

APLICAÇÃO DE REDE NEURAL ARTIFICIAL À CLASSIFICAÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS POR MEIO DE SINAIS DE EMISSÃO ACÚSTICA

THAMYRES T. C. PALITÓ, DANIEL A. P. FERREIRA, RICARDO A. S. FERNANDES*, RUY A. P. ALTAFIGIM*, IVAN N. SILVA+, RUY A. C. ALTAFIGIM

Laboratório de Alta Tensão e Materiais, Depto. de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade de São Paulo- EESC - Caixa Postal 359, 13566-590, São Carlos, SP, Brasil.

**Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Depto. de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de São Carlos – 13565-905 - São Carlos, SP – Brasil*

**Centro de Informática, Depto. de Sistemas de Computação, Universidade Federal da Paraíba – 58051-900 - João Pessoa, PB – Brasil*

+Laboratório de Automação Inteligente de Processos e Sistemas, Depto. de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade de São Paulo- EESC - Caixa Postal 359, 13566-590, São Carlos, SP, Brasil.

E-mails: thamyrestamulla@usp.br, danielferreira@usp.br, ricardo.asf@ufscar.br, ruy@ci.ufpb.br, insilva@sc.usp.br, altafigim@sc.usp.br

Abstract— Partial discharges have been identified as a major cause of failure and premature aging of oil insulated electrical equipment. For this reason, partial discharges detection has become an important issue to ensure that the power system is efficient and reliable. There are several sensors that can be applied in partial discharges detection, such as the optical, magnetic and acoustic sensors. However, a new class of acoustic sensors implemented with piezoelectrets can be seen as an economical alternative to detect the occurrence of partial discharges. Thus, in this paper, the acoustic behavior of such transducers is investigated when exposed to different conditions of partial discharges produced by a point-to-point electrode setup separated by different air gaps and excited by high voltages (alternating current). The magnitudes of the acquired/recorded signals are correlated with the distance of the gap and the magnitude of the applied voltage. From experimental results, a preprocessing step was performed to extract specific features of such signals. Finally, the classification step was performed by means of an Artificial Neural Networks of the Learning Vector Quantization type, which showed a performance of 95.83%.

Keywords— Partial discharge, Piezoelectret sensor, Artificial Neural Network.

Resumo— As descargas parciais têm sido apontadas como uma das principais causas de falhas e envelhecimento precoce de equipamentos elétricos isolados a óleo. Portanto, detectar descargas parciais se tornou uma questão importante para garantir que o sistema elétrico de potência seja eficiente e confiável. Existem vários sensores que podem ser aplicados, na detecção das descargas parciais, onde dentre eles destacam-se os ópticos, magnéticos e acústicos. No entanto, uma nova classe de sensores acústicos implementados com piezoeletretos pode ser vista como uma alternativa econômica para a detecção da ocorrência de descargas parciais. Deste modo, neste artigo, é investigado o comportamento acústico de tais transdutores quando expostos a diferentes condições de descargas parciais produzidas por uma configuração de eletrodos ponta-ponta separados por diferentes *gaps* de ar e excitados por altas tensões (em corrente alternada). As amplitudes dos sinais registrados são correlacionadas com a distância do *gap* e com a amplitude da tensão aplicada. A partir de resultados experimentais, é realizada uma etapa de pré-processamento dos sinais, onde obtém-se características específicas de tais sinais. Posteriormente, uma etapa de classificação das descargas parciais é realizada por meio de Redes Neurais Artificiais do tipo *Learning Vector Quantization*, a qual apresentou um desempenho de 95,83%.

Palavras-chave— Descarga parcial, Sensor piezoelétrico, Rede Neural Artificial.

1 Introdução

Nas últimas décadas, a grande expansão tecnológica e a proliferação dos equipamentos eletrônicos, tem levado as concessionárias de energia elétrica a preocuparem-se cada vez mais com a melhoria da qualidade e continuidade do fornecimento de energia. Essas duas características do fornecimento estão intimamente ligadas à confiabilidade dos equipamentos instalados nos sistemas elétricos de potência. Portanto, a verificação regular das condições desses equipamentos torna-se cada vez mais importante, seja no comissionamento, nas atividades de manutenção pre-

ventiva ou processos de reparo e também na administração de seu tempo de vida útil.

Neste sentido, muitas pesquisas têm se destinado a identificar as principais causas de falhas em equipamentos elétricos e mitigar seus efeitos com monitoramentos constantes (Lundgaard and Hansen, 1998; Stone, 2005; Cavallini, Montanari and Tozzi, 2010; Montanari and Cavallini, 2013; Kiiza et al., 2014). Assim, cabe destacar que as descargas parciais são apontadas como uma das principais causas de falhas na isolamento e envelhecimento precoce de equipamentos como transformadores de potência, capacitores e disjuntores (Testa, 2009; Kiiza et al., 2014).

As descargas parciais são rupturas elétricas que podem surgir de falhas existentes na isolamento dos equipamentos (sólida ou líquida) quando estes são

submetidos à intensos campos elétricos não uniformes (IEC, 1968; Schwarz, Judendorfer and Muhr, 2008). Destaca-se que a intensidade e constante ocorrência das descargas parciais pode resultar na carbonização do dielétrico e criar trilhas condutoras que reduzem a suportabilidade das isolações elétricas dos equipamentos.

Assim, a medição de descargas parciais é de suma importância ao diagnóstico e detecção prévia de possíveis defeitos nos isolamentos dos equipamentos já mencionados (Montanari and Cavallini, 2013). Portanto, a análise dos sinais provenientes das descargas parciais ajuda a revelar o envelhecimento precoce dos materiais isolantes, defeitos de fabricação, assim como previne paradas não programadas dos equipamentos (Cuenca, 2005). No entanto, estes sinais somente podem ser adquiridos devido ao rápido fluxo de elétrons e íons que produz efeitos como: interferências eletromagnéticas, ondas de pressão de gás e emissão de luz. Deste modo, torna-se possível o emprego de sensores ópticos, eletromagnéticos ou acústicos (IEC, 1968; Lundgaard, 1992; Markalous, Tenbohlen and Feser, 2008).

Entretanto, ao se tratar de transformadores de potência, apenas a etapa de detecção de descargas parciais não é suficiente para prevenir danos graves. Portanto, para essa categoria de equipamentos, é desejável ainda que as descargas parciais sejam localizadas para melhor auxiliar no processo de manutenção. Assim, nota-se que algumas análises por meio de sinais eletromagnéticos tem eficácia reduzida na localização das descargas parciais, pois tais sinais sofrem atenuações e interferências. Ao se tratar de sinais provenientes de sistemas ópticos também é possível observar algumas dificuldades, pois os *flashes* de descarga não são sempre “visíveis” ao sensor (Lundgaard, 1992). Por estes motivos, o método que tem sido utilizado com sucesso em tais casos é a acústica, que pode localizar a descarga parcial por meio de triangularização dos sinais adquiridos dos sensores de emissão acústica. Além disso, destaca-se que essa técnica é não invasiva e imune a ruídos eletromagnéticos (Lundgaard, 1992).

Com base na revisão da literatura supracitada, este trabalho apresenta um sistema laboratorial que visa a geração de descargas parciais e a posterior identificação de falhas em dielétricos a partir da detecção e classificação dessas falhas por meio de um sensor piezoelétrico e uma Rede Neural Artificial (RNA) do tipo *Learning Vector Quantization* (LVQ).

2 Ensaios Laboratoriais

Nesta seção é apresentada a estrutura laboratorial necessária para a geração das descargas parciais. Assim, para simular o comportamento das descargas parciais sem influências ou atenuação dos fenômenos médios de reflexão e refração, foi criada uma confi-

guração com múltiplos eletrodos de tungstênio ponta-ponta, conforme mostrado na Figura 1.

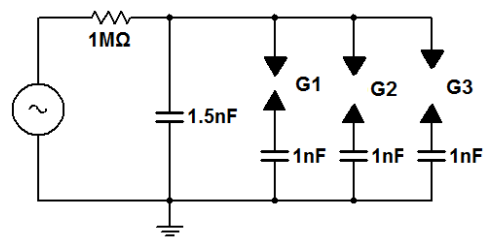


Figura 1. Configuração com múltiplos eletrodos de tungstênio ponta-ponta.

A fonte de alta tensão utilizada foi o Hipotronics HD125 AC/DC Hipot Tester. Um resistor de 1 MΩ foi acoplado ao circuito para limitar a corrente aplicada aos *gaps* de ar. Os eletrodos cilíndricos com pontas cônicas simulam as descargas parciais que ocorrem no interior dos isolantes e atuam como centelhadores. As distâncias entre os eletrodos formam *gaps* de ar (defeitos) de três tamanhos, a saber: G1 (0,1mm), G2 (0,3mm) e G3 (0,6mm). O circuito de *gaps* ilustrado na Figura 1 foi montado em uma caixa de acrílico, a qual pode ser visualizada por meio da representação esquemática da Figura 2.

Durante os experimentos, foram produzidas descargas parciais aplicando uma tensão AC de 60 Hz, a partir da fonte de alimentação, com valores acima da respectiva tensão de ruptura de cada *gap* de ar. As tensões utilizadas para análise foram de 3 kV, 4 kV, 5 kV e 6 kV.

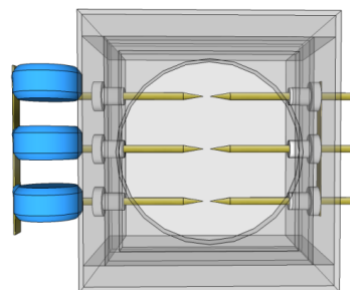


Figura 2. Vista superior do protótipo feito em acrílico.

3 Aquisição dos Sinais por meio de Transdutores Piezelétricos

Para detectar os sinais acústicos, foi utilizado um transdutor à base de piezoelitreto. O transdutor piezoelétrico utilizado na detecção acústica de descargas parciais foi preparado de acordo com o processo de fabricação descrito em Altafim et al. (2009). Para este trabalho, dois filmes de 50 μm fluoro-etileno-propileno (FEP) foram laminados a 300 °C com um molde 100 μm de politetrafluoretileno (PTFE) no meio (Figura 3a).

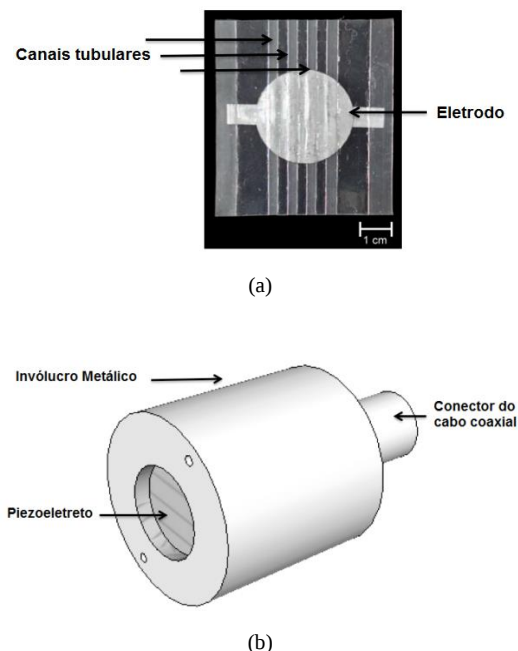


Figura 3. a) Piezoeletrito de FEP laminado. b) Representação esquemática do sensor piezoelétrico (Adaptado de Gutnik, 2012).

Uma vez que o processo de laminação foi concluído, o molde pôde ser removido a partir das camadas de FEP fundido. Assim, como resultado pôde ser obtida uma estrutura polimérica tubular fina, a qual foi submetida a um processo de metalização em ambos os lados e carregada com 3 kV em corrente contínua durante 10 segundos para que houvesse polarização. Posteriormente, o piezoeletrito foi acoplado a um invólucro de alumínio blindado (Figura 3b) juntamente com um amplificador de alta impedância ligado a um conector coaxial, conforme apresentado em Gutnik et al. (2012).

A Figura 4 ilustra como o sistema completo de geração e detecção de descargas parciais foi finalmente montado. Por fim, é importante comentar que quando a descarga ocorre entre os gaps, é produzido um sinal acústico que é capturado pelo sensor, e amplificado por um circuito de pré-amplificação que proporciona um ganho de 24 dB no sinal original. Após a etapa de pré-amplificação, o sinal é enviado para o osciloscópio através de um cabo coaxial, onde é possível observar a forma de onda produzida pelo som das descargas parciais geradas em laboratório. Os sinais coletados são então armazenados em um banco de dados para posterior processamento e análise.

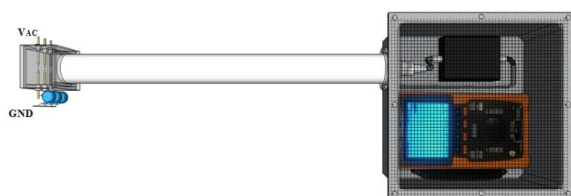


Figura 4. Montagem do sistema de geração e detecção de descargas parciais (CEIPD, 2014).

4 Metodologia Proposta para Detecção de Descargas Parciais

A metodologia proposta nesse trabalho consiste basicamente nas etapas de geração das descargas parciais, aquisição dos sinais de acústicos, pré-processamento/extração de características e classificação das fontes de descargas parciais de acordo com o tamanho do *gap* entre pontas. Dessa forma, a geração das descargas parciais, bem como a aquisição dos sinais acústicos são tarefas realizadas em conformidade com os procedimentos experimentais supramencionados na Seção 3.

4.1 Pré-processamento/Extração de Características

A etapa de pré-processamento/extração de características é feita com base no cálculo do valor RMS (*Root Mean Square*), o qual pode ser calculado por meio da equação 1 e permite avaliar particularidades dos sinais provenientes de descargas parciais.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N y_k^2}{N}}, \quad (1)$$

Na equação 1 o N é o número total de amostras e y_k é o valor da tensão para a k -ésima amostra do sinal.

A partir do valor RMS foi possível fazer a correlação da intensidade do sinal acústico com a tensão aplicada e o tamanho do *gap* de ar, ou seja, serão considerados como entradas da rede neural tanto o valor RMS quanto o valor da tensão aplicada. Além disso, o tamanho do *gap* de ar será usado como saída.

4.2 Classificação das Descargas Parciais

A classificação dos sinais acústicos é feita por meio de uma rede neural do tipo *Learning Vector Quantization* (LVQ), com aprendizado não supervisionado, e pode ser aplicada em problemas de classificação de padrões. Essa rede neural realiza um processo de quantização vetorial frente ao espaço onde as amostras se encontram, a fim de ponderar as regiões de domínio de cada uma das classes. O processo de quantização vetorial consiste em atribuir a cada classe, um único vetor, denominado de quantizador (vetor de referência), que possa representar o perfil que permeia o respectivo grupo frente às operações de classificação de uma nova amostra. Assim sendo, esta nova amostra será classificada como pertencente àquela classe em que o vetor quantizador estiver mais próximo, pois, quanto mais próximo o vetor quantizador estiver de determinada amostra, mais semelhante esta será da classe (Silva, Spatti e Flauzino, 2010).

A Figura 5 ilustra a rede neural do tipo LVQ utilizada neste trabalho, que é composta por duas entradas (tensão aplicada e valor RMS), bem como possui

três neurônios que representam respectivamente as classes de *gaps* de ar G1, G2 e G3.

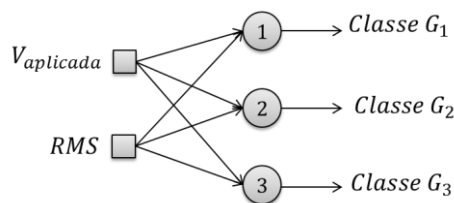


Figura 5. Estrutura neural da rede neural do tipo LVQ utilizada para classificação de *gaps* de ar.

O ajuste dos pesos sinápticos em uma rede neural do tipo LQV é executado de forma competitiva, onde os vetores de pesos sinápticos representam diretamente os vetores quantizadores de classes. Assim, para a utilização dessa topologia, as diversas classes associadas à representação do processo devem ser conhecidas. Portanto, o algoritmo de ajuste dos pesos utilizado foi o LVQ-1, onde somente os pesos do neurônio vencedor são ajustados. Para obtenção do vencedor, ou seja, aquele neurônio cujo vetor de pesos tiver o maior nível de proximidade com uma determinada amostra, utiliza-se a norma euclidiana entre dois parâmetros, que é expressa pela equação 2:

$$dist_j^k = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i^k - w_i^j)^2} \quad (2)$$

onde $j = [1, 2, 3]$ e $dist_j^k$ representa a distância entre o vetor de entrada representando a k -ésima amostra $\{x^k\}$ em relação ao vetor de pesos do j -ésimo neurônio $\{w^j\}$.

Após a declaração do neurônio vencedor, aplica-se então a regra de ajuste de seus pesos. Quando a situação do neurônio vencedor representar a própria classe atribuída à respectiva amostra, ajustam-se então os seus pesos com a finalidade de aproximá-los ainda mais daquela amostra. Caso contrário, os seus pesos são ajustados com o intuito de se afastar da amostra.

A fase de operação da rede (ou seja, após os ajustes dos pesos sinápticos), quando da apresentação de uma nova amostra, consiste em determinar somente o neurônio vencedor, isto é, aquele cujo rótulo estará representando a classe a ser atribuída à respectiva amostra.

5 Resultados e Discussões

Testes preliminares foram executados para determinar a tensão de ruptura de cada *gap*. Para isso, a amplitude da tensão (em corrente alternada) aplicada nos eletrodos ponta-ponta foi elevada até a ocorrência da ruptura no *gap* correspondente. Assim, foi possível notar que a tensão de ruptura para *gaps* úni-

cos foi de respectivamente 0,9 kV, 1,9 kV e 2,2 kV, para G1, G2 e G3. Após o conhecimento das tensões de limiar, foram determinados os picos de tensão que seriam aplicadas a cada configuração de eletrodos. Como a partir de 2,2 kV ocorreu descargas em todos os *gaps*, então, optou-se por analisar os sinais gerados nas seguintes tensões: 3 kV, 4 kV, 5 kV e 6 kV.

O sinal acústico de cinco descargas parciais distintas para cada *gap* de ar e para cada uma das tensões descritas anteriormente foram registrados pelo osciloscópio portátil Tektronix (modelo TPS 2014B 100 MHz) com uma escala de tempo ajustada para 25 ms e 2500 pontos.

A análise dos sinais acústicos consistiu em verificar as aplicações potenciais do piezoeletrito na detecção de um sinal acústico das descargas parciais e se as influências provocadas pela variação da distância no *gap* ou da amplitude da tensão poderiam ser detectadas pelo transdutor. Esta análise foi realizada com base no cálculo do valor RMS para cada um dos sinais acústicos obtidos de forma experimental.

A Tabela I apresenta a média aritmética de cinco valores RMS correspondentes à respectiva tensão aplicada nos *gaps* G1, G2 e G3. É possível perceber que quanto maior o valor da tensão aplicada, maior será o valor RMS do sinal acústico correspondente.

A mesma constatação pode ser feita por meio do gráfico ilustrado na Figura 6, onde a resposta do sensor, representado pela intensidade do sinal acústico, aumenta quase que linearmente com a tensão aplicada. Tal comportamento também está de acordo com o que demonstra a literatura correlata (Lundgaard, 1992).

Tabela 1. Relação das tensões aplicadas e respectivos valores RMS obtidos nos ensaios laboratoriais.

Tensão (kV)	Valor RMS (mV)		
	G1	G2	G3
3,00	4,269	16,355	18,526
4,00	6,028	23,102	26,396
5,00	7,362	30,124	36,555
6,00	9,488	35,967	45,550

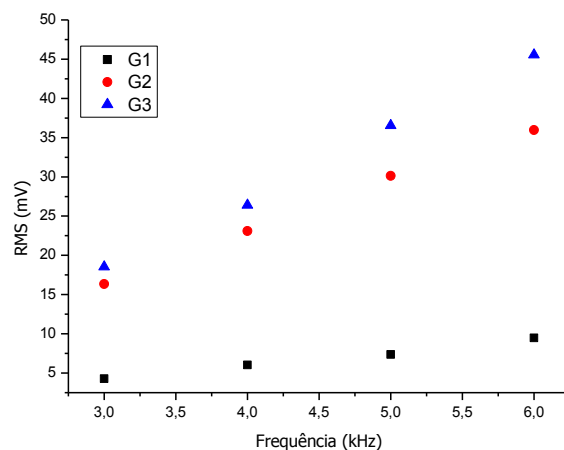


Figura 6. Valor RMS em função da tensão aplicada para os *gaps* G1, G2 e G3.

Como pode ser visto a partir da Figura 6, para uma mesma tensão aplicada, as descargas produzidas no maior *gap* (G3) geram sinais acústicos mais intensos quando comparados com os sinais das descargas originadas em *gaps* menores (G2 e G1). Este comportamento está de acordo com o que é apresentado por Martinson e Delsing (2010).

Para classificação dos *gaps* de ar, uma rede neural do tipo LVQ foi utilizada. Tal rede neural fez uso dos valores RMS e do valor da tensão aplicada, previamente calculados para os sinais acústicos, como entradas. Desta forma, a saída da rede neural é a classe de *gap*, ou seja, G1, G2 ou G3.

A rede LVQ foi treinada teve seus pesos sinápticos ajustados com 60% dos dados (que corresponde a 36 sinais). Os 40% restante dos dados foram utilizados para validar a rede neural e, portanto, 24 sinais acústicos foram utilizados nessa etapa.

Os resultados obtidos no processo de classificação são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados obtidos pela rede neural do tipo LVQ.

Classe	Taxa de Acertos (%)
G1	100,00
G2	100,00
G3	87,50
Média Global	95,833

A partir dos resultados mostrados na Tabela 2, é possível concluir que medindo a intensidade do sinal, isto é, seu valor RMS e conhecendo a tensão aplicada para gerar a descarga parcial, é possível determinar o tamanho do *gap* de ar que consiste em uma falha no isolamento. Além disso, também poderia, de forma reversa, obter o valor da tensão aplicada partindo-se do pressuposto que o tamanho do *gap* de ar é conhecido.

6 Conclusões

Este trabalho apresentou um sistema de geração de descargas parciais por meio de ensaios laboratoriais, visando à identificação de falhas em dielétricos. Para o caso específico desse trabalho, o dielétrico utilizado foi o ar, onde os *gaps* tiveram seus tamanhos variados. Destaca-se que este trabalho teve ainda o objetivo de investigar o uso de piezoeletretos como transdutores acústicos para detectar descargas parciais em diferentes configurações de eletrodos ponta-ponta em um meio gasoso (ar). Para isso, foi implementada uma configuração controlada, na qual as capacitâncias envolvidas poderiam ser bem definidas.

Os ensaios laboratoriais foram realizados utilizando *gaps* de 0,1, 0,3 e 0,6 mm e tensões aplicada que variaram entre 3 kV e 6 kV. O som produzido pelas diferentes descargas parciais foi inicialmente avaliado quanto à sua amplitude, podendo ser observado que a intensidade dos sinais acústicos adquiri-

dos com o transdutor piezoelétrico está relacionada ao tamanho do *gap* e à amplitude da tensão aplicada para gerar a descarga. No entanto, para classificar os *gaps* de ar, foi empregada uma rede neural do tipo LVQ, a qual apresentou uma taxa de acerto de 100% para a classificação dos *gaps* G1 e G2. Entretanto, para o *gap* G3, a LVQ apresentou uma taxa de acerto de 87,5%. Portanto, o desempenho global da rede neural foi de aproximadamente 95,8%.

Por fim, é importante comentar que o sistema proposto apresentou uma resposta mensurável na detecção de descargas parciais e na classificação dos *gaps* de ar. Além disso, tal sistema mostrou-se economicamente viável para a detecção de descargas parciais.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa. A FIPAI (Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial) e a ELEKTRO (projeto P&D – Piezoeletretos da ELEKTRO – ANEEL – USP) pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

- Altafim, R. A. P.; Qiu, X.; Wirges, W.; Gerhard, R.; Altafim, R. A. C.; Basso, H. C.; Jenninger, W. and Wagner J. (2009). Template-based fluoroethylenepropylene piezoelectrets with tubular channels for transducer applications, *Journal of Applied Physics*, Vol. 106, No. 1, pp. 014106.
- Cavallini, A.; Montanari, G. C. and Tozzi, M. (2010). PD apparent charge estimation and calibration: A critical review. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 17, No. 1, pp. 198-205, 2010.
- Cuenca, W. M. H. (2005). Caracterização dos sinais de descargas parciais em equipamentos de alta tensão a partir de modelos experimentais. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Gutnik, Y.; Altafim, R. A. P.; Veronese, P. R.; Resende, J. F.; Basso, H. C.; Gerhard, R. and Altafim, R. A. C. (2012). Piezoelectret sensors detect geometryrelated modifications of the acoustical signatures from partial discharges in an electrical equipment chamber, *IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP)*, pp. 108-111.
- IEC. (1968). International Electrotechnical Commission 60270: partial discharge measurement.
- Kiiza, R.; Niasar, M.; Nikjoo, R.; Wang, X. and Edin, H. (2014). Change in partial discharge activity as related to degradation level in oil-

- impregnated paper insulation: effect of high voltage impulses. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 21, No. 3, pp. 1243-1250.
- Lundgaard, L. E. (1992). Partial discharge - part XIII: acoustic partial discharge detection-fundamental considerations. IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 8, No. 4, pp. 25-31.
- Lundgaard, L. E. and Hansen, W. (1998). Acoustic method for quality control and in-service periodic monitoring of medium voltage cable terminations. IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Vol. 1, pp.130-133.
- Markalous, S.; Tenbohlen, S. and Feser, K. (2008). Detection and location of partial discharges in power transformers using acoustic and electromagnetic signals. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 15, No. 6, pp. 1576-1583.
- Martinson, E. and Delsing, J. (2010). Electric spark discharge as an ultrasonic generator in flow measurement situations, Flow Measurement and Instrumentation, vol. 21, pp. 394-401.
- Montanari, G. C. and Cavallini, A. (2013). Partial discharge diagnostics: from apparatus monitoring to smart grid assessment. IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 29, No. 3, pp. 8-17.
- Schwarz, R.; Judendorfer, T. and Muhr, M. (2008). Review of partial discharge monitoring techniques used in high voltage equipment. Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), pp. 400-403.
- Silva, I. N.; Spatti, D. H. e Flauzino, R. A. (2010). Redes Neurais Artificiais para engenharia e ciências aplicadas. São Paulo. Editora Artliber. 1ª Edição.
- Stone, G. C. (2005). Partial discharge diagnostics and electrical equipment insulation condition assessment. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 12, No. 5, pp. 891-904.
- Testa, L. (2009). Physical model of damage inception and growth in polymeric insulating materials subjected to partial discharges under dc and ac voltage. Ph.D. Thesis, University of Bologna, Bologna, Italy.