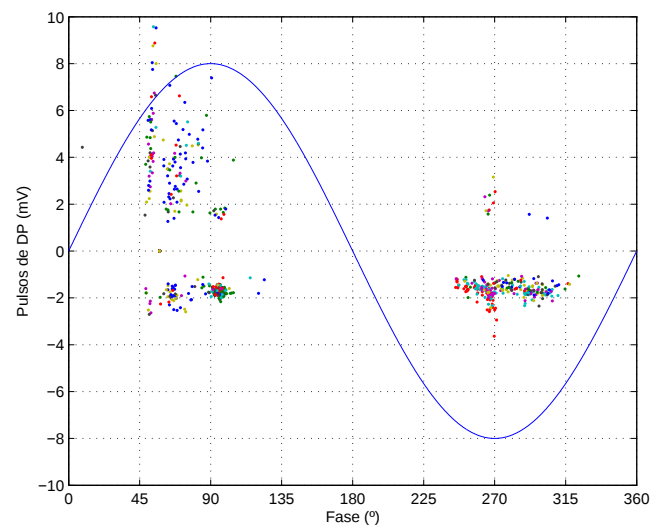


Fig. 9. Medição de DP no para-raios com o HFCT 2.

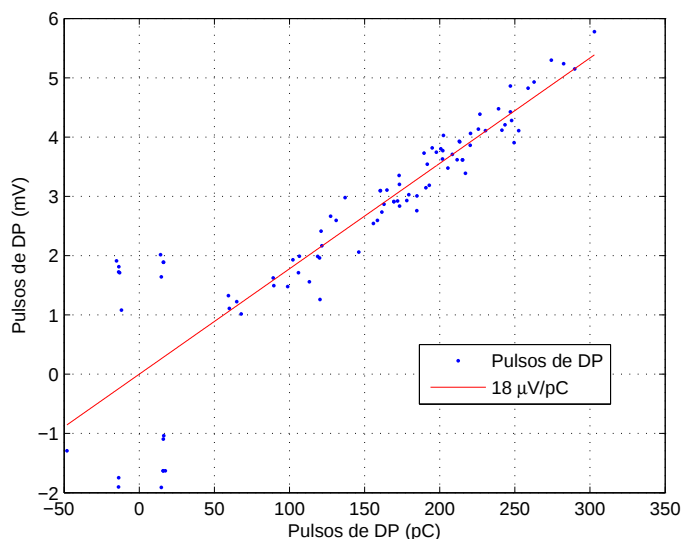


Fig. 10. Curva de correlação do HFCT 1 para o para-raios.

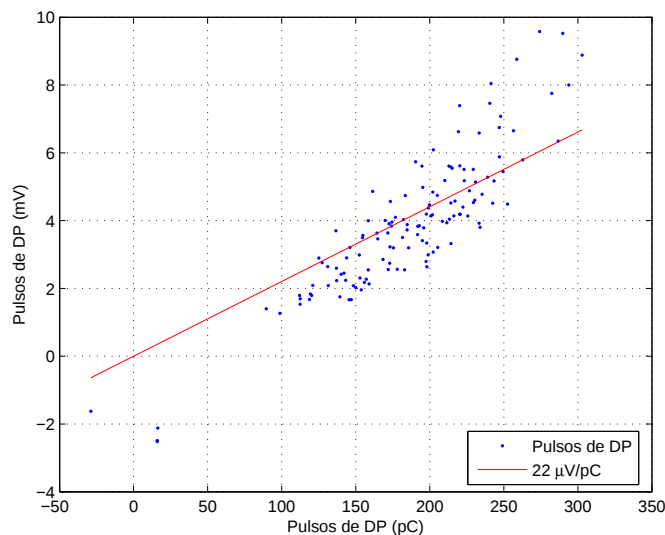


Fig. 11. Curva de correlação do HFCT 2 para o para-raios.

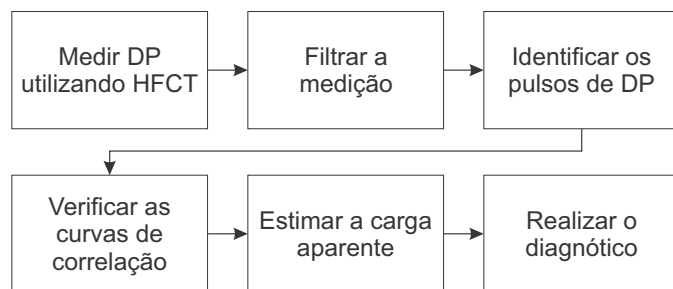


Fig. 12. Procedimento proposto para a utilização dos HFCT na medição de DP em para-raios de 42 kV.

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada a medição simultânea de DP em um para-raios de 42 kV utilizando o arranjo convencional proposto pela IEC 60270 e dois transformadores de corrente de alta frequência (HFCT). Foram obtidas em laboratório níveis de DP de diversas amplitudes, dentro de uma faixa de -50 pC a 300 pC. A filtragem dos dados foi realizada utilizando o método de Limiarização de Coeficientes Wavelet e a identificação dos pulsos utilizando o método de cruzamento de nível. A partir da metodologia proposta e utilizada foi realizada a filtragem, identificação dos pulsos e criação de gráficos em relação à fase da tensão (método PRPD) da medição de DP.

Foi verificado que a utilização de HFCT pode ser realizada para medição de DP. Foram obtidos com os HFCT pulsos de DP na mesma região (em relação à fase de tensão) que com o arranjo convencional, comprovando que os sensores identificaram os mesmos pulsos que o arranjo convencional.

A partir das medições realizadas, foram construídas curvas de correlação entre os HFCT e o arranjo proposto pela IEC 60270. Verificou-se que um modelo linear representa um bom ajuste dos dados, com coeficientes de determinação de 0,79 e 0,69. As relações obtidas foram de 18 $\mu\text{V/pC}$ para o HFCT 1 e 22 $\mu\text{V/pC}$ para o HFCT 2.

Com os resultados obtidos neste trabalho foi proposto um procedimento para a utilização dos HFCT na medição de DP em para-raios de 42 kV.

REFERÊNCIAS

- [1] IEC 60099-4, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 2014.
- [2] G. Montanari and A. Cavallini, "Partial discharge diagnostics: from apparatus monitoring to smart grid assessment," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 29, no. 3, pp. 8–17, 2013.
- [3] D. A. Nattress, "Partial discharge measurement and interpretation," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 4, no. 3, pp. 10–23, 1988.
- [4] IEC 60270, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 2000.
- [5] K. L. Wong, "Electromagnetic emission based monitoring technique for polymer zno surge arresters," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 13, no. 1, pp. 181–190, 2006.
- [6] O. Oliveira Filho, F. B. Barbosa, R. M. de Azevedo, W. A. S. Cruz, and S. G. Carvalho, "Performance evaluation of 20 years old zno surge arresters based on laboratory tests," in *Proceedings...*, International Conference on High Voltage Engineering and Application. Chongqing, China: IEEE, 2008, pp. 641–644.
- [7] W. R. Bacega, A. G. Kanashiro, H. Tatizawa, M. Z. Junior, and P. F. Obase, "Diagnóstico do estado dos para-raios em operação no sistema de transmissão," in *Anais eletrônicos...*, V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica. Belém - PA, Brasil: CITENEL, 2009. [Online]. Available: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=579>
- [8] H. P. Amorim Júnior, A. T. Carvalho, T. B. Rodrigues, A. P. Rodrigues, H. B. Oliveira, and J. B. Dias, "Avaliação de pára-raios no campo e no laboratório por meio das descargas parciais utilizando tc de alta frequência," in *Anais eletrônicos...*, IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos. Goiânia, Brasil: SBSE, 2012. [Online]. Available: <http://www.swge.inf.br/anais/SBSE2012/anais01.html>
- [9] I. Metwally, "Status review on partial discharge measurement techniques in gas-insulated switchgear/lines," *Electric Power Systems Research*, vol. 69, no. 1, pp. 25–36, 2004.
- [10] X. Ma, C. Zhou, and I. J. Kemp, "Automated wavelet selection and thresholding for pd detection," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 2, no. 18, pp. 37–45, 2002a.