

Uma análise termográfica como ferramenta de manutenção em instalações elétricas: estudo de caso de uma subestação de energia elétrica localizada no prédio do centro de engenharia II

Mateus Carlos Gama ^[1] e Prof. Dr. Humberto Dionísio de Andrade ^[2]

^[1] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; mateus.gama@alunos.ufersa.edu.br

^[2] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; humbertodionisio@ufersa.edu.br

Resumo: Este artigo apresenta uma análise termográfica de uma subestação de energia de 1000 kVA, localizada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró/RN. O objetivo principal foi avaliar a condição térmica dos equipamentos e identificar possíveis pontos quentes, utilizando a termografia como ferramenta de manutenção preditiva. A metodologia incluiu levantamento de campo na subestação e tratamento dos dados com um software específico para esse estudo. Para a coleta, foi utilizado um termovisor InfiRay C200 Pro, que capturou imagens térmicas dos equipamentos. Os resultados mostraram que a maioria dos equipamentos, como muflas, buchas de passagem, transformadores de potencial e disjuntor, operavam dentro dos limites térmicos recomendados. No entanto, o núcleo de ferro do transformador a seco de 500 kVA atingiu 105,3°C, excedendo a temperatura máxima de 100°C indicada pelo fabricante. A análise conclui que a termografia é uma ferramenta essencial para a manutenção preventiva em sistemas elétricos, permitindo a detecção precoce de falhas e um planejamento de reparo, sem interrupção do fornecimento de energia. Recomenda-se melhorar a circulação de ar na subestação e realizar um estudo de qualidade de energia para verificar um possível sobrecarregamento do transformador.

Palavras-chave: Manutenção Preditiva; Análise Termográfica; Subestação de Energia Elétrica; Temperatura dos equipamentos.

Abstract: This paper presents a thermographic analysis of a 1000 kVA electrical substation located at the Federal Rural University of the Semi-Arid Region (UFERSA) in Mossoró/RN. The main objective was to assess the thermal condition of the equipment and identify potential hot spots, using thermography as a predictive maintenance tool. The methodology involved field surveys at the substation and data processing with specific software for this study. An InfiRay C200 Pro thermal camera was used to capture thermal images of the equipment. The results showed that most of the equipment, such as mufflers, bushings, potential transformers, and circuit breakers, were operating within the recommended thermal limits. However, the iron core of the 500 kVA dry-type transformer reached 105.3°C, exceeding the manufacturer's maximum temperature of 100°C. The analysis concludes that thermography is an essential tool for preventive maintenance in electrical systems, enabling early fault detection and repair planning without interrupting the power supply. It is recommended to improve air circulation in the substation and conduct a power quality study to check for possible transformer overload.

Key-words: Predictive Maintenance; Thermographic Analysis; Electrical Power Substation; Equipment Temperature.

1. INTRODUÇÃO

A demanda de energia elétrica na sociedade atual tem crescido significativamente devido ao avanço tecnológico, aumento populacional e mudanças nos padrões de consumo. A disseminação de dispositivos eletrônicos e a transição elétrica de setores como o de transportes e veículos elétricos, aumentam o consumo energético. A urbanização e o crescimento populacional ampliam a necessidade de energia elétrica, especialmente em regiões não conectadas ao sistema elétrico.

O sistema elétrico de potência é constituído por um conjunto de infraestruturas e equipamentos que visam a geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica, garantindo o fornecimento contínuo e seguro para diversas aplicações industriais, comerciais e residenciais. E pode ser dividido em três subsistemas principais: geração, transmissão e distribuição. O bloco de geração converte alguma fonte de energia em energia elétrica. O bloco de transmissão tem a função de conectar eletricamente os centros de geração aos centros de consumo. No bloco de distribuição, a energia elétrica é recebida da transmissão e entregue a pequenos, grandes e médios consumidores [1].

As subestações elétricas de potência desempenham um papel crucial junto ao sistema elétrico de potência e na distribuição de energia elétrica, transformando e controlando a tensão para garantir a entrega eficiente e segura aos consumidores finais. No entanto, à medida que as demandas de energia aumentam e as instalações elétricas tornam-se mais complexas, surgem desafios significativos relacionados à eficiência e à segurança operacional dessas infraestruturas [2].

Essas instalações, embora ofereçam vantagens em termos de proteção e otimização de espaço, podem apresentar problemas térmicos em componentes críticos e pontos quentes nas conexões, que podem afetar o desempenho, a eficiência e principalmente a vida útil dos equipamentos, sendo capaz de provocar graves falhas e a interrupção total do fornecimento de energia.

Nesse cenário, é de suma importância que haja um plano de manutenção na subestações a fim de assegurar o pleno funcionamento dos equipamentos ao longo do tempo, viabilizando a detecção de falhas de maneira prévia. Caso não seja feita uma manutenção apropriada, podem suceder problemas, como, por exemplo, danos nos equipamentos, diminuição da eficiência, ameaças à segurança e descontinuação do fornecimento de energia elétrica.

A manutenção preditiva através da análise termográfica caracteriza-se como uma ferramenta fundamental, pois ela permite a prevenção de falhas, identificação de elementos que estejam trabalhando acima da temperatura recomendada de operação e para a realização deste tipo de manutenção não se faz necessário parar o funcionamento do equipamento ou do sistema. Visto que o processo de fornecimento de energia elétrica, quer seja no caso das distribuidoras de energia ou quer seja em subestação particular do consumidor, necessita ser ininterrupto. Essa análise resulta em boas práticas, no aumento da confiabilidade do sistema, no prolongamento da vida útil dos equipamentos e em um planejamento de manutenção.

Vale ressaltar que existem fatores que podem afetar a precisão da análise, como a baixa emissividade dos componentes, a variação da corrente de carga do equipamento inspecionado e em casos nos quais os componentes a serem inspecionados só o possam ser realizado a uma distância considerável devido à restrição de acesso [3].

Posto isso, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise termográfica dos componentes de uma subestação de 1000 kVA situada no Centro de Engenharias II, no campus central da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, localizada em Mossoró-RN. Explorando a aplicabilidade da análise termográfica como ferramenta de manutenção preditiva, visando a identificação de problemas térmicos e possíveis pontos de falhas nos equipamentos e nas conexões. Destacando os desafios típicos relacionados ao superaquecimento e apresentando soluções potenciais para mitigar esses riscos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Uma subestação de energia pode ser definida como sendo um agrupamento de equipamentos e condutores que visam a adequar os níveis de tensão e de corrente elétrica para que estejam apropriada para uso nos pontos de consumo. A subestação é um componente essencial no sistema elétrico de potência, responsável por fazer a interligação entre as diferentes etapas da cadeia elétrica. Sua principal função é a ajustar a corrente e a tensão elétrica para níveis adequados de uso [2].

Podem ser classificadas em dois tipos principais quanto à construção: abrigadas e ao tempo. As subestações abrigadas, instaladas em construções de alvenaria, são as mais comuns em instalações industriais devido ao seu custo reduzido e facilidade de manutenção. Devem possuir no mínimo dois compartimentos separados: um sendo o posto de medição (acesso exclusivo da concessionária) possuindo transformador de potencial e transformador de corrente e outro posto sendo para proteção composto por: chave seccionadora, disjuntor de proteção e transformadores de potência [2]. Na Figura 1 é possível ver um exemplo desse tipo de subestação.



FIGURA 1. Subestação abrigada [4].

As subestações ao tempo (ou externas) são instalações elétricas construídas em áreas abertas, expostas às condições climáticas. Diferentemente das subestações abrigadas ou internas, seus equipamentos são projetados para suportar intempéries como chuva, sol, vento e variações de temperatura [2]. Esse tipo de subestação, no sistema de distribuição, é normalmente fixada em postes projetados especialmente para suportarem a sobrecarga gerada pelo transformador de potência. A Figura 2 mostra um exemplo dessa subestação, composta por um transformador 112,5 kVA e chaves fusíveis.



FIGURA 2. Subestação ao tempo do tipo aérea (autoria própria).

As subestações podem ser classificadas ainda de outras formas, incluindo sua relação entre níveis de tensão (manobra ou transformadora), fluxo de potência (elevadora ou abaixadora) e função no sistema elétrico (transmissão, subtransmissão ou distribuição) [2].

A manutenção pode ser definida como um conjunto de atividades que visam garantir que um sistema ou equipamento continue operando de forma eficiente e segura, ou para restaurá-lo a seu estado operacional. Assim, prolongando a vida útil desse equipamento ou sistema [5]. Manutenção também pode ser definida como o conjunto integrado de ações tanto técnicas quanto administrativas, compreendendo ainda ações de supervisões, a fim de manter ou recolocar um elemento em condições de executar sua função principal [6].

Os tipos de manutenção mais comumente utilizados no âmbito da indústria e de subestações são: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva.

A manutenção corretiva é realizada após a ocorrência de uma falha ou defeito durante o funcionamento de um equipamento ou sistema, tendo como objetivo recuperar ou corrigir a capacidade dos equipamentos que perderam sua funcionalidade. Este tipo ocorre quando não houve monitoramento preventivo ou preditivo, ou em casos de falhas graves por agentes externos, causando paradas não planejadas na subestação [6].

A manutenção preventiva é realizada em equipamentos que ainda não apresentam falhas, sendo executada em intervalos periódicos com base no projeto e experiências anteriores, afim de prevenir falhas e minimizar o tempo de inatividade dos sistemas. Suas atividades incluem inspeções, testes e revisões gerais do sistema elétrico [7].

A manutenção preditiva baseia-se na supervisão sistemática e contínua dos parâmetros dos equipamentos, utilizando tecnologias e equipamentos que usam sensores e análise de dados que são ideal na detecção de falhas antes que elas ocorram. Esse tipo de manutenção permite a elaboração de planejamento para que sejam feitas intervenções no momento ideal, além de promoverem aumento da vida útil do equipamento, redução de custos e melhor controle da produção [6].

Na manutenção preditiva, a análise termográfica através da termografia pode ser aplicada sem interferir no funcionamento do sistema, permitindo monitorar diversos equipamentos como chaves seccionadoras, barramentos, disjuntores, transformadores e para-raios. Esta técnica é fundamental para identificar pontos quentes nos equipamentos ou em suas conexões, sendo que as causas mais comuns de aquecimento são conexões frouxas, oxidação ou desgaste natural do componente [6].

A análise termográfica é uma técnica não destrutiva que permite analisar e medir a temperatura de objetos através da radiação infravermelha emitida por eles, quanto maior o valor da temperatura de um objeto maior será a emissão de radiação infravermelha. Essa análise é uma abordagem bastante útil a fim de identificar potenciais falhas antes delas se tornarem graves, tornando possível a manutenção programada e evitando paradas não planejadas [8].

Tratando-se sobre anormalidades de aquecimento em equipamentos elétricos podem ser causadas normalmente por um aumento de resistência, que por sua vez tem origem devido a conexões mal feitas ou que já estão desgastadas, a curto-circuitos, a sobrecargas, ou ainda a equipamentos instalados inadequadamente [9].

Esta análise é realizada utilizando um termovisor, que captura a radiação infravermelha e a converte em um sinal digital, gerando um termograma que associa diferentes cores a diferentes temperaturas, conforme os parâmetros ajustados no equipamento [3]. Além disso, o termovisor possui recursos para análise, medição e registro das imagens térmicas. Assim, a termografia é uma fonte confiável que fornece as condições de operação dos equipamentos e possíveis causas de irregularidades.

O princípio da aplicação da termografia pode ser ilustrado na Figura 3.a, a qual exibe a imagem de dois para-raios com especificações de 12kV/10kA. Na Figura 3.b é apresentado o termograma correspondente, obtido a partir da mesma posição. O termograma exibe uma correspondência entre as cores e as temperaturas, conforme indicado pela barra gráfica adjacente. A análise do termograma permite observar, de forma clara, a variação de temperatura nos para-raios à direita, o que pode indicar um possível sinal de falha iminente [10].

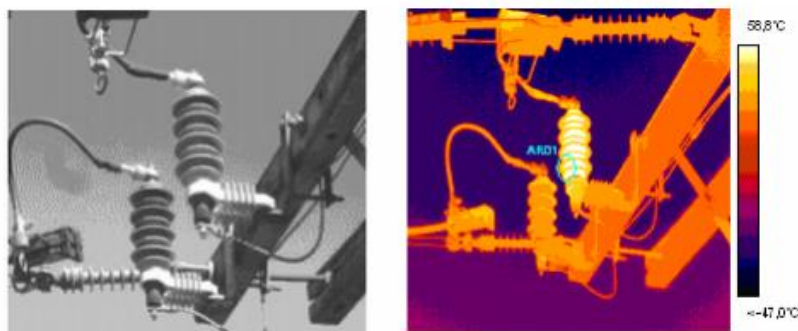


FIGURA 3. Detecção antecipada de falha: (a) Imagem real do sistema, (b) Termograma com anomalia térmica [10].

As medições podem ser classificadas como qualitativas ou quantitativas, sendo que a precisão da temperatura medida depende do conhecimento da emissividade do material analisado. A medição também pode ser empregada para elaborar uma comparação entre a temperatura do componente em questão e a de componentes similares adjacentes, operando sob as mesmas condições [8].

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada neste estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada de natureza explicativa e exploratória, configurando-se como um estudo de caso. O processo metodológico envolveu inicialmente um estudo referencial teórico sobre manutenção e análise termográfica. Posteriormente, foi definido o objeto de estudo, a subestação de energia de 1000 kVA do Centro de Engenharias II, e o foco na qual se daria a análise.

Definido o objeto de estudo, foi realizada a visita técnica in loco para a inspeção e os registros termográficos nos equipamentos da subestação. De posse dos dados obtidos na visita, foi realizado o tratamento e processamento das imagens colhidas, utilizando um software específico para esse estudo.

Por fim, foi feito a análise dos dados comparando os valores de temperatura observados nas imagens termográficas com os valores de temperatura recomendados de operação definidos pelos fabricantes e pelas normas técnicas. Na Figura 4 é possível visualizar as etapas para o desenvolvimento deste estudo de caso.

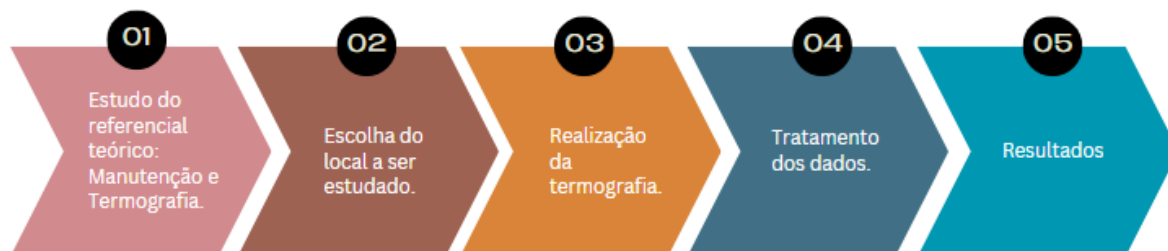


FIGURA 4. Etapas para a realização deste estudo de caso (autoria própria).

3.1 Localização do objeto de estudo

O estudo foi realizado no campus central da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), localizado no município de Mossoró - RN. O campus é dividido em duas ramificações principais, lado leste e lado oeste. A subestação de energia analisada encontra-se situada no lado leste, próximo ao Centro de Engenharias II.

A subestação é dividida em cubículos ou habitáculos, um de entrada, um de proteção e um de transformação. O cubículo de entrada é composto por muflas de uso interno e buchas de passagem. O cubículo de proteção é constituído por buchas de passagem, chave seccionadora, 2 transformadores de potencial, 3 transformadores de corrente e um disjuntor a vácuo conectado ao relé Pexton URP 7104. Os cubículos de transformação possuem dois transformadores de potência a seco de 500 kVA, os quais abaixam a tensão de 13,8 kV para 220/380 V. A SE é mostrada na Figura 5.



FIGURA 5. SE objeto de estudo (autoria própria).

3.2 Coleta de dados e equipamento utilizado na análise termográfica

Para a condução deste estudo, foi realizada uma análise termográfica com o objetivo principal de identificar possíveis anomalias e pontos quentes nas conexões dos equipamentos elétricos, bem como verificar se as temperaturas dos equipamentos estão adequadas para operação. Para isso, foi empregado um Termovisor InfiRay, Modelo C200 Pro, esse equipamento possui intervalo de medição de -20°C até 550°C e resolução de 256×192 pixels, o modelo utilizado no estudo é demonstrado na Figura 6.

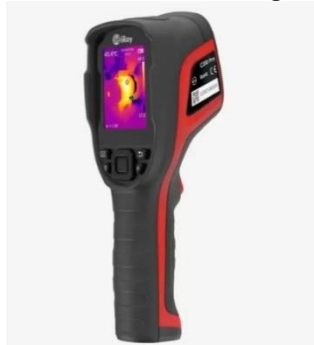


FIGURA 6. Câmera térmica InfiRay C200 Pro [11].

Após a coleta dos dados, os registros foram encaminhados para um software específico para esse estudo, desenvolvido especificamente para processar imagens termográficas. Este software disponibiliza ferramentas cruciais para a análise das imagens, incluindo a inserção de marcadores nos pontos de temperatura máxima e mínima, o ajuste da emissividade do equipamento em avaliação, bem como a modulação do nível e da amplitude das cores na paleta.

Há algumas interferências e entraves na análise termográfica, as quais podem conduzir a uma avaliação errônea ou imprecisa. Como, por exemplo, a baixa emissividade dos componentes presente na inspeção e a demanda que está sendo solicitada no momento da vistoria.

Vale ressaltar que a inspeção de termografia foi realizada da área protegida por gradeado das partes energizadas da subestação, pois não havia os equipamentos de proteção individual necessários para que fosse possível a entrada nos cubículos.

4. RESULTADOS

4.1. Muflas de Uso Externo

A TE Energy Connectivity, empresa fabricante das muflas, especifica 105°C como sendo a temperatura máxima de operação em regime permanente.

A Figura 7.a ilustra as muflas de uso externo da subestação e na Figura 7.b é possível observar a imagem termográfica e realizar um comparativo da diferença de temperaturas entre as fases. A temperatura máxima observada nas muflas foi de 32,2°C, valor que está dentro do limite de operação recomendado.

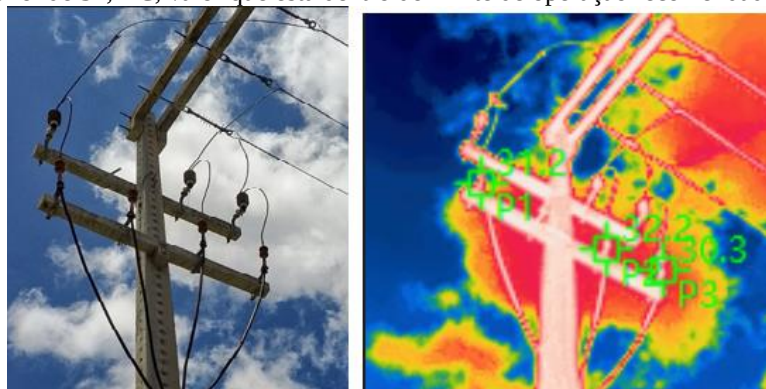


FIGURA 7. Muflas de Uso Externo: (a) imagem real, (b) imagem termográfica (autoria própria).

4.2. Muflas de Uso Interno

As muflas de uso interno são da mesma empresa fabricante das muflas de uso externo, também possuem como temperatura recomendada de operação como sendo de 105°C.

Como é possível observar na Figura 8.b, a temperatura mais elevada registrada foi de 33,6°C, e a diferença de temperatura entre fases foi quase inexistente. Estando todas operando em baixa severidade.

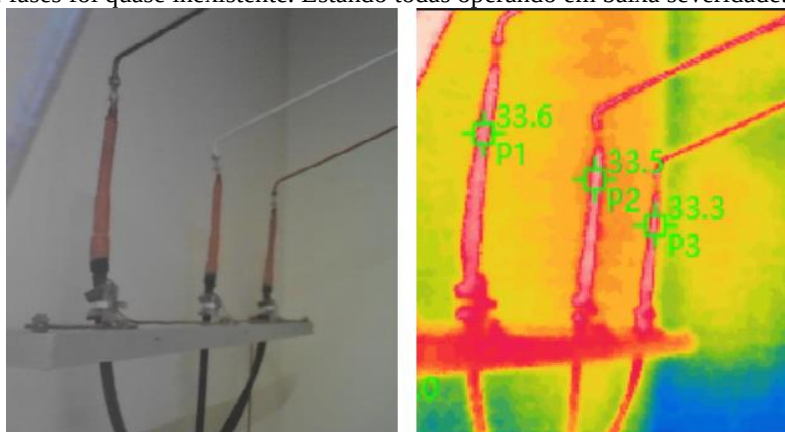


FIGURA 8. Muflas de Uso Interno: (a) imagem real, (b) imagem termográfica (autoria própria).

4.3. Buchas de Passagem

Para a operação de bucha de passagem, a temperatura de funcionamento na terminação da mesma deve obedecer o limite entre 35°C e 45°C. Assim, qualquer observação de temperatura acima desse intervalo pode comprovar mau funcionamento do equipamento [12].

A Figura 9.a mostra as buchas de passagem no cubículo de entrada. A temperatura máxima registrada pela imagem termográfica exibida na Figura 9.b foi de 35,4°C, a diferença de temperatura entre as fases não supera 1°C.

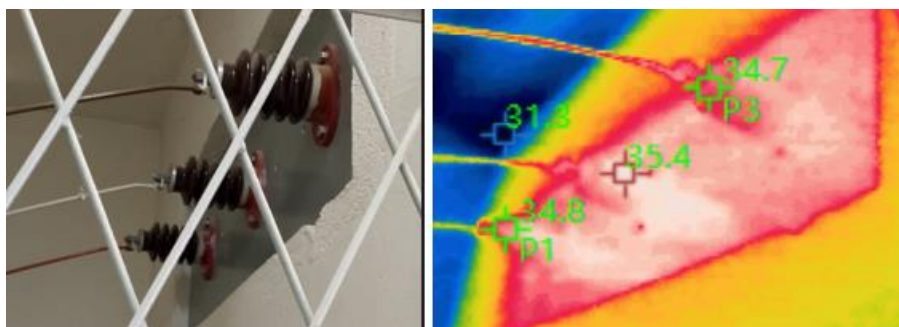


FIGURA 9. Buchas de Passagem do cubículo de entrada: (a) imagem real, (b) imagem termográfica (autoria própria).

A Figura 10.a ilustra as buchas de passagem do cubículo de proteção. A Figura 10.b mostra a imagem termográfica das buchas, percebe-se na termografia que o valor máximo de temperatura averiguado foi de 36,1°C, inexistindo qualquer ponto de atenção na operação desse equipamento e nas conexões.

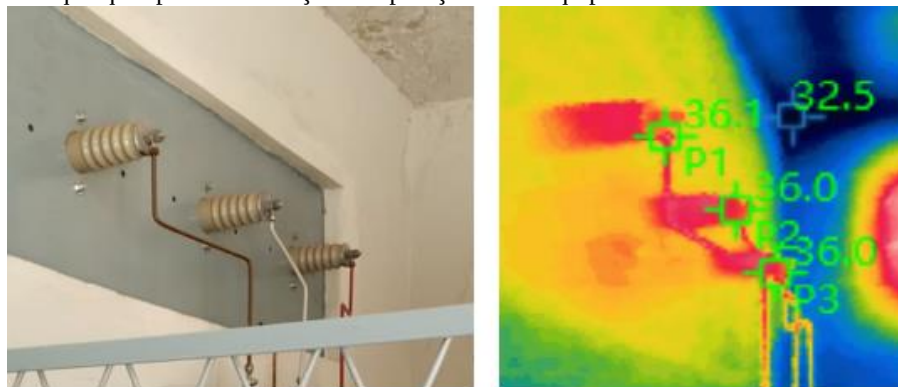


FIGURA 10. Buchas de Passagem do cubículo de proteção: (a) imagem real, (b) imagem termográfica (autoria própria).

4.4. Transformadores de Potencial (TP)

A Figura 11.a exibe os dois transformadores de potencial instalados no cubículo de proteção, os quais têm a finalidade de alimentar o relé de proteção da subestação, assim como o circuito de iluminação da subestação.

Os Transformadores de potencial em estudo possuem classe de temperatura B, ou seja, possuem uma faixa de temperatura máxima de operação entre 80°C e 130°C acima da temperatura ambiente [8].

Observa-se na Figura 11.b a imagem termográfica dos transformadores de potencial e a temperatura máxima registrada foi de 40,2°C, estando os equipamentos em pleno funcionamento e sem presença de pontos quentes.

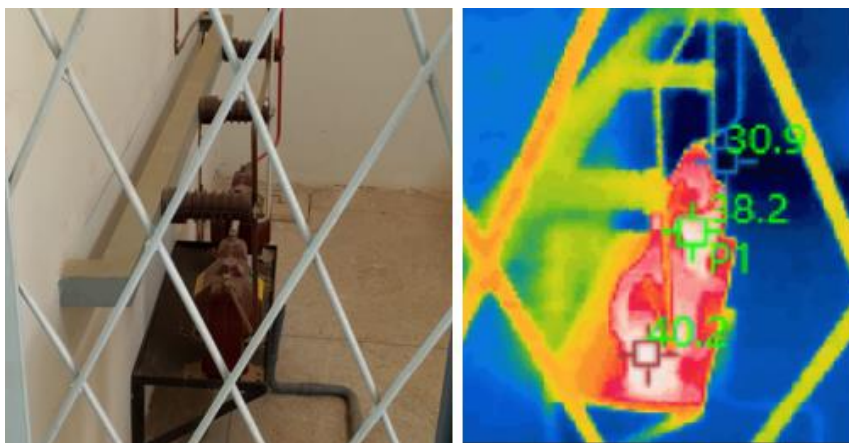


FIGURA 11. Transformadores de potencial: (a) imagem real, (b) imagem termográfica (autoria própria).

4.5. Disjuntor a vácuo

A Figura 12.a mostra o disjuntor a vácuo de 15 kV da fabricante ADS disjuntores, utilizado com a finalidade de interromper o fluxo de corrente em casos de falhas. Tanto na placa de identificação quanto no datasheet do equipamento não foi especificado nenhum valor de temperatura como recomendado. Observa-se pela Figura 12.b que o disjuntor não apresenta nenhum ponto com temperatura muito elevada.

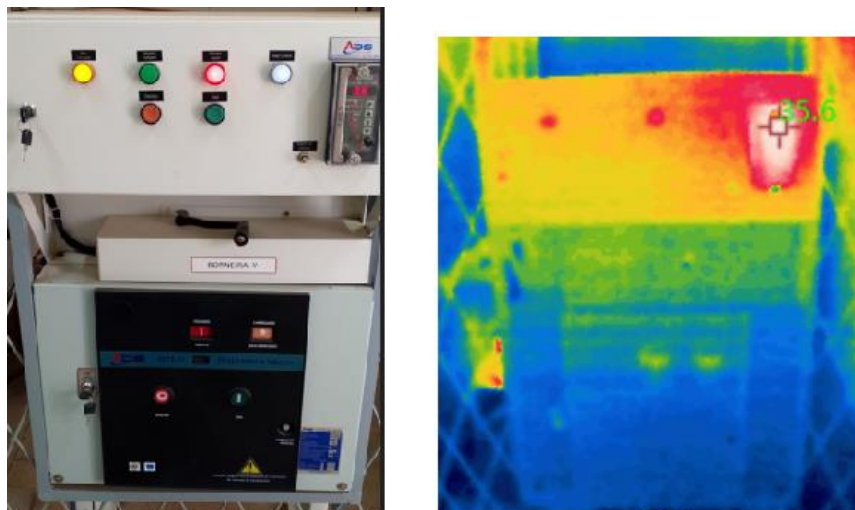


FIGURA 12. Disjuntor a vácuo de 15 kV: (a) imagem real, (b) imagem termográfica (autoria própria).

4.6. Transformador de Potência a Seco

A Figura 13.a exibe o primeiro transformador a seco da subestação com potência de 500 kVA da fabricante ITAM, a imagem destaca o núcleo de ferro e as conexões no lado de baixa tensão do transformador.

Na placa de identificação do equipamento é especificado que a elevação de temperatura nos enrolamentos é de 100°C. A Figura 13.b mostra a imagem termográfica do transformador, na qual é possível observar que na região do núcleo apresentou uma temperatura máxima de 105,3°C, estando acima do limite definido pelo fabricante.

Os condutores que saem no lado de baixa tensão são do tipo HEPR/ST2 2019 1kV. Em condições de regime permanente a temperatura do condutor não deve ultrapassar 90°C (para a classe de condutores de 90°C) ou 105°C (para a classe de condutores de 105°C) [13].

Considerando a imagem termográfica dos condutores exibida na Figura 13.b, constatou-se uma temperatura máxima de 41,2°C em um dos cabos, logo estando dentro dos limites de operação estabelecidos pela norma.

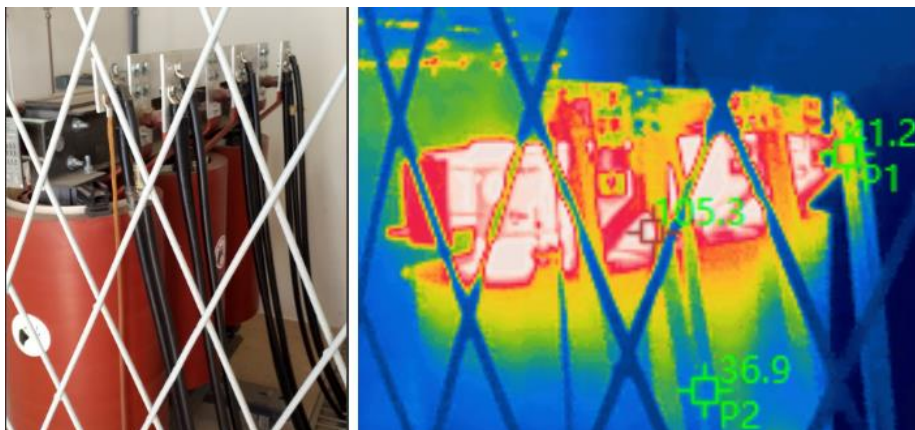


FIGURA 13. Primeiro transformador de potência a seco: (a) imagem real, (b) imagem termográfica (autoria própria).

A Figura 14.a ilustra o segundo transformador a seco de 500 kVA da subestação da mesma fabricante que o primeiro transformador. Na Figura 14.b é possível observar a imagem termográfica, sendo a maior temperatura registrada no núcleo de ferro de 98,1 °C, ficando bem próximo do valor limite de 100°C.

Também na Figura 14.b, pode-se verificar que a máxima temperatura registrada nos condutores de saída no lado de baixa tensão do transformador foi de 39,9°C, estão bem abaixo dos limites de adequação da norma.

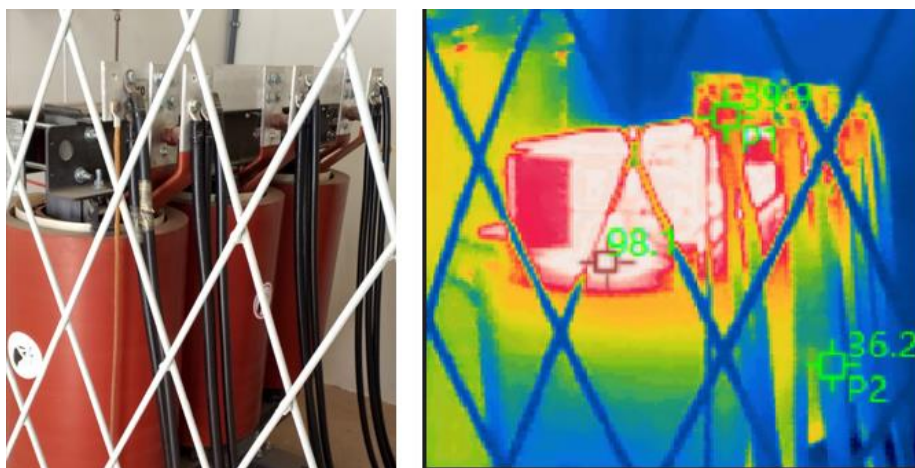


FIGURA 14. Segundo transformador de potência a seco: (a) imagem real, (b) imagem termográfica (autoria própria).

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos através da comparação realizada dos dados levantados em campo com os valores recomendados pelos fabricantes e também pelas normas técnicas.

TABELA 1. Resultados obtido nesse estudo (autoria própria).

Equipamento	Temperatura Máxima Registrada (°C)	Temperatura Recomendada (°C)
Muflas de Uso Externo	32,2	105
Muflas de Uso Interno	33,6	105
Buchas de Passagem Cubículo de Entrada	35,4	35 - 45
Buchas de Passagem Cubículo de Proteção	36,1	35 - 45
Transformador de Potencial	40,2	80 - 130
Disjuntor a Vácuo	35,6	-
Primeiro Transformador	105,3	100
Condutores do Primeiro Transformador	41,2	90 - 105
Segundo Transformador	98,1	100
Condutores do Segundo Transformador	39,9	90 - 105

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado uma análise termográfica dos equipamentos existentes de uma subestação de energia abrigada de 1000 kVA da Universidade Federal Rural do Semiárido, localizada em Mossoró/RN. A fim de verificar a condição térmica de operação dos equipamentos e encontrar possíveis pontos quentes.

Com o emprego da câmera térmica, InfiRay C200 pro, foi possível levantar os dados de temperatura dos equipamentos da subestação. Tanto nas muflas de uso externo quanto de uso interno foi observado que não houve diferença significativa de temperatura entre fases e o valor máximo registrado estava dentro do limite de operação. O ponto crucial averiguado na análise termográfica da subestação foi a temperatura de operação verificada no núcleo de ferro do primeiro transformador a seco de 500 kVA, onde foi observado um valor máximo 105,3°C, valor acima da elevação de temperatura nos enrolamentos indicada pelo fabricante que é de 100°C.

Visando a mitigação da temperatura elevada observada nos transformadores, recomenda-se como ações de manutenção que seja realizado um balanceamento de cargas nas fases dos transformadores, reaperto e limpeza das conexões dos equipamentos da subestação. Bem como, a melhoria da circulação de ar dentro da subestação a fim de obter um resfriamento de ar natural, uma vez que o sistema de circulação existente não é eficiente.

Atentando-se para o fato que caso os transformadores operem de maneira sobrecarregada ou com temperatura acima da recomendada por período muito longo de tempo é possível que venham apresentar falhas ocasionando não só a interrupção no fornecimento de energia como também prejuízos financeiros.

Portanto, os resultados obtidos da análise termográfica produzida neste trabalho foram satisfatórios e mostrou-se como uma ferramenta crucial para manutenção preventiva em sistemas elétricos, sem a necessidade

de interromper a continuidade no fornecimento de energia. Tornando possível a detecção de falhas que ainda não ocorreram e permitindo o planejamento de atividades de reparo a fim de evitar a interrupção total de energia.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, sou grato a Deus pelo dom da vida, pela sua graça e misericórdia com minha vida e por ter permitido chegar até aqui. Agradeço por todos os desafios enfrentados tanto na vida pessoal quanto profissional, pois foram fundamentais para o meu crescimento e amadurecimento.

Agradeço infinitamente à minha mãe, Maria Vanusia Carlos Gama, e ao meu pai, Livanilson Marinheiro Gama, por sempre terem me incentivado para os estudos e não mediram esforços para que eu pudesse ter a oportunidade de obter uma graduação. Agradeço à minha tia, Maria Perla Silva Farias, por todo o suporte e dizer que foi muito importante em todo esse processo.

Agradeço também aos meus professores que fizeram parte dessa jornada. Em especial, ao meu orientador Humberto Dionísio de Andrade pelo seu apoio, incentivo, compartilhamento de conhecimento e orientações para vida pessoal e profissional.

Agradeço a todos os meus colegas e amigos que contribuíram de alguma maneira, direta ou indiretamente, para o sucesso deste trabalho.

Agradeço à instituição UFERSA pelas oportunidades ofertadas e por ter conhecido grandes pessoas aqui.

REFERÊNCIAS

- [1] BATISTA, Jackson Carlos Sousa. “Análise termográfica da malha elétrica e subestações da universidade federal rural do semi-árido campus central”. Dissertação Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal Rural do Semi-arido – UFERSA, Mossoró, 2018.
- [2] MAMEDE FILHO, João. Instalações Elétricas Industriais. 9. ed. Rio de Janeiro: Ltc Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2017.
- [3] ALMEIDA, Júlio César Freitas de. “Uma abordagem sobre manutenção preditiva em subestação de potência”. Universidade Federal Rural do Semi-arido – UFERSA, Mossoró, 2021.
- [4] Manutenção de subestação. Disponível em: <<https://www.3aengenharia.com/manutencao-de-subestacao/>>. (Acesso em: 06 mar. 2025).
- [5] V. G. A. Silva, “Manutenção Preditiva em Sistemas Elétricos de Potência Utilizando Registros de Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IED’s)”, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará – UFP, 2019.
- [6] ABNT NBR 5462 – Confiabilidade e manutenibilidade. 1994.
- [7] J. M. Reis, “Gestão Estratégica de Manutenção Aplicada a Sistemas Elétricos de Potência”, Dissertação, Projeto de Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, 2018.
- [8] MOREIRA, Fábio Jônatas Menezes. “Análise termográfica de subestação abrigada da UFERSA”. Universidade Federal Rural do Semi-arido – UFERSA, Mossoró, 2023.
- [9] ABNT NBR 15572 – Ensaios não destrutivos - Termografia - Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos. 2013.
- [10] ÁLVARES, Ricardo Costa. “Diagnóstico de falhas em pára-raios utilizando termografia”. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 2008.
- [11] InfiRay C200 Pro. Disponível em: < <https://www.improtek.cl/producto/infiray-c200-pro/>>. (Acesso em: 21 mar. 2025).
- [12] SILVA, Leonardo Nunes Alves da. “Monitoramento e Diagnóstico de Buchas de Alta Tensão”. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.
- [13] ABNT NBR 7286 – Cabos de potência com isolamento extrudado de borracha etilenopropileno (EPR, HEPR ou EPR 105) para tensões de 1 kV a 35 kV – Requisitos de desempenho. 2018.