

Capítulo III: Uma abordagem para manutenção preditiva em equipamentos de rede de distribuição por meio de imagens termográficas e lógica *fuzzy*

Alexandre da Silva ¹

Fabício Augusto de Souza²

Hugo Cezar Araujo Lozano ³

Renato Kazuo Miyamoto ⁴

Vicente de Lima Gongora⁵

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia de manutenção preditiva em equipamentos de rede de distribuição elétrica através de imagens termográficas e análise utilizando Lógica Fuzzy. A partir do registro da imagem termográfica são extraídas informações de temperatura, verificando as variações de entre o elemento analisado e o elemento de referência sob as mesmas condições de ambiente. Conforme análise da diferença de temperatura entre os componentes e a temperatura máxima medida é adotado um tipo manutenção para correção da anomalia, evitando uma falha indesejada. O presente estudo tem como finalidade propor uma técnica inteligente de análise termográfica na identificação e classificação de anomalias na inspeção de redes elétricas de distribuição utilizando a Lógica Fuzzy.

Palavras-chave: Termografia; Manutenção; Conectores; Temperatura; Fuzzy.

An approach for predictive maintenance in distribution network equipment through thermographic images and fuzzy logic

ABSTRACT

This work presents a predictive maintenance methodology in electrical distribution grid equipment through thermographic images and analysis using Fuzzy Logic. From the thermographic image record, temperature information is extracted, verifying the variations between the analyzed element and the reference element under the same environmental conditions. According to the analysis of the temperature difference between the components and the maximum temperature measured, a maintenance type is adopted to correct the anomaly, avoiding an unwanted failure. The present study aims to propose an intelligent technique of thermographic analysis in the identification and classification of anomalies in the inspection of electrical distribution networks using Fuzzy Logic.

Keywords: Thermography; Maintenance; Connectors; Temperature; Fuzzy.

¹ Especialista em Sistemas Elétricos, ² Mestre em Engenharia Elétrica, ³ Especialista em Automação e Controle de Processos Industriais, ⁴ Doutor em Engenharia Elétrica, ⁵ Doutor em Engenharia Elétrica.

1. INTRODUÇÃO

Manutenção preditiva significa atuar com técnicas específicas, sobre parâmetros de condição e desempenho, com a finalidade de permitir o maior tempo possível de operação do equipamento, antes que falhe, proporcionando aumento de produção e de faturamento (WANG et. al, 2021; ALBUQUERQUE, 2011). Assim, a manutenção preditiva é aquela executada antes da falha, face ao conhecimento das condições operacionais, determinadas pelo monitoramento contínuo. Seu objetivo principal é determinar o momento mais adequado da necessidade da intervenção, permitindo entre outros aspectos, evitar-se desmontagens desnecessárias para inspeção e utilizar-se os componentes ao máximo em sua vida (OLIVEIRA, 2010).

A termografia é uma ferramenta que se destaca em rotinas de manutenção preditiva, sendo empregada na atividade industrial em geral, incluindo os setores de geração, transmissão e distribuição de energia. Ainda, observa-se que os avanços tecnológicos têm permitido a chegada ao mercado de equipamentos termógrafos com melhoria nos recursos e custos acessíveis, permitindo uma ampliação das perspectivas de seu emprego no âmbito da manutenção preditiva (ZANG et al., 2021; RIBEIRO, 2010).

Nas redes de distribuição, a temperatura e a corrente elétrica são variáveis mensuradas durante as inspeções em campo, acompanhadas através de devidas análises. Posteriormente, são implantadas as ações de manutenção corretiva, contribuindo para ganhos energéticos e oportunidades de redução de custos. No entanto, as paradas para a manutenção corretiva geram gargalos nos alimentadores e em alguns casos, a interrupção de fornecimento de energia elétrica para o consumidor (ALBUQUERQUE, 2011).

Desse modo, a proposta desse trabalho fundamenta-se em apresentar uma nova visão de avaliação quanto a definição de estratégias de manutenção preditiva utilizando termografia. Através de cálculos unitários, sobre valores medidos com o apoio da técnica termográfica, uma análise é realizada utilizando lógica Fuzzy, buscando ganhos energéticos e identificação e classificação de anomalias na rede elétrica do sistema de distribuição.

2. TERMOGRAFIA

A termografia, nos aspectos que se referem ao calor incidente sobre o equipamento termográfico, toma por base os fenômenos da emissão e da propagação da energia fotônica radiante, correspondente à faixa infravermelha (IV) do espectro eletromagnético (da ordem de 0,8 a 1000 μm), naturalmente emitida pelos corpos, e o processo de sua detecção. No processo termográfico, após se propagar, esta energia radiante é detectada por dispositivo transdutor (fotocondutivo, fotovoltaico ou térmico), sensível a comprimentos de onda nessa faixa: o detector de IV. Sinal elétrico é gerado por este dispositivo (em decorrência da radiação incidente), sendo em seguida eletronicamente processado para a obtenção das imagens térmicas ou os registros digitais de temperatura (ZANG et al., 2021).

A compreensão do processo da emissão de calor pelos corpos, parte do princípio de que, todo corpo, com temperatura acima do zero absoluto ($0\text{ K} = -273\text{ }^\circ\text{C}$), emite naturalmente energia fotônica a partir de sua superfície. O valor da energia do fóton emitido é função inversa do comprimento de onda (e direta da frequência) da radiação eletromagnética correspondente. Os fenômenos quânticos que se dão no processo de detecção de IV pelo termógrafo levam em conta tais relações. A temperatura em K da superfície emissora guarda, por sua vez, relação direta com o comprimento de onda de máxima emissão (Radiância espectral máxima ou emitância radiante espectral máxima) da mesma. A lei do deslocamento de Wien para um corpo negro (emissor de máxima emitância) estabelece esta relação (OLIVEIRA, 2010).

Esta lei exprime quantitativamente o fato de que a radiância espectral máxima se dá em comprimentos de onda progressivamente mais curtos à medida que a temperatura aumenta. Ressalte-se ainda que a energia total (energia emitida em todo o espectro) radiada por segundo, por unidade de área (radiância ou emitância radiante total), para um corpo negro. Para complementar o entendimento dos parâmetros envolvidos no processo das análises termográficas, é importante também definir-se (WANG et. al, 2021):

- Temperatura do objeto emissor: parâmetro que mede indiretamente a energia cinética média dos átomos e moléculas. Sempre que existir gradiente de temperatura no interior de um sistema, haverá transferência de energia no sentido das mais altas para as mais baixas temperaturas.

- Emissividade do objeto emissor: é um índice relativo à energia radiada de um objeto; para uma dada temperatura, é definida pela relação entre a emitância radiante do corpo considerado e a emitância radiante do corpo negro. O valor da emissividade é função direta da natureza do material, em sua superfície, e da sua temperatura.

Na formação da imagem térmica dos objetos em estudo, estão presentes os comprimentos de onda relativos ao espectro IV emitido, correspondentes às temperaturas e energias térmicas emitidas por cada uma das partes e pontos do objeto. A Figura 1 apresenta a imagem térmica com a respectiva imagem do equipamento.

Figura 1 - Imagem Elemento Capacitor – SE Bandeirantes (Copel)



Fonte: acervo do autor.

A Termografia cumpre um papel importante na manutenção preditiva. Seu emprego permite tipicamente identificar e eliminar problemas de contatos e isolamento, permitindo evitar falhas elétricas. Falhas mecânicas e processos de fadiga de materiais também podem ser avaliados. Com intuito de prevenir a partir de monitoração, a inspeção termográfica se torna indispensável para qualquer empresa que tenha por objetivo manter o bom funcionamento de seus equipamentos e por consequência diminuir custos, otimizar emprego de mão de obra e materiais, bem como melhorar a segurança no trabalho (ALBUQUERQUE, 2011).

Duas importantes e essenciais vantagens podem ser apontadas ao se pensar em termografia na manutenção (ZANG et al., 2021):

- Redução do tempo e dos custos das desmontagens, reparações e montagens de componentes, particularmente útil em situações em que o cerne do problema nem sempre é de fácil estabelecimento. A inspeção termográfica permite, entretanto, identificá-lo de forma precisa e proceder à reparação agindo somente no componente afetado.
- Permitir que problemas graves, que possam estar em processo iminente de produzir falha, sejam facilmente identificados, havendo tempo para a sua reparação antes de maiores efeitos danosos (aspecto especificamente preditivo). Na realidade, na maioria dos casos, é possível identificar o problema muito antes de vir a se tornar crítico. Dependendo da temperatura, a decisão de reparação pode ser tomada com suficiente antecedência e bom planejamento.

3. METODOLOGIA

O estudo foi executado nos pontos tipicamente sensíveis nas partes das subestações de distribuição de energia elétrica e aspectos básicos para avaliação de suas condições operacionais via inspeção termográfica. Atualmente a verificação é realizada conforme variação de temperatura entre o elemento em funcionamento e o elemento com temperatura elevada, também chamado delta T (ΔT). Seguindo os critérios para definição das intervenções conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Planejamento de inspeções e manutenção termográficas nos pontos quentes

Equipamento	Elementos a inspecionar	Sem manutenção	Tipo de manutenção		
			Normal	Urgente	Emergência
Conectores		0 a 10°C	10 a 30°C	30 a 55°C	> 55°C
Chaves	Lâminas	0 a 10°C	10 a 35°C	35 a 70°C	> 70°C
	Cordoalhas	0 a 10°C	10 a 25°C	25 a 50°C	> 50°C
	Corpo das buchas	0 a 8°C	8 a 15°C	15 a 30°C	> 30°C

Trafo de força	Tap das buchas	0 a 8°C	8 a 15°C	15 a 30°C	> 30°C
	Radiadores	0 a 6°C	6 a 10°C	10 a 15°C	> 15°C
	Painel de fiação	0 a 8°C	8 a 15°C	15 a 30°C	> 30°C
	Ventiladores	0 a 8°C	8 a 15°C	15 a 30°C	> 30°C
TP e TC	Cabeçote	0 a 8°C	8 a 15°C	15 a 30°C	> 30°C
	Base tanque	0 a 8°C	8 a 15°C	15 a 30°C	> 30°C
Para raio	Coluna isolante	0 a 3°C	3 a 5°C	5 a 8°C	> 8°C
Cabos mufla	Corpo dos terminais	0 a 5°C	5 a 8°C	8 a 12°C	> 12°C
	Cabos mufla	0 a 8°C	8 a 15°C	15 a 30°C	> 30°C
Capacitores	Tanque capacitor	0 a 5°C	5 a 8°C	8 a 12°C	> 12°C

Condutores poderão ser inicialmente verificados por inspeção visual em toda extensão do cabo, quanto à existência de rompimento para, em seguida, identificar com a termografia, existência de algum aquecimento por resistência à passagem da corrente elétrica alterada. Também é necessária verificação das condições das emendas (ZANG et al., 2021).

Em transformadores verificam-se todas as conexões pertinentes nas interligações entre para-raios, chaves fusíveis, estribos, terminais de buchas do secundário e primário e conexão com a rede principal de distribuição de baixa tensão. Aquecimentos excessivos poderão ser identificados nas conexões internas das bobinas, nas buchas, bem como os decorrentes de nível de óleo refrigerante baixo, de sobrecargas e outros (ALBUQUERQUE, 2011).

Na avaliação em religadores, reguladores e banco de capacitores, devem-se verificar todos os pontos de conexão e interligação dos equipamentos com a rede principal de distribuição de média tensão. Aquecimentos excessivos internos poderão ser identificados nas garras das conexões internas do sistema mecânico de fechamento e abertura dos equipamentos (WANG et. al, 2021).

Os isoladores, para-raios, chaves fusíveis e chaves seccionadoras em geral são dispositivos compostos de contatos ou mecanismos de fechamento e abertura, que sob carga e tensão apresentam uma sensibilidade maior ao aquecimento caso não sejam adequadamente apertados e acomodados em suas posições. Deverá ser verificada numa inspeção termográfica a presença ou não de aquecimento excessivo pela passagem de corrente à terra devido à presença de trincas, lascas, rachaduras, chamuscados e desgaste em geral nas porcelanas ou camadas poliméricas (OLIVEIRA, 2010).

As conexões que ligam os condutores aos equipamentos, muitas vezes não lembradas, porém são de vital importância ao funcionamento correto do sistema elétrico. Quando seu desempenho não é satisfatório acarretam problemas na transmissão e distribuição de energia elétrica. Em virtude disto fazer uma inspeção termográfica nestes elementos é prioritário ao sistema (RIBEIRO, 2010).

Deve-se verificar as conexões mais utilizadas em rede aérea de distribuição: conector tipo cunha; conector terminal de parafuso; conector de auto perfuração para cabos isolantes; conector de parafuso, entre outros.

A proposta deste trabalho é de que a classificação de intervenções que atualmente é realizada conforme os dados da Tabela 1, considerando apenas ΔT , seja classificada utilizando também a informação da máxima temperatura admissível (MTA) para cada elemento. A MTA dos conectores de alta tensão utilizados nas redes de distribuição e subestações pode ser observado na Tabela 2, em que também estão a MTA de outros equipamentos.

Tabela 2 – Máxima temperatura admissível.

Componente	MTA °C
Fios encapados (dependendo da classe de isolamento)	70 a 110
Régua de bornes	70
Conectores de alta tensão (>500V)	90
Cabos isolados 15kV	70
Conexões mediante parafuso	90
Conexões e barramentos de baixa tensão	90
Conexões de linhas de transmissão aérea	70

Conexões recobertas de prata ou níquel	90
Fusíveis (corpo)	100
Transformadores a óleo, ponto mais quente (núcleo)	80
Transformadores a óleo (óleo)	65
Transformadores Secos classe de isolamento 105	65
Transformadores Secos classe de isolamento 130	90
Transformadores Secos classe de isolamento 155	115
Transformadores Secos classe de isolamento 180	140

4. APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY

Existem duas maneiras de fazer a medição de temperatura na termografia, como pode observado na sessão anterior. O primeiro é “quantitativo”, que terá o valor exato de temperatura dos objetos, também chamado de MTA. Este método não é geralmente verificado durante a inspeção térmica já que a precisão desses valores é frequentemente afetada por fatores ambientais, tais como a temperatura do ambiente atual, umidade e emissividade (NBR 5462, 1994).

O segundo tipo é “qualitativa”. Nesta análise ao invés de usar apenas o valor da temperatura do cabo para se fazer o diagnóstico é utilizado a diferença entre o valor de temperatura do cabo, a MTA, e o valor de temperatura de outras partes do equipamento/estrutura com condições semelhantes, temperatura de referência, de acordo com a equação (1) (WANG et. al, 2021).

$$\Delta T = MTA - T_{ref} \quad (1)$$

Na proposta é que seja utilizado os dois métodos de medida através da Lógica Fuzzy para a realização das intervenções de manutenção. A teoria de conjuntos Fuzzy permite especificar quão bem um objeto satisfaz uma descrição não determinística. Utiliza-se um valor numérico do intervalo [0,1], chamado grau de pertinência, para dimensionar o quanto um objeto pertence a uma determinada classe Fuzzy.

Um conjunto Fuzzy é formado por elementos que não estão classificados de uma forma determinada, exemplos: morno, pequeno, perto, ativo, quase, alto,

parcialmente. A Lógica Fuzzy vem sendo aplicada nas seguintes áreas: i) Análise de dados; ii) construção de sistemas especialistas; iii) controle e otimização; iv) reconhecimento de padrões (RIBEIRO, 2010).

Pelos motivos já citados anteriormente o estudo será realizado em conexões do sistema elétrico de potência. Com o auxílio da Tabela 3 e com os dados da MTA dos conectores de AT da Tabela 2, é possível classificar as necessidades de intervenção de manutenção levando em consideração apenas a MTA.

Tabela 3 - Classificação das intervenções de acordo com a MTA

MTA	Classificação
Abaixo de 70%	Sem manutenção
De 70 a 80%	Normal
De 80 a 90%	Urgente
De 90% a 110%	Emergência

A Tabela 4 ilustra a classificação proposta segundo a MTA:

Tabela 4 - Classificação das intervenções de acordo com a MTA dos conectores

Componente	Sem Manutenção	Tipo de Manutenção		
		Normal	Urgente	Emergência
Conectores	0 a 63°C	63 a 72°C	72 a 81°C	81 a 99°C

A Tabela 5 ilustra a classificação apenas dos conectores de MT segundo o critério ΔT .

Tabela 5 - Classificação das intervenções de acordo com a ΔT dos conectores

Componente	Sem Manutenção	Tipo de Manutenção		
		Normal	Urgente	Emergência
Conectores	0 a 10°C	10 a 30°C	30 a 55°C	> 55°C

Cada uma das Tabelas 4 e 5 utilizadas para a classificação dos conectores podem ser convertidas para um conjunto de funções de pertinência Fuzzy. A Função de pertinência reflete o conhecimento que se tem em relação a intensidade com que

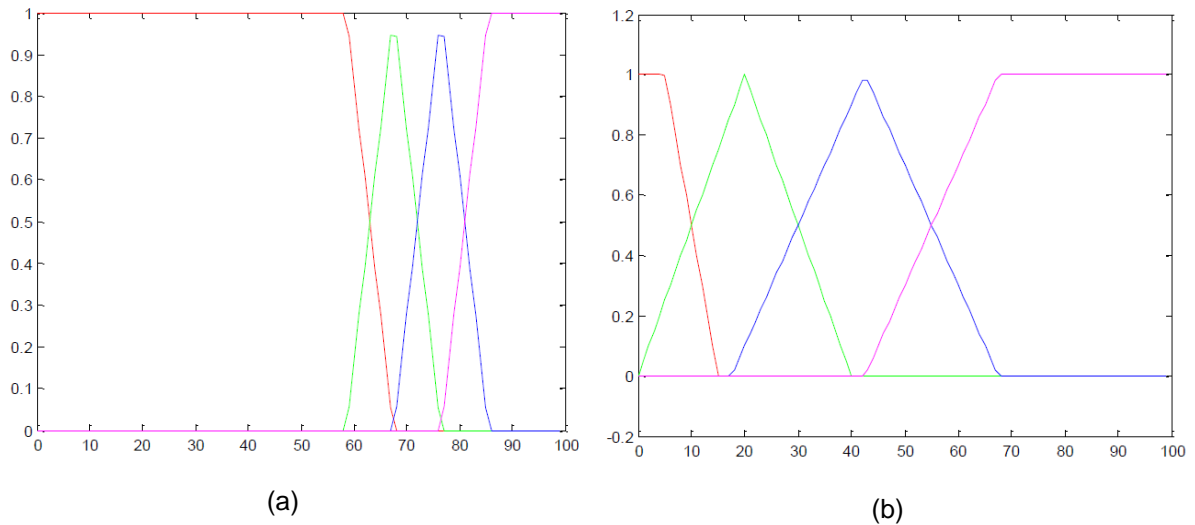
o objeto pertence ao conjunto Fuzzy. Os conjuntos Fuzzy são as classes sem manutenção, Normal, Urgente e Emergência. Uma descrição mais detalhada destes conjuntos é apresentada no Quadro 1:

Quadro 1 - Classificação das intervenções de acordo com a ΔT dos conectores

Classificação	Comentários
Sem Manutenção	Reparar de conformidade com as datas do plano regular de manutenção. Pequena possibilidade de falha ou danos físicos no componente.
Normal	Reparar quando possível. Verifique a possibilidade de danos físicos no componente.
Urgente	Reparar o mais rápido possível. Se necessário troque o componente e inspecione os adjacentes a procura de danos físicos. Há possibilidades de falha no componente.
Emergência	Reparar imediatamente. Troque o componente, inspecione os adjacentes e troque-os se necessário. É grande a possibilidade de falha no componente.

Para cada valor de MTA e ΔT é atribuído um grau de pertinência da situação do cabo conforme as curvas do gráficos da Figura 2.

Figura 2 - Funções de pertinência. (a) Máxima temperatura admissível; (b) Delta T



Fonte: elaborado pelo autor.

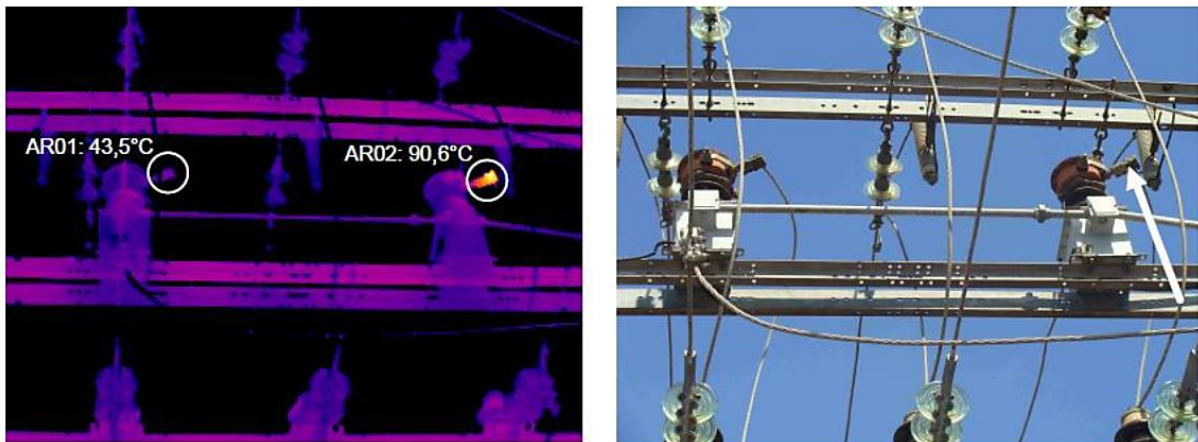
Os valores I_s , I_r , I_u e I_e indicam o valor de pertinência de cada tipo de intervenção de acordo com a temperatura máxima medida no conector para cada uma das classes “Sem manutenção”, “Normal”, “Urgente” e “Emergência”, respectivamente. E os valores $I_{s\Delta}$, $I_{r\Delta}$, $I_{u\Delta}$ e $I_{e\Delta}$ indicam para o ΔT medido os fatores de pertinência do cabo para cada uma das classes “Sem manutenção”, “Normal”, “Urgente” e “Emergência”.

A situação final do conector é dada pela classe que tiver o maior grau de pertinência médio. Ou seja, para cada classe somam-se os percentuais e divide por dois e o percentual médio maior é o que determina a situação do conector.

5. ESTUDO DE CASO

Nesta sessão foram coletadas e analisados 4 inspeções termográficas de subestações (6 conexões) de algumas cidades do norte do Paraná, observando como as mesmas foram classificadas de acordo com o tipo de intervenção segundo apenas o critério do ΔT , em seguida será feita a aplicação da proposta do trabalho e a comparação entre os resultados. A Figura 3 ilustra uma imagem de aquecimento na conexão da saída de um cabo ligado a um transformador de corrente (TC).

Figura 3 - Imagem de aquecimento na conexão de saída ao cabo, fase B, de um TC na SE de Jataizinho



Fonte: acervo do autor.

Neste exemplo, o aquecimento na conexão de saída de um TC na SE Jataizinho possui os seguintes dados $MTA = 90,6^{\circ}\text{C}$, $T_{ref.} = 43,5^{\circ}\text{C}$, portanto $\Delta T = 47,1^{\circ}\text{C}$. Sendo assim foi classificada pelo método ΔT como uma manutenção do tipo urgente.

Aplicando apenas o método MTA, a MTA encontrada nas conexões é $90,6^{\circ}\text{C}$ o que corresponde à 100% da MTA de referência para conectores de alta tensão, de acordo com a Tabela 2. Assim, de acordo com a Tabela 1, este exemplo seria classificado como uma manutenção do tipo emergencial.

Já aplicando o método proposto utilizando a linguagem Fuzzy, onde foram encontrados valores de $MTA = 90,6^{\circ}\text{C}$ e $\Delta T = 47,1^{\circ}\text{C}$, pelos gráficos da Figura 2, encontram-se as seguintes porcentagens de pertinência:

- $l_s = 0$;
- $l_{s\Delta} = 0$;
- $l_n = 0$;
- $l_{n\Delta} = 0$;
- $l_u = 0$;
- $l_{u\Delta} = 0,6$;
- $l_e = 1$;
- $l_{e\Delta} = 0,2$;

Então calcula-se os fatores de pertinência médios:

- *Is = 0;
- *In = 0;
- *Iu = 0,3;
- *Ie = 0,6.

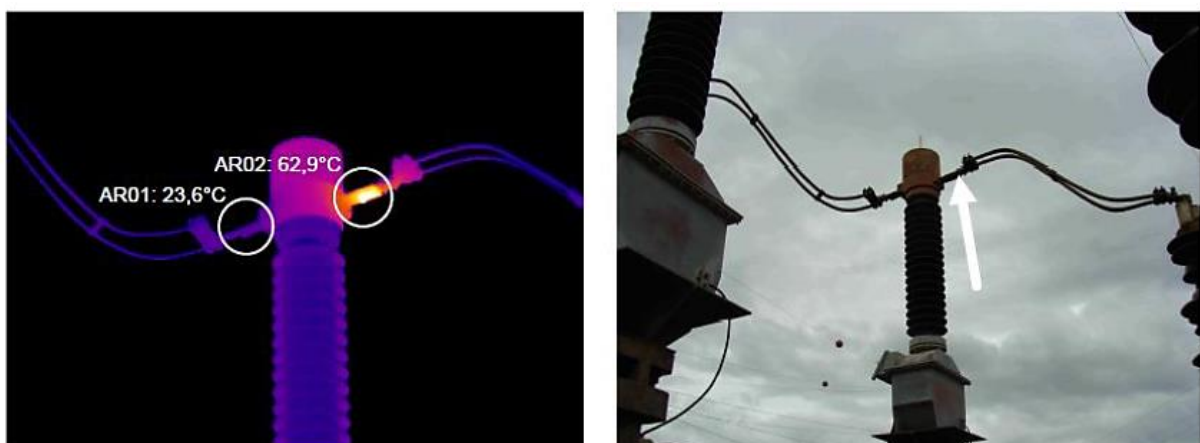
A maior pertinência média é de $I_e = 0,6$ que corresponde a classificação de manutenção de emergência na conexão, portanto dever ser tomada uma ação de reparo na conexão imediatamente. Enfim, aplicando o método para outros 5 casos de acordo com as Figuras 4, 5 e 6, tem-se a Tabela 6.

Figura 4 - Imagem de aquecimento na conexão da bucha ao cabo, fase B, de um religador na SE de Jataizinho



Fonte: acervo do autor.

Figura 5 - Imagem de aquecimento na conexão da saída ao cabo, fase V, de um TC na SE de Andirá



Fonte: acervo do autor.

Figura 6 - Imagem de aquecimento no conector ao cabo, fase A, fase B e fase V, de uma seccionadora na SE de Ibaíti



Fonte: acervo do autor.

Tabela 6 - Temperaturas e classificações das intervenções

Figura	Conexão	ΔT °C	MTA °C	% MTA ref	Classificação ΔT °C	Classificação MTA °C	Classificação Fuzzy
3	AR02	47,1	90,6	100	Urgente	Emergência	Emergência
4	AR02	26,1	68,6	76	Normal	Normal	Normal
5	AR02	39,3	62,9	70	Urgente	Normal	Urgente
6	AR02	24,4	50,4	56	Normal	Sem manut.	Sem manut.
6	AR03	13,2	39,2	44	Normal	Sem manut.	Sem manut.
6	AR04	12,3	38,3	43	Normal	Sem manut.	Sem manut.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classificação de intervenções de manutenção em equipamentos do sistema elétrico constitui uma importante ação na prevenção de falhas no sistema. Sendo assim, é essencial que um bom método de classificação para se obter menores taxas de falhas e menores custos associados às manutenções.

Na maioria das concessionárias de distribuição de energia elétrica, este método de classificação de intervenções de manutenção possui apenas uma variável, que é a ΔT observado na inspeção.

Este trabalho vem propor uma classificação utilizando dois conjuntos, as ΔT e as TMA, através da Lógica Fuzzy, observando bons resultados como é o caso do primeiro exemplo analisado, onde na classificação atual a manutenção na conexão AR02 era urgente, porém na nova classificação através da Lógica Fuzzy é um serviço emergencial com risco iminente de falha e/ou acidente.

Portanto, pode-se considerar que os resultados deste estudo são análogos para outros componentes do sistema elétrico e, este novo método de classificação traz benefícios relacionados a diminuição custos que envolve a manutenção de redes, a prevenção de desligamentos e acidentes em caso de falha de equipamentos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão, Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462 – Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

ALBUQUERQUE, Carlos Jesivan Marques; FORTES, Marcio Zamboti; SOUZA, Marcos Paulo. Ações Preditivas na Manutenção – Termografia: uma visualização de oportunidade de ganhos energéticos. In: IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2011, Juiz de Fora- MG. IV CBEE 2011.

RIBEIRO, Alyson Bezerra Nogueira Ribeiro; CAVALCANTE, Tarique Silveira; FILHO, Pedro Pedrosa Reboças; SILVA, Cesar Cipelli Silva. Desenvolvimento de Sistema para análise de termografia visando detectar falhas utilizando processamento digital de imagens. In VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2010, Campina Grande – Paraíba. VI CONEM 2010.

ANEXO PADRÃO TERMO 130607. Termografia, técnica que estente a visão humana ao espectro infravermelho, sendo a aquisição e análise de informações térmicas feitas a partir de dispositivo de obtenção de imagens sem contato. Disponível em: < www.engeletrica.com.br> Acesso em: 01 Dez. 2015.

OLIVEIRA, Jonathan Henrique Efigênio de. Inspeção Automatizada Utilizando Termografia. Dissertação (Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

WANG, Fei et al. Blind image separation for the debonding defects recognition of the solid propellant rocket motor cladding layer using pulse thermography. *Measurement*, v. 174, p. 108997, 2021.

ZHANG, Yanan et al. Cluster analysis of acoustic emission signals and infrared thermography for defect evolution analysis of glass/epoxy composites. *Infrared Physics & Technology*, v. 112, p. 103581, 2021.