

# Monitoramento e Diagnóstico de Isoladores Poliméricos Utilizando Processamento Digital de Imagens de Radiação Infravermelha

Bruno Almeida de Souza

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
(PpgEE/COPELE)

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

58429-900, Campina Grande – PB – Brasil

bruno.souza@ee.ufcg.edu.br

Edson Guedes da Costa, D. Sc.

Departamento de Engenharia Elétrica (DEE)

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

58429-900, Campina Grande – PB - Brasil

edson@dee.ufcg.edu.br

**Resumo** – O objetivo do trabalho é propor uma técnica de classificação do estado de degradação dos isoladores poliméricos que possibilite a indicação do momento mais adequado para realização de manutenções (trocas), consequentemente, contribuir para a redução das interrupções. A técnica se baseia na análise da radiação infravermelha (IF) emitida pelos isoladores ensaiados. Foram utilizados isoladores poliméricos de 230 kV com diferentes níveis de degradação como objetos de teste. As imagens IF obtidas durante os ensaios foram submetidas a técnica de processamento de imagens RGB, de modo a minimizar os ruídos existentes. Uma rede neural para classificação do estado de degradação dos isoladores poliméricos foi proposta. A entrada da rede são as variações de temperaturas no corpo do isolador e temperatura ambiente, obtidas a partir da medição da radiação IF. A saída de rede foi o grau de criticidade do estado de degradação dos isoladores. Os resultados evidenciam a eficiência do processo de medição, de processamento de imagens e de classificação do estado de degradação ou risco de falha.

**Palavras-chave:** Isoladores poliméricos, processamento digital de imagens, radiação infravermelha, rede neural artificial, termovisão.

## I. INTRODUÇÃO

Os isoladores para fins elétricos têm a finalidade de isolar eletricamente um corpo condutor de outro corpo qualquer. Os isoladores estão totalmente associados aos níveis de segurança dos sistemas e a sua confiabilidade, podendo influenciar diretamente nos índices DEC (Duração da Interrupção Equivalente, em horas) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção) [1].

No presente trabalho, foram analisados isoladores poliméricos para linhas de transmissão de 230 kV que foram retirados de linhas de transmissão no sistema da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF). Eles apresentam diferentes níveis de degradação e tempos de utilização.

Várias pesquisas vem sendo realizadas para o estudo de um método eficaz de falha em isoladores poliméricos. A medição da temperatura nos isoladores, com aplicação de névoa limpa, produziu resultados expressivos na maior parte dos casos. A medição da temperatura nos isoladores, com aplicação de névoa limpa, produziu resultados expressivos na maior parte

dos casos. Foram avaliadas técnicas de inspeção para detectar isoladores defeituosos ou na iminência de falhar[2], também foram utilizadas técnicas de processamento de imagens com medições de radiação ultravioleta em três isoladores de classe 72,5 kV, neste sentido dentre eles, um novo e sem defeito, para servir como referência[3].

Desse modo, o presente trabalho pretende desenvolver uma metodologia que permita auxiliar a manutenção de isoladores poliméricos, bem como, utilizando técnicas de processamento de imagens e inteligência artificial propor um sistema para o diagnóstico das condições operacionais dos isoladores presentes no sistema, como forma de antecipação a possíveis falhas ou vislumbre do tempo ótimo para a sua troca. A nova metodologia apresentada no presente trabalho traz uma nova visão para aprimorar as técnicas de inspeção já existentes.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### A. Isoladores Poliméricos

Os isoladores poliméricos para aplicações exteriores se apresentaram comercialmente nos anos 60. Foram vários os casos de aplicações à linhas de transmissão um pouco por todo o mundo [4]. Os isoladores poliméricos gradualmente foram substituindo seus similares de porcelana e vidro nas linhas de transmissão de energia [5]. Desde então, o uso de isoladores poliméricos vem aumentando devido as suas diversas vantagens sobre isoladores de porcelana ou vidro.

#### a) Composição

Os isoladores poliméricos apresentam como elementos básicos o núcleo e fibra de vidro que dá sustentação mecânica ao isolador polimérico, o revestimento polimérico, responsável por revestir o núcleo e impedir que a água entre em contato com as fibras de vidro. As aletas são responsáveis por garantir o escoamento da água, evitando descargas (flashover), e por fim os terminais que podem ser tipo bola, concha ou elo, que são responsáveis por sustentar o isolador a torre de transmissão e ao cabo. Na

Figura 1 tem-se os elementos de um isolador polimérico.

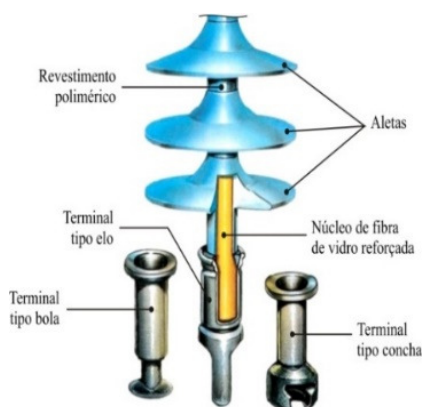


Figura 1 - Elementos de um Isolador Polimérico [6].

### b) Vantagens

Uma das maiores vantagens dos isoladores poliméricos, em relação aos cerâmicos, é a capacidade de manter a sua hidrofobia, mesmo em ambientes poluídos, quando então a hidrofobia é transmitida à camada de poluentes depositados na superfície do isolador. Hidrofobia é a propriedade que permite a superfície do material repelir a água, evitando a formação de uma película de água [7].

Na Figura 2 são exibidas amostras de silicone nos vários estados evolutivos da sua hidrofobia, obtidos pela degradação do silicone com o passar do tempo. A formação de pequenas bolhas na superfície do material, indica uma boa hidrofobicidade por outro lado a molhabilidade completa da amostra indica a perda ou a não presença de hidrofobicidade [7].

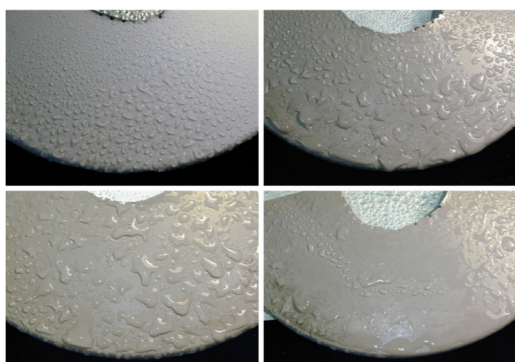


Figura 2 - Fotografia de saias de Isolador polimérico e os vários níveis de envelhecimento da superfície hidrofóbica [7].

Outras vantagens dos isoladores poliméricos são: excelente desempenho sob condição de poluição; corrente de fuga menor quando se compra com os isoladores cerâmicos; redução no número de descargas superficiais (flashover) [8]; resistência ao vandalismo, pois não apresenta uma pequena mudança física ao ser atingido por projéteis o que desencoraja os vândalos; peso 90% menor quando comparados com os isoladores cerâmicos, por conta do seu peso reduzido apresenta maior facilidade de manuseio e instalação [4].

### c) Desvantagens

Quando comparados com isoladores de vidro temperados, os isoladores poliméricos aparentemente, não apresentam indícios de falhas. Deste modo, a inspeção visual no isolador muitas vezes não é suficiente para detectar as falhas internas. Os isoladores poliméricos estão sujeitos a alterações químicas em seu revestimento devido às condições ambientais ou à formação de arcos voltaicos em sua superfície, de forma a perderem ou reduzem a sua hidrofobia [9].

### B. Termovisor

Termovisores são equipamentos construídos para fazer leitura da energia irradiada no espectro infravermelho. Em outras palavras, são equipamentos capazes de ver o calor irradiado por qualquer corpo. Funcionam como câmeras fotográficas, mas seus sensores são ajustados para outro comprimento de onda.

As câmeras modernas para inspeção infravermelha tendem para configurações de baixo custo utilizando matriz de plano focal (FPA) de detectores térmicos não resfriados, sem obturador mecânico sendo deste modo mais leves e compactas. O princípio básico de um termovisor de banda espectral é filtrar e medir com um detector de sinal a radiação provida de um objeto e enviar o sinal medido para um processador [10].

São indicados quando é necessária a medição em ambientes hostis. Isto por que uma de suas principais características é conseguir fazer a medição térmica sem a necessidade de contato físico.

Dentre as condições hostis em que seu uso é recomendado, podemos citar: Partes móveis ou muito quentes; locais de difícil acesso; máquinas ou sistemas onde não é possível desligar para fazer a medição; redes de alta tensão ou onde há risco de vida.

Como desvantagem da utilização da termovisão é que a imagem gerada não seleciona apenas o objeto a ser inspecionado, mas sim toda a área de captura da câmera. Outra forma de erro é interpretação errada pelo ser humano das imagens geradas, desta forma um processamento digital de imagens para separar apenas o objeto desejado torna-se relevante na inspeção de isolador evitando que outros objetos possam induzir a erros de interpretação dos termogramas.

### C. Processamento digital de imagens

Por Processamento Digital de Imagens (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 processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos [11].

É uma técnica muito utilizada no sensoriamento remoto, na classificação de cobertura do solo e em várias áreas da Engenharia Elétrica, o processamento digital é um estágio preparatório, da atividade de interpretação das imagens de sensoriamento remoto. Quando as imagens captadas a

ferramentas de apoio a decisão como redes neurais, o PDI reduz a influência de erros de classificação.

### III. MATERIAL E MÉTODOS

#### A. Material

Os objetos de teste a serem utilizados nos experimentos são isoladores poliméricos com revestimento de borracha de silicone para linhas de transmissão de 230 kV. Os isoladores foram fornecidos pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) e apresentam diferentes estados de degradação. Os isoladores são exibidos na Figura 3.

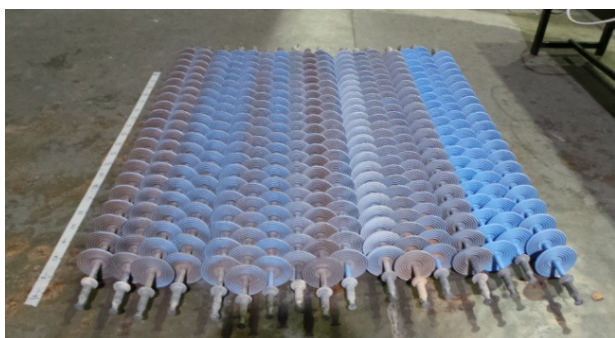


Figura 3 - Fotografia do lote de 17 isoladores, dos quais serão escolhidos oito para os ensaios.

Os isoladores possuem comprimento total entre pontas de 2400 mm, 21 aletas, peso 8,8 kg, terminal tipo elo/bola e carga mecânica suportável de 222 kN. Na Figura 4 é exibida a representação gráfica do isolador utilizado no experimento. A recomendação é que os isoladores devam ser instalados com anel equalizador com 158 mm de diâmetro.

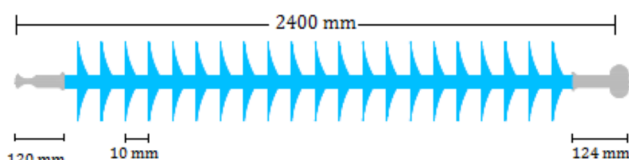


Figura 4 - Representação gráfica do isolador de 230 kV a ser utilizado nos ensaios, juntamente com suas dimensões [7].

#### B. Métodos

Na Figura 5 é apresentado uma fluxograma com as etapas necessárias à classificação do grau de degradação dos isoladores poliméricos, utilizando-se a medição do nível de radiação infravermelha. Para tanto um termovisor da marca FLIR modelo T300 foi utilizado. As suas principais características são peso incluindo bateria 0,88 kg, resolução IR de 320x240 pixels e variações de medição de temperatura: de -20°C a +120°C ou de 0°C a 350°C.

##### a) Classificação dos Isoladores

Os isoladores utilizados no experimento foram cedidos pela CHESF e apresentavam condições operativas ou de envelhecimento diferentes e por conseguinte, foi imprescindível uma classificação. A classificação foi feita a

partir de uma análise dos aspectos físicos do isolador. Os isoladores foram enumerados e uma inspeção visual minuciosa realizada em cada equipamento separadamente, de modo a identificar e registrar os danos/defeitos existentes.

Na inspeção foram avaliados os aspectos físicos do isolador, tais como: exposição do núcleo, nível de poluição, estado de degradação das ferragens, estado de degradação das saia, nível de erosão e estado de degradação do selo. A estes aspectos serão atribuídos valores em uma escala de 1 a 5, na qual o valor 1 será atribuído quando o aspecto físico avaliado for considerado praticamente como novo e 5 quando o aspecto físico for crítico.

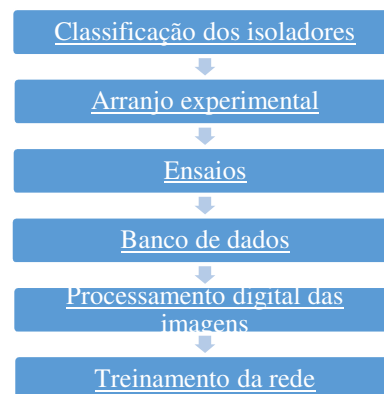


Figura 5 – Fluxograma do método utilizado no experimento.

Deste modo, a cada aspecto físico avaliado será atribuído um peso correspondente a sua importância para a falha do isolador, pois cada um dos aspectos possui diferentes contribuições. Portanto, utilizou-se de forma repetida, um grau de degradação de 1 a 5, na qual o valor 1 será atribuído ao item avaliado com menor importância para a falha do isolador polimérico e 5 ao item com maior importância. Os pesos atribuídos podem ser observados na Tabela 1.

TABELA 1-PESOS ATRIBUÍDOS AOS ASPECTOS FÍSICOS AVALIADOS NOS ISOLADORES POLIMÉRICOS.

| Fator Avaliado                   | Peso do Fator |
|----------------------------------|---------------|
| Nível de exposição do núcleo     | 5             |
| Nível de erosão do isolador      | 4             |
| Nível de poluição                | 3             |
| Estado de corrosão dos terminais | 1             |
| Estado de degradação das aletas  | 2             |
| Estado de degradação do selo     | 4             |

A avaliação foi feita pelos engenheiros membros da equipe que participam de pesquisas com isoladores. Para cada anormalidade foi atribuído o peso no entendimento do avaliador.

Os isoladores foram, então, classificados e agrupados, quanto à criticidade, em três níveis ou estados de degradação: (1) Isoladores em bom estado, (2) apresentando condições operacionais de desgaste médio para o sistema, (3) apresentando condições operacionais críticas para o sistema.

### b) Arranjo experimental

Os ensaios foram realizados nas dependências do Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Durante os ensaios, foi utilizado um transformador de alta tensão de 600 kV / 600 kVA.

Os efeitos de campo elétrico provocado pelo condutor fase foram emulados por um tubo metálico com 4 cm de diâmetro e 3 m de comprimento. Nas extremidades do tubo foram conectadas esféricas metálicas ocas com 15 cm de diâmetro. A conexão do divisor capacitivo ao isolador foi feita com um tubo metálico flexível com 10 cm de diâmetro. Estas providências são suficientes para minimizar a ocorrência de descargas corona. Na Figura 6 tem-se a fotografia do arranjo experimental.



Figura 6- Fotografia do arranjo experimental.

Com o intuito da análise completa da superfície externa do isolador, três plataformas móveis de observação foram instaladas ao redor do isolador de modo a permitir uma varredura de 360°. E para se analisar o efeito da distância de observação, as plataformas foram dispostas às distâncias de 5; 7,5 e 10 metros do isolador. Na Figura 7 tem-se a vista de cima da disposição do isolador e os pontos de medições.

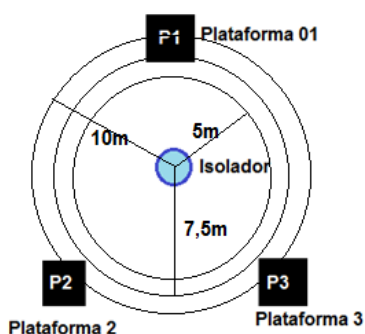


Figura 7 - Formato da distribuição das plataformas separadas 120° de forma que se consiga ter uma visão completa em torno do isolador.

### c) Ensaios

Ao finalizar a montagem do experimento, foram iniciados os ensaios na tensão nominal de operação (fase-terra), ou seja, aproximadamente 133 kV, de modo que se consiga simular uma situação próxima ao campo. Após a energização do isolador polimérico foi necessário um período de duas horas até que se iniciem as medições por termografia. Este é o tempo necessário para que o isolador alcance um equilíbrio térmico.

Antes de cada medição foi configurado o termovisor com a emissividade, distância do termovisor ao isolador, temperatura

refletida do objeto, temperatura ambiente e umidade. Utilizando o termovisor foram capturadas 142 imagens de oito isoladores, duas imagens de cada ponto de medição, posteriormente estas imagens foram agrupadas e colocadas em um banco de dados.

### d) Banco de dados

Um banco de dados foi criado de forma a agrupar as imagens dos isoladores, separando as imagens por lado de medição, distância de medição e sequência de captura da imagem.

### e) Processamento digital das imagens

Com as imagens agrupadas no banco de dados foi utilizado o software FLIR QuickReport Versão 1.2 para analisar os dados capturados. O software transforma a imagem térmica em uma matriz  $A_{ij}$ , onde  $i=240$  e  $j=320$ . Essa matriz contempla toda a imagem térmica, ou seja, além do objeto em estudo a imagem também captura possíveis reflexos de objetos, ruídos de fundos, objetos do laboratório e lâmpadas acesas.

Deste modo, foi necessária uma técnica de processamento de imagens, para que seja quantificado somente a radiação infravermelha do isolador polimérico, o tratamento da imagem possibilitará eliminar os ruídos da imagem e transformar a matriz  $A_{240 \times 320}$ , em uma matriz coluna. Para o processamento da imagem foi utilizada a técnica RGB. Na Figura 8 tem-se a imagem capturada no software do fabricante do termovisor.

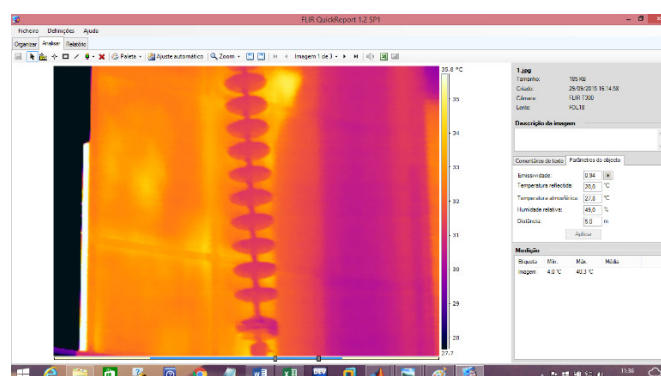


Figura 8 - Imagem capturada no software FLIR QuickReport, geração da matriz de pontos de temperatura.

Dois pontos foram escolhidos para se fazer cortes verticais e horizontais no isolador de modo a eliminar a maior parte dos ruídos da imagem. Na Figura 9 a) é exibido o isolador após os cortes.

Em seguida são escolhidos quatro pontos, onde é feita uma média referente às cores escolhidas e suas proximidades. Essas cores são retiradas da imagem, permitindo a eliminação das cores de fundo próximas ao isolador. Neste processo, alguma informação de temperatura do isolador pode ser perdida. Para minimizar erros, deve-se atentar para não clicar nos tons que representam as temperaturas mais altas e mais baixas do isolador. Como exemplo, na Figura 9 b) mostra-se uma imagem com os quatro pontos escolhidos.

Na Figura 9 c) é exibida a imagem do isolador após o PDI. A imagem agora permite a seleção de uma coluna com os valores de temperatura ao longo do isolador. Uma nova

seleção foi feita, onde são escolhidos os valores dos dez menores valores de temperatura e dos dez maiores. O vetor obtido será utilizado como dados de entrada da rede neural.

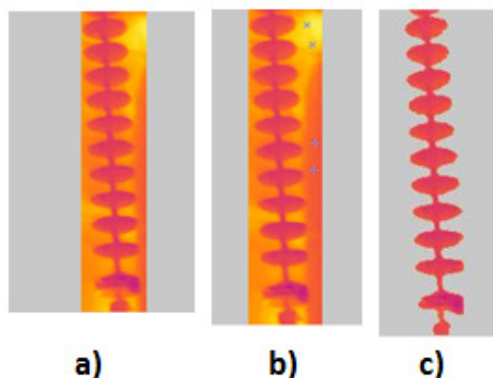


Figura 9 – a) Imagem após o primeiro processamento, com os cortes horizontais e verticais. b) Escolha dos quatro pontos na imagem para eliminar os ruídos da imagem. c) Imagem após o processamento digital.

#### f) Treinamento da rede

Com o intuito de reduzir a subjetividade do processo após o processamento da imagem foi desenvolvida no Toolbox do Matlab uma rede neural tipo supervisionada para classificação dos isoladores.

Para entrada da rede neural foram processadas 142 imagens, destas imagens 100 foram utilizadas para treinamento, 21 para validação dos dados de entrada e 21 para teste de performance da RNA. A classificação do estado de criticidade do isolador foi o parâmetro de saída da rede, foram consideradas três possíveis saídas: (1) isolador bom, (2) isolador médio, (3) isolador crítico.

Para classificar o estado de criticidade do isolador foi utilizado os Critérios de avaliação NETA MTS [12]. Na Tabela 2, tem-se os critérios de classificação dos isoladores. Desta forma o estado de criticidade do isolador foi considerado Bom quando, ao longo do corpo de isolador, as diferenças de temperaturas são menores que 4°C. O estado de criticidade do isolador foi considerado Médio quando, ao longo do corpo de isolador, as maiores diferenças de temperaturas ocorreram entre 4°C a 15°C. O estado de criticidade do isolador foi considerado Crítico quando, ao longo do corpo de isolador, ocorreram diferenças de temperaturas superiores a 16°C.

O outro parâmetro de entrada da rede neural foram as diferenças de temperaturas do equipamento com relação ao meio ambiente. Para este caso diferenças de temperaturas de até 4°C, o isolador é considerado Bom. Para diferenças de temperaturas entre 4°C a 20°C, o isolador é considerado Médio. Para diferenças acima de 20°C entre isolador e meio ambiente o isolador é considerado Crítico.

TABELA 2 – PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO DOS ISOLADORES POLIMÉRICOS.

| Temperatura                                  | Critério de criticidade |            |         |
|----------------------------------------------|-------------------------|------------|---------|
|                                              | Bom                     | Médio      | Crítico |
| Diferença de temperatura no isolador         | <4°C                    | 4°C a 15°C | >15°C   |
| Diferença de temperatura isolador - ambiente | <4°C                    | 4°C a 20°C | >20°C   |

## IV. RESULTADOS E ANÁLISES

A análise da criticidade dos isoladores, pela inspeção visual foi feita em 17 isoladores, conforme foi descrito no subitem Classificação de Isoladores do item Métodos. Para esta pesquisa foram escolhidos oito dentre os 17 isoladores. Na Tabela 3, tem-se o resultado da classificação por inspeção visual dos isoladores.

TABELA 3 – CLASSIFICAÇÃO VISUAL DOS ISOLADORES.

| Isolador    | Índice de degradação do isolador (IDI) | Estado do isolador |
|-------------|----------------------------------------|--------------------|
| Isolador1   | 0                                      | Bom                |
| Isolador 3  | 0                                      | Bom                |
| Isolador 7  | 3,7                                    | Médio              |
| Isolador 8  | 3,8                                    | Médio              |
| Isolador 16 | 3,8                                    | Médio              |
| Isolador 5  | 5,4                                    | Crítico            |
| Isolador 11 | 8,1                                    | Crítico            |
| Isolador 10 | 8,3                                    | Crítico            |

Quando se analisa as temperaturas dos isoladores em relação ao ângulo de observação, constatou-se que os níveis de temperaturas apresentam valores distintos, isto é, houve variações significativas das temperaturas máximas e mínimas nos isoladores quando as imagens foram feitas em ângulos diferentes. Pela constatação conclui-se que é imprescindível a medição da temperatura em toda a superfície externa do isolador.

Para as distâncias de medições escolhidas 5; 7,5 e 10 m, não foram constatadas variações significativas de temperaturas no isolador. Há de ser considerar que as distâncias e suas variações utilizadas em laboratório podem ser pequenas.

As análises de classificação foram feitas se baseando nos dois parâmetros de entrada da rede neural. Assim, por uma questão de conservadorismo, a classificação final se baseia no critério mais severo ou crítico.

Das 142 imagens analisadas pela rede neural, tem-se 71 ou 50% das imagens indicando o grau de criticidade: Isolador Bom; 53 ou 37,3% das imagens indicando o grau de criticidade: Isolador Médio; e 18 ou 12,7% das imagens indicando o grau de criticidade: Isolador Crítico. O grau de criticidade Isolador Crítico recomenda a troca ou substituição do isoladores com urgência.

Após o processamento das imagens e classificação da rede neural tem-se que os isoladores objeto da pesquisa foram classificados de acordo com Tabela 4. A rede neural acertou em 100% a classificação dos isoladores nos três parâmetros, quando foram observados os critérios da temperatura com saída da rede neural. Após comparar os resultados da inspeção visual e do uso da ferramenta PDI e RNA foram observadas diferenças de classificação de cinco dos oito isoladores do experimento, conforme pode ser visto na Tabela 4.

TABELA 4 – CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE CRITICIDADE DOS ISOLADORES POR INSPEÇÃO VISUAL APÓS UTILIZAR PDI E RNA.

| Isolador    | Inspecção visual | Utilizando PDI e RNA | Acerto |
|-------------|------------------|----------------------|--------|
| Isolador3   | Bom              | Bom                  | Sim    |
| Isolador 7  | Médio            | Bom                  | Não    |
| Isolador 16 | Médio            | Bom                  | Não    |
| Isolador 1  | Bom              | Médio                | Não    |
| Isolador 5  | Crítico          | Médio                | Não    |
| Isolador 8  | Médio            | Médio                | Sim    |
| Isolador 11 | Crítico          | Médio                | Não    |
| Isolador 10 | Crítico          | Crítico              | Sim    |

As análises apresentadas aqui são exclusivamente pela utilização do critério temperatura. Outros métodos também são necessários para proporcionar a análise global dos fenômenos que podem ocorrer nos isoladores.

Analisando-se pontualmente os isoladores, pode-se observar que: O isolador 1 foi classificado como Bom pela inspeção visual e Médio pelo uso de PDI e RNA. A medição de temperatura indicou que o isolador apresentou temperatura em seu corpo entre 4°C a 15°C. Portanto o isolador não pode ser classificado como Bom.

O isolador 7 e 16, apesar de ter pequenas falhas nas suas saias, as falhas não provocam aumento de temperatura, portanto o isolador foi classificado como bom, pelo critério da temperatura.

Os isoladores 5 e 11 foram classificados como Médio pelo critério de temperatura, mas pela inspeção visual tiveram a classificação Crítico. Uma nova inspeção visual foi realizada e constatou que os isoladores apresentavam defeitos físicos externos mais severos, tais como saias danificadas e ferrugem nas suas ferragens. Contudo, os defeitos não foram suficientes para proporcionar a elevação mais acentuada da temperatura. A aplicação complementar de outras técnicas podem identificar/classificar o isolador como Crítico.

A partir das análises foi observado que uma classificação levando-se em conta apenas a inspeção visual é insuficiente, além de aumentar os custos de manutenção não existe confiabilidade dos resultados, deste modo a inspeção visual pode conduzir a falso negativo ou falso positivo, com a indicação da permanência de isoladores na linha classificados como Crítico, pondo em risco a confiabilidade do sistema elétrico, pois não recomenda a realização da manutenção de equipamento defeituoso.

## V. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram analisados isoladores poliméricos para linhas de transmissão de 230 kV, com diferentes níveis de degradações e tempos de utilização que foram retirados de campo, com uma câmera de detecção de radiação infra vermelho (IF). As imagens captadas pela câmera de detecção de radiação IF foram processadas, de modo a eliminar os ruídos das imagens e utilizada uma rede neural para classificar os isoladores pelo seu grau de criticidade: Isolador bom, Isolador médio e Isolador crítico. O sistema tinha como objetivo o auxílio à tomada de decisões quanto à necessidade de intervenção ou não aos isoladores poliméricos.

Pelos resultados pode-se concluir que a inspeção visual é ineficiente na classificação dos isoladores poliméricos de forma confiável. Métodos com maior grau de confiabilidade,

tais como o proposto neste trabalho são necessários, contudo não suficientes.

A técnica de processamento de imagem utilizando RGB, se mostrou muito eficaz no tratamento das imagens e eliminação dos ruídos existentes nas imagens, proporcionando uma menor subjetividade no processo.

Pelos resultados, conclui-se que existe a necessidade de medições de temperatura por radiação IF em toda área superficial do isolador, ângulos diferentes.

As distâncias de medições, entre o termovisor e o isolador, neste experimento, não afetaram os valores da temperatura medidos. Vale salientar que as variações foram pequenas.

O modelo desenvolvido neste trabalho para a classificação do nível de degradação dos isoladores usando processamento digital de imagens e rede neurais artificiais apresentou resultados promissores, em conformidade com os resultados obtidos nos ensaios. Assim, esta ferramenta se apresenta como uma das técnicas eficientes no auxílio à tomada de decisões quanto à necessidade de intervenção ou não aos isoladores. Enfatiza-se que isoladamente a técnica não é suficiente para o diagnóstico de isoladores, contudo é essencial.

## REFERÊNCIAS

- [1] NIGRI, A. I. **Desempenho de Linhas de Transmissão. Ponto de Vista da Manutenção.** XV SNPTEE– Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu, PR, 1999.
- [2] NERI, M. G. G. **Avaliação de Técnicas de Monitoramento de Isoladores Poliméricos.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.
- [3] BARROS, W. P. P. **Análise do Efeito Corona para Diagnóstico de Isoladores Poliméricos.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2011.
- [4] QUEIRÓS, J. P. M. **Análise comparativa do comportamento dielétrico dos isoladores compósitos com isoladores em materiais convencionais.** Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2013.
- [5] GONZALES, E.G.C. et al; **Propriedades dielétricas de composições de silicone para uso em isoladores de Linhas de Transmissão.** In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2001. Grupo III Linhas de Transmissão, GLT 009. Campinas: XVI SNPTEE, 2001.
- [6] RODURFLEX. The history of RODURFLEX® – quite a long story covering more than 3 decades. Disponível na internet via URL: [www.lappinsulator.com/downloadcenter/catalogs.asp](http://www.lappinsulator.com/downloadcenter/catalogs.asp). Arquivo capturado em Junho de 2014.
- [7] YOUNG, H. M., SPELLMAN, C. A., HADDAD, A., WILLIAMS, D. L. **Quantification of polymeric insulator hydrophobicity using image processing techniques.** 12th International Symposium on High Voltage Engineering, (ISH' 2001).
- [8] FERREIRA, T. V. **Estudo do Trilhamento de Núcleo em Isoladores Poliméricos.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2007.
- [9] KIM, S. H., CHERNEY, E.A. & HACKAM, R., **Effects of Filler Level in RTV Silicone Rubber Coatings Used in HV Insulators,** IEEE Transactions on Electrical Insulation, v.27, n.6, p.1065 - 1072, december 1992.
- [10] MANUAL DE TERMOGRAFIA INFRARED TRAINING CENTER, 2010.
- [11] SPRING: **Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling.** Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J. Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.
- [12] Critérios de avaliação NETA MTS ( apud EPPERLY at al, 1999, p. 34).