

Avaliação de Degradação de Isoladores Poliméricos Baseada em Imagens Ultravioletas

K. B. Brito, E. G. Costa, A. B. Oliveira Neto, B. A. Dias, T. V. Ferreira
 Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - COPELE
 Departamento de Engenharia Elétrica
 Universidade Federal de Campina Grande
 Campina Grande, Paraíba, Brasil
 kal.brito@ee.ufcg.edu.br

Resumo - Os isoladores poliméricos são mais suscetíveis a danos causados por corona e descargas superficiais, quando comparados a isoladores cerâmicos. Esses fenômenos podem causar redução na resistência mecânica, erosão da superfície polimérica e criação de vários produtos químicos, o que leva, em longo prazo, à deterioração progressiva e eventual falha do equipamento. No entanto, as descargas superficiais e corona também são indicadores de concentração de campo elétrico, e podem fornecer bons indicadores sobre a condição de funcionamento do isolador. Assim, neste trabalho foi desenvolvida um algoritmo computacional baseado em processamento digital de imagens, as quais foram obtidas com o auxílio de uma câmera sensível a radiação ultravioleta. O algoritmo computacional é capaz de quantificar o número de ocorrências de descargas presentes na sequência de imagens, às áreas das fâculas e as distâncias entre as fâculas e a ferragem fase do isolador. Além disso, a rotina é capaz de sugerir a divisão do isolador em regiões específicas e a divisão do *frame* em áreas correlacionadas a estas regiões de acordo com o grau de importância, relativamente à localização espacial das descargas detectadas. Foram realizados ensaios com isoladores poliméricos de 230 kV em tensão nominal e coletadas as imagens relativas a emissão na região do ultravioletas. Com base nas distâncias, tamanhos e persistências das descargas, relativamente ao isolador e que são as saídas da rotina computacional, tem-se uma melhor avaliação do nível de degradação em que se encontra o isolador, além de auxiliar de forma eficiente a tomada de decisão para a classificação de seu estado operacional.

Palavras-Chaves - Câmera UV, descargas parciais, isoladores poliméricos, processamento digital de imagens.

I. INTRODUÇÃO

Durante a primeira metade do século XX, cerâmica, vidro e porcelana eram os materiais mais confiáveis para isolamento de alta tensão. Em contrapartida, as novas tecnologias de materiais poliméricos têm sido utilizadas para dar segurança e confiabilidade aos sistemas elétricos, mesmo em condições adversas [1].

Isoladores poliméricos são mais leves, apresentam melhor desempenho em áreas de vandalismo, poluição industrial e marítima. Entretanto, esses isoladores apresentam desvantagens por possuir tempo de vida útil de difícil determinação, dificuldade de detecção de defeitos por inspeção visual, menor resistência à incidência de raios ultravioleta (UV), além de serem susceptíveis a danos decorrentes de atividades elétricas (descargas corona, descargas parciais e arcos de potência).

Para analisar as condições de funcionamento de um isolador podem ser utilizados vários métodos, um deles é o tratamento de imagens sensíveis à UV, utilizado para detecção de descargas superficiais e corona. Dentre as principais vantagens desse método estão a possibilidade de inspeção à distância, alta sensibilidade e a ausência de contato direto [2].

Diante dessas informações, este trabalho foi concebido com o objetivo de realizar o tratamento das imagens fornecidas pela câmera UV, DayCor II, especializada para detecção de coronas e descargas parciais. Para tanto foram utilizados isoladores poliméricos de 230 kV em diferentes níveis de degradação, e/ou poluição, submetidos a ensaios de 230 kV. Com os resultados obtidos, foi possível realizar o auxílio à tomada de decisão relacionada ao estado de uso do isolador.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Descarga Parcial

Descarga parcial é uma descarga elétrica que ocorre numa região do espaço sujeita a um campo elétrico, cujo caminho condutor formado pela descarga não une os dois eletrodos de forma completa [3]. A ocorrência de uma descarga parcial depende, a princípio, de dois fatores: a existência de cargas livres (elétrons ou íons positivos) em uma determinada região do espaço e um campo elétrico intenso o suficiente para acelerar as cargas livres com energia necessária para iniciar um processo de avalanche.

Existem dois tipos de descargas parciais, a interna e a superficial. Descarga parcial interna é a descarga que ocorre no interior de vazios ou inclusões em um material dielétrico. Esse tipo de descarga pode ocorrer numa região do material dielétrico onde um vazio está totalmente circundado pelo dielétrico ou na interface entre o dielétrico e um dos eletrodos. Já a descarga parcial superficial é a descarga que ocorre na superfície de um material dielétrico, normalmente partindo de um eletrodo para a superfície. Quando o campo elétrico paralelo à superfície excede um determinado valor crítico, inicia-se o processo de descarga superficial [3].

Descargas parciais ocorridas repetitivamente são a principal razão para a degradação mecânica e química do material isolante. O efeito da descarga em equipamentos de alta tensão é grave para o sistema de isolamento, pois gera energia na forma de calor, sendo a energia térmica a principal razão para a degradação [4]. Sendo assim, o estudo da ocorrência e

identificação das descargas, baseada no princípio da persistência, podem evitar degradações quando tomadas de decisões forem eficientemente adotadas.

B. Processamento Digital de Imagens

A ferramenta computacional desenvolvida para o tratamento das imagens obtidas pelo DayCor II baseia-se fortemente no Processamento Digital de Imagens (PDI) e, por isso, algumas definições e conceitos devem ser delineados.

Por PDI entende-se a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens. O objetivo de se usar essa técnica é melhorar o aspecto visual de certas características estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos [5]. A função primordial do PDI é fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contida nas imagens, para posterior interpretação. Nesse sentido, sistemas dedicados de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas.

A grande maioria dos dispositivos eletrônicos digitais emprega o sistema de cores aditivas, o qual é formado por Vermelho (*Red*), Verde (*Green*) e Azul (*Blue*), também conhecido por sistema *RGB*, o qual serve para representar imagens coloridas, como os *frames* obtidos a partir de arquivos de vídeo, e que são usados neste trabalho.

Em uma imagem digital colorida no sistema *RGB*, pode-se considerar um *pixel* (unidade elementar da imagem) como um vetor, conforme apresentado em (1), em que cada componente representa a intensidade de vermelho, verde e azul da cor:

$$f(x, y) = (fr(x, y), fg(x, y), fb(x, y)), \quad (1)$$

em que: $f(x,y)$ representa a intensidade de cor de um *pixel*; $fr(x,y)$ representa a intensidade de vermelho, $fg(x,y)$ representa a intensidade de verde e $fb(x,y)$ representa a intensidade de azul.

Pode-se considerar, portanto, que uma imagem colorida é a composição de três imagens monocromáticas, $fr(x, y)$, $fg(x, y)$, $fb(x, y)$, denominadas, respectivamente, de banda R, banda G, e banda B da imagem colorida. Um exemplo desta representação é apresentado na Figura 1.

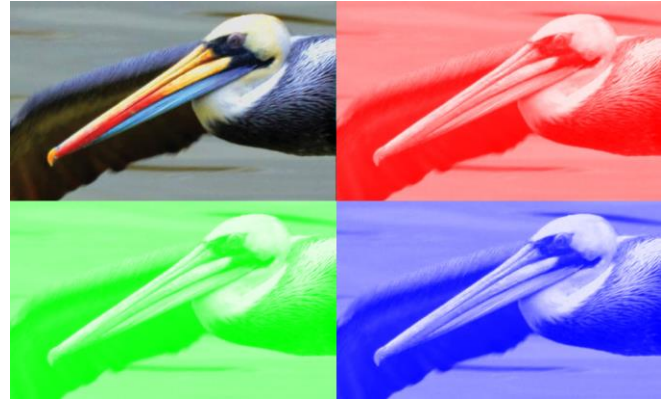


Figura 1: "O Pelicano e sua decomposição *rgb* [6].

Sendo assim, tendo fundamentado a composição matricial das imagens em forma de vetor, os problemas relacionados às descargas parciais em isoladores e a flexibilidade fornecido pelo PDI, pode ser apresentada a metodologia utilizada neste trabalho.

III. MATERIAL E MÉTODOS

A. Material

As amostras empregadas, nos ensaios para estudo, são isoladores poliméricos novos ou retirados de campo com até cinco anos de uso, com classe de 230 kV e peso de aproximadamente 8,8 kg. Na Figura 2 é exibida uma fotografia de um dos isoladores utilizados nos ensaios.



Figura 2: Fotografia de um isolador 230 kV [7].

A amostra possui núcleo composto de fibra de vidro reforçada com resinas e é revestido por uma fina camada de material isolante e por aletas. A camada isolante é composta de borracha a base de silicone de alta temperatura de vulcanização. Seus terminais são do tipo concha/bola. Suas características dimensionais podem ser vistas na Figura 3.

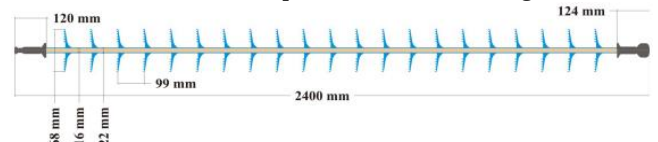


Figura 3: Diagrama do isolador utilizado nos ensaios [7].

B. Métodos

1) Montagem Experimental

Os ensaios, objetivando a coleta dos dados, foram realizados em sala blindada para aquisição de descargas parciais e implementados a partir do circuito específico ilustrado na Figura 4, conforme [8].

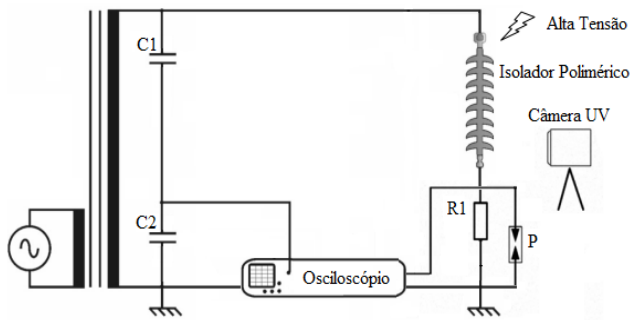


Figura 4: Circuito de medição e aquisição de dados [7].

O circuito para aquisição de dados é constituído das seguintes partes: mesa de controle (Ferranti), filtros de linha, transformador de 220 V/100 kV - 10 kVA, isoladores poliméricos e um osciloscópio digital TDS 2014 (Tektronix). Os dois capacitores foram conectados em série e formam um divisor de tensão capacitivo cuja relação de tensão é de 7.179,5. Ao aplicar-se tensão nominal nos isoladores, foram capturadas as imagens pelo DayCor II em diferentes ângulos e selecionado previamente aquele que melhor inferia a apresentação de descargas parciais, esperou-se ao menos 30 segundo após a energização para o início da aquisição do vídeo.

2) Processamento Digital de Imagens Coletadas

O vídeo gravado pelo DayCor II é decomposto em imagens, que são *frames* por intervalo de tempo. O tratamento das imagens coletadas recorre a uma rotina computacional baseada em PDI capaz de eliminar os ruídos, quantificar a persistência das descargas, sua localização com referência às áreas específicas do isolador assim como o tamanho da área das fâculas. O algoritmo pode ser visto de forma esquemática na Figura 5.



Figura 5: Estrutura do Algoritmo.

A seguir há o detalhamento de cada etapa do processo sequencial que os *frames* percorrem.

Etapa 1 - Rotina de Identificação e Parametrização: identifica-se as regiões como possíveis pontos de ocorrência de descargas parciais presentes em cada *frame*, o isolador com relação ao restante da imagem, elaborando a distinção entre as partes elementares de cada *frame*. Além disso, elabora-se uma parametrização dos candidatos a descargas de cada *frame* para que seja possível a representação de todas as descargas no tempo em uma única imagem.

Etapa 2 - Rotina de Soma: elabora-se o somatório de todos os *frames*, permitindo assim a exibição de todos os candidatos a descargas ao longo do tempo, em uma única imagem, em torno do *shape* do isolador. O *shape* pode ser obtido pela gravação feita pouco antes da energização do circuito, conforme observável na Figura 4, pois, o isolador e a câmera UV permaneceram nos mesmo locais durante a realização dos ensaios.

Etapa 3 - Rotina de Eliminação: elimina-se os ruídos presentes na imagem final por meio de um critério de persistência no tempo. Candidatos a descargas que de forma pontual que não persistiram por pelo menos 1/3 do total do *frames* usados da gravação serão eliminados. Os candidatos serão considerados descargas, com a formação de uma ou várias fâculas, com distâncias, áreas e persistências próprias.

Etapa 4 - Rotina de Associação: identifica áreas específicas de interesse no isolador associando cada descarga a estas regiões. O isolador é dividido em regiões, de acordo com o grau de preocupação da ocorrência das descargas. Regiões junto ao núcleo são mais preocupantes que aletas. O grau de importância cresce de acordo com a proximidade da região em questão com a ferragem fase, tanto para as aletas como as regiões entre elas. Esta rotina além de dividir o isolador em regiões específicas, também divide a área total do *frame* de acordo com a distância euclidiana do *pixel* central da região da fâcula às regiões específicas do isolador. Analisa-se o endereço dos *pixels* de interesse, no caso, que contém fâculas.

Etapa 5 - Rotina de Quantificação: gera uma tabela contendo a persistência das descargas, as áreas das fâculas e as distâncias destas para a ferragem fase terra do isolador. As distâncias, assim como as áreas das fâculas são correlacionadas pela representação dos *pixels* com as dimensões reais do isolador.

IV. RESULTADOS

Objetivando explorar a funcionalidade e a flexibilidade do método proposto neste trabalho, foram realizados quatro casos de estudo em situações distintas.

A. Isolador Novo sem Anel Equalizador

Este caso de estudo foi realizado utilizando um isolador novo sem anel equalizador. O primeiro *frame* da gravação feita no ensaio do isolador pode ser visto na Figura 6.



Figura 6: Primeiro frame capturado no ensaio do isolador novo sem anel equalizador.

Visando o entendimento do algoritmo e o procedimento do PDI aplicado aos *frames*, um fluxograma pode ser observado na Figura 7.

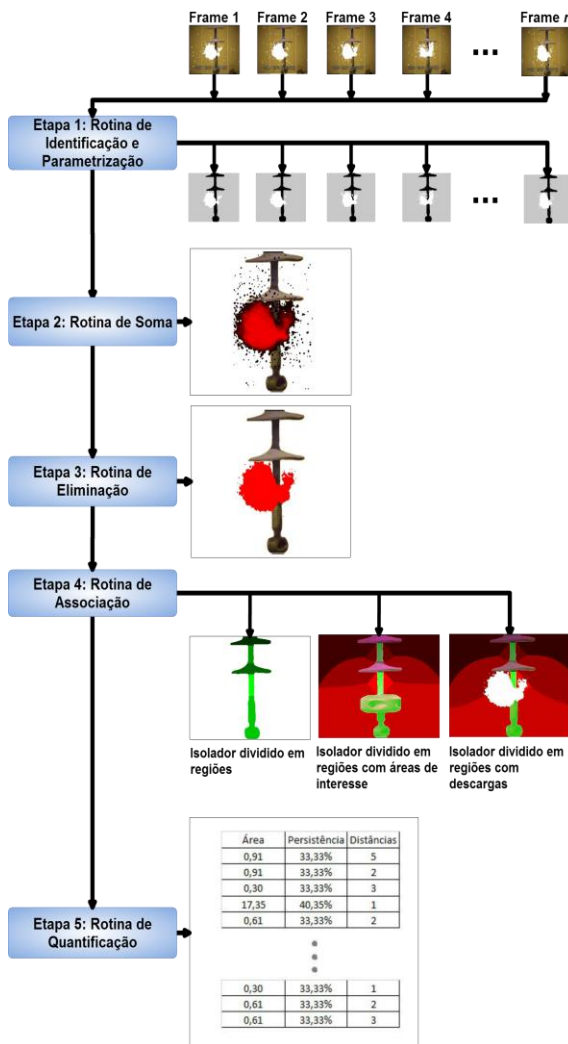


Figura 7. Fluxograma de aplicação do algoritmo.

O isolador dividido em regiões com as descargas parciais e áreas de interesse de localização pode ser verificado na Figura 8.

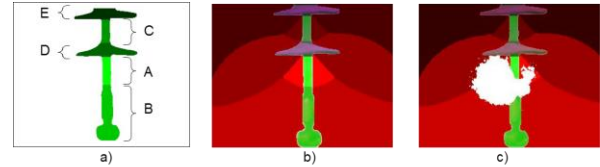


Figura 8: (a) Isolador dividido em regiões (b) Isolador dividido em regiões com áreas de interesse (c) Isolador dividido em regiões com áreas de interesse e fâculas.

Pelo critério adotado neste trabalho, observando a Figura 8 (a), o grau de preocupação, dado às regiões do isolador obedece a $A > B > C > D > E$, que é refletida pela tonalidade da cor verde, as regiões mais próximas à ferragem energizada são as mais preocupantes.

Quanto à persistência no tempo em valores por unidade (pu), as áreas das fâculas e as suas distâncias, em relação à ferragem fase, podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Relação das áreas, das distâncias à ferragem fase-terra e da persistência das fâculas no isolador novo sem anel.

Área (mm ²)	Persistência (%)	Distâncias (mm)
0,69	33,33%	93
1,72	35,00%	90
1,37	41,67%	93
0,34	33,33%	89
2469,39	79,98%	0
1,03	33,33%	93
4,81	33,33%	78
0,34	33,33%	83
0,69	33,33%	54
0,34	33,33%	81
1,03	33,33%	81
0,34	33,33%	15
0,69	33,33%	28
0,34	33,33%	46
0,69	33,33%	0
0,34	33,33%	55
0,34	33,33%	59
1,72	33,33%	42
0,69	33,33%	59
0,69	33,33%	50

B. Isolador Novo com Anel Equalizador

Nesta nova situação, isolador novo com anel equalizador, o primeiro *frame* obtido na gravação do ensaio pode ser observado na Figura 9.



Figura 9: Primeiro frame capturado no ensaio do isolador novo com anel.

Em procedimento análogo ao visto na Figura 7, o isolador dividido em regiões com as descargas parciais e áreas de interesse de localização pode ser constatado na Figura 10.

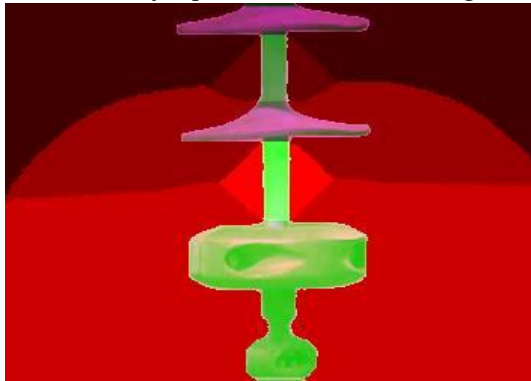


Figura 10: Isolador dividido em regiões com áreas de interesse.

Pode ser notado que neste caso de estudo por ter sido usado anel equalizador não há a formação de fâculas, conforme o critério de persistência adotado.

C. Isolador Velho sem Anel Equalizador

Neste caso de estudo, o primeiro frame obtido na gravação do ensaio pode ser visto na Figura 11. O isolador dividido em regiões com as descargas parciais e áreas de interesse de localização é observado na Figura 12. A quantificação fornecida pela etapa 5 é percebido na Tabela 2.



Figura 11: Primeiro frame capturado no ensaio do isolador velho sem anel.

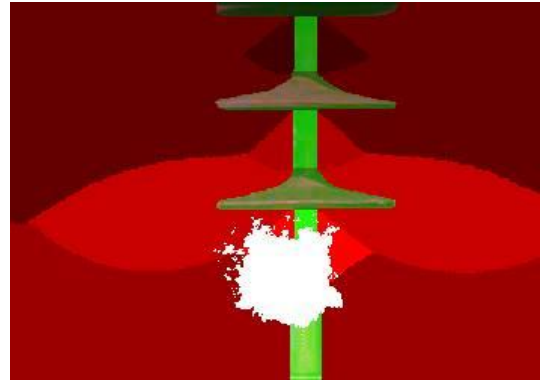


Figura 12: Isolador dividido em regiões com áreas de interesse e fâculas.

Tabela 2. Relação das áreas, das distâncias à ferragem fase-terra e da persistência das fâculas no isolador velho sem anel.

Área (mm ²)	Persistência (%)	Distâncias (mm)
0,91	33,33%	5
0,91	33,33%	2
0,30	33,33%	3
17,35	40,35%	1
0,61	33,33%	2
3,65	34,03%	3
1,52	35,00%	4
1,22	33,33%	5
2,44	34,38%	2
0,30	33,33%	3
1129,93	71,10%	1
0,30	33,33%	2
0,61	33,33%	3
0,30	33,33%	4
0,30	33,33%	5
0,30	33,33%	2
0,61	33,33%	3
0,91	36,11%	1
0,30	33,33%	2
2,13	33,33%	3
0,30	33,33%	4
1,52	33,33%	5
0,30	33,33%	2
0,30	41,67%	3
0,30	33,33%	1
0,61	33,33%	2
0,61	33,33%	3
2,44	34,38%	4

D. Isolador Velho com Anel Equalizador

Para este caso de estudo, o primeiro frame obtido na gravação do ensaio pode ser verificado na Figura 13. O

isolador dividido em regiões com as descargas parciais e áreas de interesse de localização pode ser visto na Figura 14.



Figura 7: Primeiro frame capturado no ensaio do isolador velho com anel.

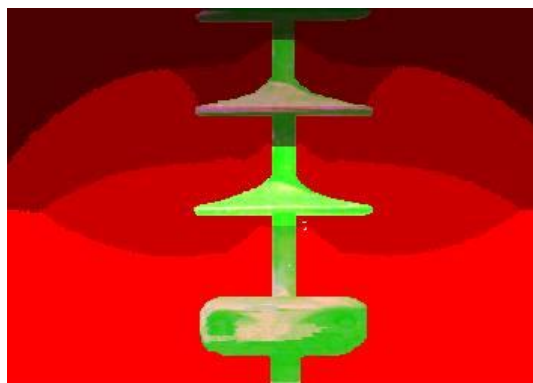


Figura 14: Isolador dividido em regiões com áreas de interesse e fâculas.

Pode ser verificado que mesmo com anel equalizador há descargas, fato que recorre ao tempo em campo do isolador, estando sujeito às diversas intempéries que degradam seu nível de isolamento. O resultado após processamento pela rotina de quantificação é observado na Tabela 3.

Tabela 3. Relação das áreas, das distâncias à ferragem fase-terra e da persistência das fâculas no isolador velho com anel.

Área (mm ²)	Persistência (%)	Distâncias (mm)
0,34	33,33%	5
1,03	33,33%	2
1,03	33,33%	3

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentou-se uma metodologia de estudo no contexto das descargas superficiais e corona em isoladores poliméricos. Para tanto foi desenvolvido um algoritmo computacional baseado em PDI, cuja base de material estudada foi coletada pelo DayCor II, capaz de identificar descargas parciais, eliminar ruídos, quantificar as áreas, as distâncias e as persistências no tempo das fâculas.

Os estudos de caso comprovaram a aplicabilidade do algoritmo em casos distintos e os resultados gerados norteiam a tomada de decisão para avaliar o estado de degradação ou grau de preocupação da ocorrência de descargas parciais em

isoladores poliméricos. Isto pode ser conferido pela divisão do isolador em regiões estruturais e áreas de interesse correlacionadas de forma euclidiana a estas regiões, além da quantificação dada à persistência, área e distâncias das fâculas a ferragem fase.

Levando em consideração a gama de fatores agregados, estudos futuros poderão correlacionar matematicamente as áreas das fâculas, as distâncias em relação à fase-terra e em relação às microrregiões do próprio isolador, e as persistências no tempo. A fim de atingirem-se tais objetivos, serão empregados algoritmos de inteligência artificial. Salienta-se ainda a generalidade de aplicação do algoritmo para estudo em outros tipos de isoladores.

Com relação aos algoritmos empregados, novas funcionalidades podem ser adicionadas tal como um reconhecimento automático de novos padrões de isoladores e a formação de bancos de dados com informações de isoladores já conhecidos, o que viria auxiliar na rotina de inspeção de isoladores em uma linha.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, a CAPES e a COPELE pelo financiamento da pesquisa.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] J. P. Holzhausen. High Voltage Insulators, March 2015. Available from: http://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/electrical_engineering/highvoltage.pdf last accessed: March 23, 2015.
- [2] W. Shenghui, L. Fangcheng, C. Leii, L. Heming: "Study of Polymeric Insulator Based on UV Imaging Method", IEEE 9th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials. July 19-23, 2009, Harbin, China.
- [3] F. H. KREUGER: "Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment". Butterworths, 1989.
- [4] Asima Sabat, S. Karmakar: "Simulation of Partial Discharge in High Voltage Power Equipment", International Journal on Electrical Engineering and Informatics – Volume 3, Number 2, 2011.
- [5] G. Spring, R. C. M. Camara, U. M. Souza, J. G. Freitas: "Integrating remote sensing and GIS by object oriented data modelling", Computers & Graphics, 1996, pp. 395-403.
- [6] A. B. Oliveira Neto, L. N. T. Alves, M. D. Lucena, T. V. Ferreira: "Um algoritmo Baseada em PDI para Localização de Regiões Propícias à Instalação de Usinas Solares", SBSE, 2014.
- [7] T. V. Ferreira: "Estudo do Trilhamento de Núcleo em Isoladores Poliméricos", Dissertação de Mestrado apresentada COPELE-UFCG, Campina Grande, 2007.
- [8] International Standard IEC 60270: "High-Voltage Test Techniques – Partial Discharge Measurements". Third edition, 2000.