

Análise Termográfica em Subestação Abrigada da UFERSA, Campus Mossoró

Fábio Jônatas Menezes Moreira
Centro de Engenharias
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, RN
fabio.moreira@alunos.ufersa.edu.br

Humberto Dionísio de Andrade
Centro de Engenharias
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, RN
humbertodionisio@ufersa.edu.br

Resumo — A manutenção em subestações de energia é motivada pela necessidade da continuidade do fornecimento de energia elétrica aos consumidores. As subestações são responsáveis por transformar a tensão da energia elétrica fornecida pelo sistema de distribuição, adequando-a para o consumo do cliente. Essas instalações elétricas são constituídas por equipamentos elétricos e condutores que realizam tal processo, porém, problemas como pontos de aquecimento em conexões elétricas são um grande risco para a operação dos equipamentos. Nesse contexto, a inspeção termográfica é uma ferramenta importante da manutenção preditiva, pois é capaz de identificar a temperatura e antecipar falhas, e consequentemente a interrupção do fornecimento de energia. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo medir e identificar possíveis pontos de aquecimento nos equipamentos e conexões de uma subestação abrigada de 1000 kVA do Centro de Engenharias I da UFERSA, na cidade de Mossoró. Nesta pesquisa percebeu-se com base em uma análise quantitativa, comparando os valores medidos com as temperaturas indicadas por fabricantes, foram registradas no núcleo dos dois transformadores de potência da subestação temperaturas acima de 100 °C.

Palavras-chave — Manutenção em Subestações, Subestações de Energia Elétrica, Inspeção Termográfica.

I. INTRODUÇÃO

Subestação é um conjunto de condutores, aparelhos e equipamentos destinados a modificar as características de tensão e corrente elétrica, permitindo a distribuição dessas grandezas aos pontos de consumo em níveis adequados de utilização [1]. No entanto, as subestações de energia elétrica podem apresentar pontos de aquecimento em seus equipamentos, principalmente pelo aumento da resistência ôhmica nas conexões dos equipamentos que compõe esse sistema.

Nesse contexto, deve ser adotado um plano de manutenção em subestações que é fundamental para garantir o funcionamento correto dos equipamentos a longo prazo, refletindo na detecção com antecedência de possíveis pontos de falha. Se a manutenção adequada não for realizada, podem ocorrer problemas, como falha de equipamentos, perda de eficiência, interrupções no fornecimento de energia e riscos de segurança.

A partir do aumento da resistência entre os contatos elétricos é possibilitado o uso do Termovisor na inspeção do equipamento. Esse equipamento capta a irradiação infravermelha emitida pelo aquecimento na região e realiza com precisão o apontamento dos pontos sobreaquecidos, quantificando esse aumento irregular de temperatura. O mau

contato elétrico produz um aquecimento que pode ser rápido ou lento, mas sempre progressivo, até a degradação total do componente ou rompimento da conexão. [2].

Essa pesquisa tem como objetivo realizar uma análise termográfica identificando possíveis anomalias e pontos quentes nas conexões dos equipamentos elétricos de uma subestação abrigada da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, localizada em Mossoró-RN.

II. SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA

Para realizar uma análise completa do fornecimento de energia elétrica em tensão primária é preciso entender como é realizado a entrega de eletricidade pela rede de distribuição, isto é, a entrada de serviço que representa o ponto de derivação da rede da concessionária e os terminais da medição das partes.

A entrada de serviço é compreendida por três partes principais, o ponto de ligação é por definição onde é realizada a derivação do ramal de ligação, que por sua vez é o trecho do circuito que se estende até o ponto de entrega, no qual a concessionária é obrigada a fornecer a energia elétrica [1], como ilustra na Figura x.

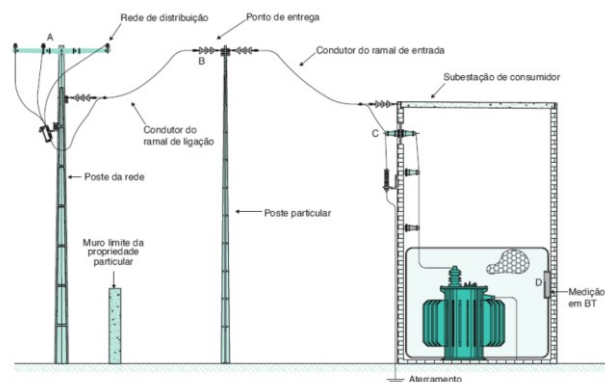


Fig. x. Elementos de entrada de serviço de uma unidade consumidora de alta-tensão [1].

A partir do ponto de entrega é realizada uma nova extensão, denominado ramal de entrada, que é o conjunto de condutores e materiais necessários para realizar a conexão elétrica até o terminais da medição. O ramal de entrada pode ser caracterizado como sendo aéreo ou subterrâneo [1].

O ramal de entrada aéreo é constituído por condutores suspensos em estruturas, enquanto, o ramal de entrada

subterrâneo são condutores isolados instalados dentro de um duto ou diretamente enterrados no solo [1].

As subestações de média tensão são aplicadas para instalações industriais, comerciais delimitadas por uma demanda de até 2500 kW [1]. Essas subestações podem ser classificadas quanto aos aspectos construtivo, sendo as de maior uso a abrigada em alvenaria e instalação ao tempo.

De acordo com Mamede [1], as subestações abrigadas são aquelas em que os equipamentos e aparelhos são instalados em dependências abrigadas a intempéries, normalmente, são construídas em alvenaria e também é o tipo mais comum de subestação utilizada para as instalações industriais, pois apresentam custo reduzido, além de fácil montagem e manutenção, porém requer uma área para instalação relativamente grande, quando comparado com a instalação ao tempo.

As subestações em alvenaria são divididas e devem possuir no mínimo dois habitáculos separados por paredes de alvenaria. O primeiro é ocupado pelos transformadores de medidas, esse habitáculo em específico é de acesso exclusivo por parte da concessionária, assim como o fornecimento dos equipamentos. A segunda cabine deve ser ocupada pela chave seccionadora, juntamente com o disjuntor de proteção geral, associado aos transformadores de medidas destinados a proteção e alimentação auxiliar. Por fim, a terceira divisão é destinada a instalação dos transformadores de potência que vão realizar a adequação do nível de tensão da unidade consumidora. [3]

As subestações de instalação exterior são aquelas em que os equipamentos são instalados ao tempo e os aparelhos de medição abrigados e são divididas em 2 tipos. Subestação aérea em plano elevado, cujo transformador está fixado em postes ou torres fabricados, normalmente em concreto armado e limitados pela concessionários em até 300 kVA. As subestações de instalação no nível do solo, é aquela no qual os equipamentos como transformadores e disjuntores são instalados no nível do solo, enquanto para-raios, chaves fusíveis e seccionadoras são montados em estrutura aérea. [3]

III. MANUTENÇÃO

A manutenção conceitua-se como garantir a confiabilidade e a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com segurança, preservação do meio ambiente e custo adequados, podendo ser dividida em: corretiva, preventiva e preditiva [4].

A manutenção corretiva é realizada após a ocorrência de uma falha, destinada a colocar um item em condições de executar uma função requerida, na qual não tem caráter programada e tem por característica elevados custos indiretos para sua execução [5].

A manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano de manutenção previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo, estas ações proporcionam um conhecimento prévio das ações de intervenção, logo permite o gerenciamento das atividades [4].

A manutenção preditiva visa acompanhar a máquina, por monitoramento, medições ou por controle estatístico e tentam prever a proximidade da ocorrência da falha, tem como objetivo determinar o tempo correto para realizar a intervenção mantenedora, com isso evitando a realização de

uma manutenção corretiva e, consequentemente, um custo maior associado [5].

IV. TERMOGRAFIA

A radiação eletromagnética, especificamente a radiação térmica, pode ser emitida nas faixas de ultravioleta, visível, infravermelho e até na faixa de microondas do espectro eletromagnético. Entretanto, para temperaturas típicas encontradas em equipamentos elétricos, a maior parte da radiação térmica é emitida dentro da faixa de infravermelho [6].

A Figura 2 ilustra o espectro eletromagnético, como também a faixa utilizada na termografia de equipamentos elétricos.

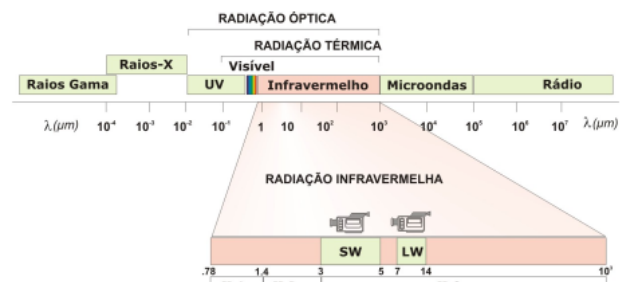


Fig. 2. Espectro eletromagnético e as faixas espectrais utilizadas na fabricação de Termovisores comerciais [7].

A inspeção termográfica é uma técnica que permite a medição de temperatura a partir da intensidade de radiação infravermelha emitida pelos corpos [2], sendo ainda importante a informação da emissividade do material da superfície para que seja possível a correta conversão dos valores de radiação em temperatura [7]. O equipamento utilizado para as inspeções termográficas é denominado Termovisor. Esse instrumento dotado de um sistema com mapeamento infravermelho e recursos para análise, medição e registro de imagem térmica [2], como ilustrado na Figura 3.

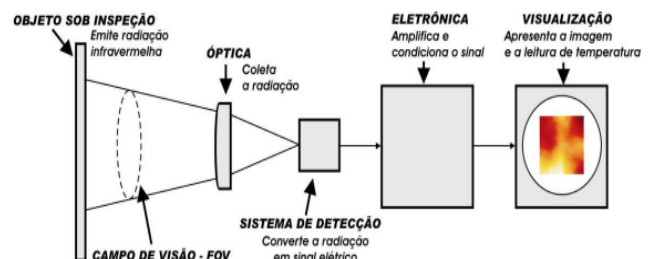


Fig. 3. Diagrama simplificado de um Termovisor Genérico [7].

As informações obtidas pelas medições, utilizando o termógrafo podem ser classificadas como: qualitativas ou quantitativas. Pois, se as informações de emissividade do material não forem conhecidas, então a temperatura informada pelo Termógrafo não estará em conformidade com a temperatura real do objeto. Porém, a medição também pode ser utilizada para realizar um comparativo do componente com a temperatura dos componentes similares adjacentes em mesma condição operacional [7].

Existem influências e limitações na análise termográfica que podem induzir a um diagnóstico incorreto ou até mesmo mascarar o funcionamento correto do equipamento. A baixa emissividade dos componentes sob inspeção e a variação da

corrente de carga do equipamento inspecionado são exemplos de fatores que dificultam a inspeção termográfica [7].

V. ANÁLISE TERMOGRÁFICA

O presente artigo consiste na análise termográfica dos componentes de uma subestação de 1000 kVA do Centro de Engenharias I da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, localizada na cidade de Mossoró-RN.

A subestação é dividida em habitáculos, no qual a proteção é composta por chave seccionadora, 2 TP'S, 3 TC'S e também o disjuntor de média tensão acoplado ao Relé Pextron URP 7104, em sequência são destinados para os cubículos de transformação e são compostos por dois transformadores a seco de 500 kVA, responsáveis por abaixar a tensão de fornecimento de 13,8 kV para 380 V.

Para o desenvolvimento da pesquisa foi realizado uma análise termográfica, com objetivo de identificar possíveis pontos quentes nas conexões e equipamentos da subestação, para isso foi utilizado um Termovisor Fluke, Modelo Ti9, como ilustrado na Figura 4.



Fig. 4. Termovisor Fluke Ti9

De posse dos registros, foram transferidos para o software *SmartView Classic*, desenvolvido especialmente para execução de imagens realizadas a partir do uso de equipamentos da Fluke, no qual contém importantes ferramentas para a análise das imagens, como: incluir marcadores do ponto mais quente, mais frio, ajustar emissividade do equipamento em análise, ajustar o nível e amplitude das cores da paleta.

Vale salientar, que durante a inspeção não possível entrar nos habitáculos da subestação em questão por não estar com os equipamentos de proteção individual, portanto, a termografia foi realizada nas áreas protegidas por grades das partes energizadas.

VI. ANÁLISE DE RESULTADOS

A. Muflas de Uso Externo

A temperatura de operação indicado pelo fabricante *TE Energy Connectivity*, para aplicação das muflas de uso externo é 105° C em regime permanente.

A Figura 5 ilustra as muflas de uso externo da subestação e na Figura 6 é possível realizar um comparativo entre as fases a partir da termografia. Uma das fases apresentou aquecimento em terminação com temperatura de

58,5 °C comparado com outra fase sobre as mesmas condições com temperatura de 50,3 °C.



Fig. 5. Fotografia Muflas Uso Externo

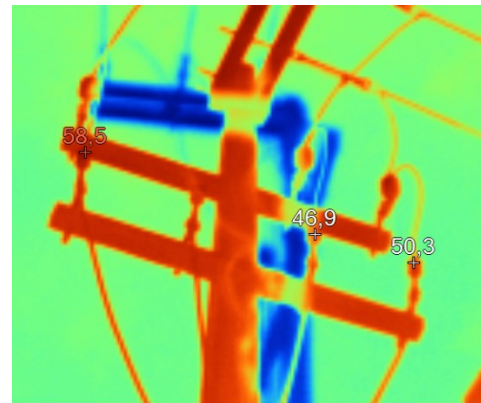


Fig. 6. Termografia Muflas Uso Externo

B. Buchas de Passagem

A temperatura de operação na terminação da bucha deve ser entre 35 °C a 45° C, um registro de temperatura maior que esse intervalo pode demonstrar o funcionamento inadequado do equipamento [8].

A Figura 7 ilustra as buchas de passagem da subestação abrigada e a Figura 8 apresenta a termografia realizada em suas conexões, registrando uma temperatura máxima de 37,1 °C, não havendo uma diferença superior a 1 °C quando comparado com a temperatura registrada no ponto de conexão com as outras fases.



Fig. 7. Fotografia Buchas Internas

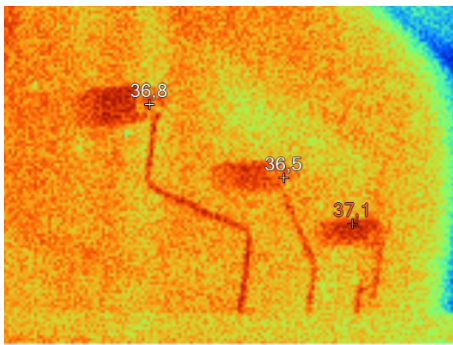


Fig. 8. Termografia Buchas Internas

C. Muflas de Uso Interno

Assim como as Muflas de Uso Externo, o fabricante *TE Energy Connectivity* indicam a temperatura máxima de operação de 105 °C em regime permanente para as Muflas de Uso Interno.

A Figura 9 ilustra as Muflas de Uso Interno da subestação, enquanto a Figura 10 apresenta a termografia realizada em suas terminações. A temperatura mais elevada registrada foi 40,3 °C ao mesmo tempo que a temperatura mais baixa no ponto de análise foi de 39,9 °C.



Fig. 9. Fotografia Muflas Uso Interno

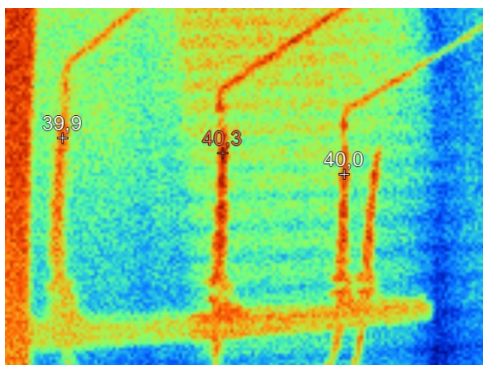


Fig. 10. Termografia Muflas Uso Interno Subestação

D. Transformadores de Potencial

A Figura 11 ilustra os transformadores de potencial, responsáveis pela alimentação do relé de proteção da subestação e também o serviço auxiliar da subestação como a iluminação. A Figura 12 apresenta a termografia realizada, onde foi registrado uma temperatura máxima de 46,6 °C.

Os transformadores de potencial da subestação analisada são caracterizados por serem da classe de temperatura B, isto é, a temperatura de operação pode ser de

80 °C a até uma temperatura máxima de 130° acima da temperatura ambiente.



Fig. 11. Fotografia Transformadores de Potencial

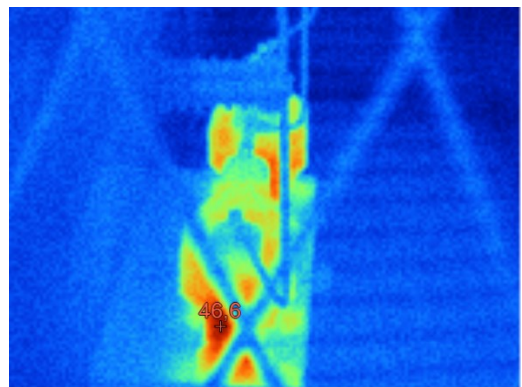


Fig. 12. Termografia Transformadores de Potencial

E. Transformadores de Potência a Seco

A Figura 13 ilustra o primeiro transformador de 500 kVA a seco da subestação, frisando o núcleo de ferro e suas conexões do lado de baixa tensão, de modo que a Figura 14 apresenta a termografia realizada na mesma região.

De acordo com a inspeção, foram identificados pontos de altas temperaturas na região do núcleo de ferro do transformador, em que a maior temperatura registrada foi de 109,6 °C.

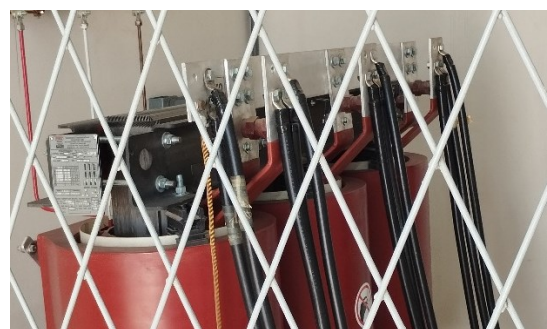


Fig. 13. Fotografia Transformador de Potência 1

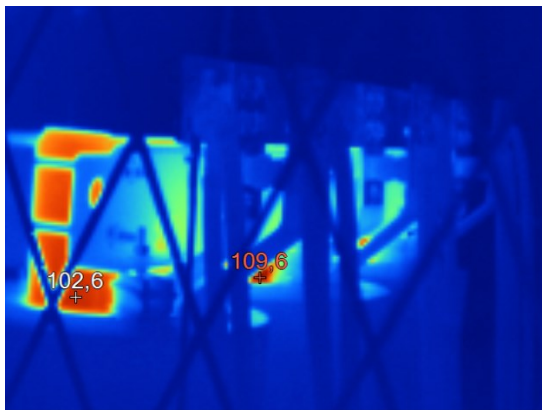


Fig. 14. Termografia Transformador de Potência 1

A Figura 15 ilustra a termografia realizada frisando o núcleo do segundo transformador de 500 kVA da subestação, no qual também apresenta temperatura elevada na região, com a maior temperatura registrada pelo Termovisor de 105,6 °C.

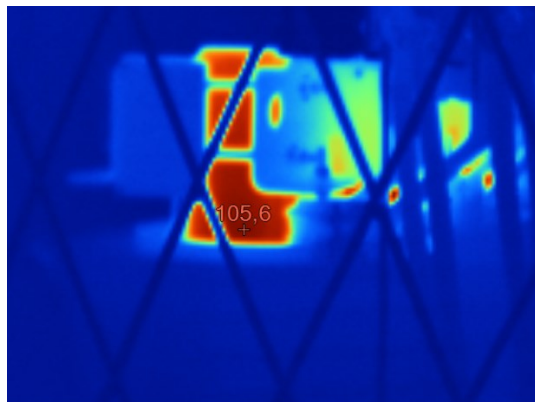


Fig. 15. Termografia Transformador de Potência 2

Utilizando o *software* para análise comparativa entre elementos semelhantes, com isso a Tabela 1 apresenta a maior temperatura em graus Celsius dos seus respectivos equipamentos comparado com a temperatura de operação indicado pelo fabricante.

TABELA 1. COMPARAÇÃO ENTRE MÁXIMA TEMPERATURA REGISTRADA E OPERAÇÃO

Equipamento	Maior Temperatura °C	Temperatura de Operação Indicada °C
Muflas Externa	58,5	105
Buchas de Passagem	37,1	35 - 45
Muflas Interno	40,3	105
Transformador de Potencial	46,6	80
Transformador de Potência 1	109,6	100
Transformador de Potência 2	105,6	100

Para sintetizar a análise termográfica, a Tabela 2 realiza a variação dos registros de temperatura com base nos valores entre os elementos similares, com intuito de fazer uma análise qualitativa de possíveis pontos de aquecimento em conexões.

Podemos destacar a variação das Muflas de Uso Externo da subestação, resultando em um ΔT de 11,6 °C entre fases, enquanto, as Muflas de Uso Interno da subestação apresentaram a temperatura máxima de 40,3 °C e variação menor 1 °C para as conexões das outras fases. A diferença de temperatura entre os tipos de aplicação é devida as condições ambientais em que estão submetidas, visto que as muflas de entrada recebem radiação solar diretamente.

TABELA 2. VARIAÇÃO DE TEMPERATURA ENTRE ELEMENTOS SIMILARES

Equipamento	Variação de Temperatura em °C (ΔT)
Muflas de Entrada	11,6
Buchas de Passagem	0,4
Muflas Subestação	0,8

VII. CONCLUSÃO

Este trabalho foi realizado uma análise termográfica dos equipamentos constituintes de uma subestação abrigada de 1000 kVA da Universidade Federal Rural do Semiárido, localizado em Mossoró/RN. Com objetivo de encontrar possíveis pontos quentes em conexões e analisar se a temperatura dos equipamentos está adequada para a operação.

Com o auxílio do Termovisor, Fluke Ti9, foi possível registrar os dados de temperatura, as Muflas de Uso Externo da subestação com a maior temperatura registrada de 58,4 °C e variação de temperatura de 11,6 °C entre as fases, de fato há uma grande diferença, que pode ser um indicativo para uma maior periodicidade na inspeção do equipamento, porém encontra-se dentro da faixa de operação indicada pelo fabricante.

Uma importante avaliação a ser relatada foi a temperatura de operação dos transformadores de potência da subestação, visto que apresentaram registros de temperaturas de 109,6 °C e 105,6, no qual a ITAM, fabricante do equipamento indica a elevação de temperatura média do enrolamento em 100 °C na plaqueta de identificação do transformador.

Com isso, possibilita abrir questionamentos com respeito a intervenções a serem realizadas no aspecto construtivo das subestações, como a adequação das saídas de ar para a troca de calor com o meio externo para o arrefecimento dos equipamentos.

Portanto, a análise termográfica desenvolvida no presente artigo se mostrou como uma importante ferramenta para a manutenção em sistemas elétricos, com a capacidade de identificar e planejar atividades mantenedoras capazes de antecipar possíveis problemas que possam ocorrer nas instalações.

Tendo em vista essas possibilidades, podem ser propostos trabalhos futuros como revisar previamente o comportamento da carga e programar a inspeção termográfica na subestação em um horário com maior demanda. Assim como, o dimensionamento físico da subestação e revisar as aberturas de ventilação para dissipação de calor estão adequadas.

REFERÊNCIAS

- [1] MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: Ltc Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2017.
- [2] GORCHINSKI, André Luiz. **Relevância de Inspeções Termográficas em Todos os Ramais da Rede de Distribuição de Energia Sob a Ótica das Compensações DIC FIC e DMIC**. 2014. 60 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.
- [3] MAMEDE FILHO, João. **Subestações de Alta Tensão**. Rio de Janeiro: Ltc Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2021.
- [4] KARDEC, Alan; XAVIER, Júlio Aquino Nascif. **Manutenção: função estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 2013.
- [5] VIANA, Herberto Ricardo Garcia. **PCM: planejamento e controle de manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 2002.
- [6] KERSUL, Guilherme Marques. **Uso da Termografia para Inspeções e Manutenção Predial - Estudo de Caso**. 2014. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2014.
- [7] SANTOS, Laerte dos. **Termografia Infravermelha em subestação de alta tensão desabrigadas**. 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006.
- [8] SILVA, Leonardo Nunes Alves da. **Monitoramento e Diagnóstico de Buchas de Alta Tensão**. 2007. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.