

**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO: ENGENHARIA CIVIL**

**GUILHERME MARQUES KERSUL
MATRÍCULA: 21075822**

**USO DA TERMOGRAFIA PARA INSPEÇÕES E
MANUTENÇÃO PREDIAL– ESTUDO DE CASO**

Brasília
2014

GUILHERME MARQUES KERSUL

**USO DA TERMOGRAFIA PARA INSPEÇÕES E
MANUTENÇÃO PREDIAL – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Curso (TC) apresentado
como um dos requisitos para a conclusão
do curso de Engenharia Civil do UniCEUB
- Centro Universitário de Brasília

Orientador: Eng.^a Civil Irene de Azevedo
Lima Joffily, M.Sc

**Brasília
2014**

GUILHERME MARQUES KERSUL

**USO DA TERMOGRAFIA PARA INSPEÇÕES E
MANUTENÇÃO PREDIAL – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Curso (TC) apresentado
como um dos requisitos para a
conclusão do curso de Engenharia
Civil do UniCEUB - Centro
Universitário de Brasília

Orientador: Eng.^a Civil Irene de
Azevedo Lima Joffily, M.Sc.

Brasília, 08 de Dezembro de 2014.

Banca Examinadora

Eng.^a. Civil: Irene de Azevedo Lima Joffily, M.Sc.
Orientadora

Eng.^o. Civil: Jocinez Nogueira Lima, M.Sc.
Examinador Interno

Eng.^o. João da Costa Pantoja, D.Sc.
Examinador Externo

Agradecimentos

A Deus, sempre em primeiro lugar, por me dar força e paciência para concluir a minha segunda engenharia.

À professora Irene, não só pela orientação, mas também por apoiar e incentivar o estudo deste tema;

A todos os professores que fizeram parte da minha formação acadêmica e tiveram bastante paciência com as minhas faltas, pois estava sempre trabalhando.

A todos, que de alguma forma contribuíram para a finalização de mais uma engenharia, muito obrigado!

RESUMO

A manutenção das instalações de um edifício é essencial para a duração dos sistemas e equipamentos, mas principalmente para manter a segurança das pessoas que o habitam. Uma manutenção preditiva e preventiva ajuda a evitar esse tipo de problema. Existem ensaios não destrutivos que podem ser utilizados para avaliar e verificar as instalações e a estrutura da edificação em análise. Um deles é a Termografia, que será apresentada nesta pesquisa, utilizada na manutenção preditiva e preventiva das instalações elétricas. Este trabalho teve como estudo de caso a análise das instalações elétricas em um edifício comercial em Brasília, para identificar anomalias, classificar e planejar a manutenção. Verificou-se que a termografia é eficaz na identificação de anomalias e é uma ferramenta muito importante para a manutenção dos equipamentos. Essa ferramenta permitiu identificar o problema de cada local visitado, já que a olho nu não é possível avaliar uma instalação elétrica ou componentes que estão sendo mal utilizados e apresentam defeitos.

Palavras chaves: Termografia, manutenção, ensaios não destrutivos (END).

ABSTRACT

The maintenance of building facilities is essential for the duration of systems and equipment, but mostly to maintain the safety of the people who inhabit it. A predictive and preventive maintenance helps avoid this kind of problem. There are non-destructive tests that can be used to assess and verify the facilities and the structure of the building in question. One is the Thermography, which will be presented in this research, used in predictive and preventive maintenance of electrical installations. This study was a case study analysis of electrical installations in a commercial building in Brasilia to identify anomalies, sort and plan maintenance. It was found that thermography is effective in identifying anomalies and is a very important tool for maintenance of equipment. This tool allowed us to identify the problem of each place visited, as the naked eye can not evaluate an electrical installation or components being misused and have defects.

Keywords: Thermography, maintenance, non-destructive testing (NDT).

SUMÁRIO

| | |
|--|------------------------|
| RESUMO | 5 |
| 1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1. OBJETIVO | 15 |
| 1.1.1. Objetivo Geral | 15 |
| 1.1.2. Objetivo Específico | 15 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 16 |
| 2.1 Termografia Infravermelha | 16 |
| 2.1.1 Princípios da Termografia | 17 |
| 2.1.2 Espectro eletromagnético | 21 |
| 2.2 Radiação Térmica | 23 |
| 2.3 Emissividade | 24 |
| 2.4 Utilização da câmera | 25 |
| 2.5 Termografia Quantitativa e Qualitativa | 26 |
| 2.6 Aplicações para monitoramento e manutenção preditiva | 30 |
| 2.7 Aplicação Civil | 32 |
| 2.8 Aplicação elétrica | 35 |
| 3 METODOLOGIA DE TRABALHO | 39 |
| 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS | 45 |
| 4.2 Relatório de correções | 51 |
| 4.4 Análise visual | 53 |
| 5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS | 54 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 56 |
| ANEXO A | Tabela de Emissividade |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Corpo com absorção (α), reflexão (ρ) e transmissão (τ)..... | 18 |
| Figura 2 - Simulador de corpo negro absorvor | 19 |
| Figura 3 - Simulador de corpo negro emissor | 20 |
| Figura 4 - Energia refletida e emitida de um determinado objeto | 20 |
| Figura 5- Explicação sobre comprimento de onda | 21 |
| Figura 6 – Espectro Eletromagnético | 23 |
| Figura 7 - Representação do FOV e do IFOV de um termovisor | 25 |
| Figura 8 - Termografia de um transformador..... | 27 |
| Figura 9 - Análise comparativa entre conexões similares..... | 28 |
| Figura 10 - Avaliação quantitativa | 28 |
| Figura 11 - Defeito nos mancais de uma retroescavadeira | 29 |
| Figura 12 - Descolamento de revestimento cerâmico..... | 29 |
| Figura 13 - Manifestação patológica na região das esquadrias (Foto térmica e fotografia)..... | 32 |
| Figura 14 - Patologia indentificada na platibanda (Foto termica sobreposta e fotografia)..... | 33 |
| Figura 15 - Localização de tubulação de esgoto dentro de um pilar..... | 33 |
| Figura 16 - Localização da tubulação do dreno de ar condicionado - Verificação de vazamento | 34 |
| Figura 17 - Localização da estrutura de Edifícios | 34 |
| Figura 18 - Exemplo de análise termográfica, com valor incorreto de emissividade. 37 | |
| Figura 19 - Edifício estudado | 39 |
| Figura 20 - Câmera Termográfica FLIR T420 | 40 |
| Figura 21 - Quadro de Distribuição BT | 41 |
| Figura 22 - Quadro de entrada de energia CEB - BT | 41 |
| Figura 23 - Imagem do painel - Teste de emissividade | 42 |
| Figura 24 - Cabos de baixa tensão - Entrada Baixa Tensão | 45 |
| Figura 25 - Painel de transferência automática | 46 |
| Figura 26 - Avaliação qualitativa dos fusíveis..... | 47 |
| Figura 27 - Medição da fase R | 48 |
| Figura 28 - Medição da fase S | 48 |
| Figura 29 - Medição da fase T | 49 |
| Figura 30 - Régua de contatos auxiliares | 50 |
| Figura 31 - Comparação da régua de contatos | 51 |

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

| | |
|-----------------|----|
| Equação 1 | 18 |
|-----------------|----|

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Emissividade espectral do corpo negro, cinzento, real e espelho perfeito | 19 |
| Tabela 2 - Comparativo entre Termografia quantitativa e qualitativa..... | 27 |
| Tabela 3 - Normas ABNT sobre Termografia | 31 |
| Tabela 4 - Critérios para avaliação da severidade da anomalia térmica..... | 38 |
| Tabela 5 - Parâmetros de medição | 43 |
| Tabela 6 - Relação de locais e equipamentos vistoriados | 44 |
| Tabela 7 - Resumo de anomalias encontradas | 52 |

ÍNDICE DE SIMBOLOS

ε - emissividade

λ – comprimento de onda (m)

α – radiação absorvida

ρ – radiação refletida

t – radiação transmitida

ÍNDICE DE ABREVIACÕES

| | |
|------------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| NBR | Norma Brasileira |
| FOV..... | Fild ofView (Campo de visão) |
| IFOV..... | InfraredFildofView (Campo de visão do infravermelho) |
| ITC..... | Infrared Training Center |

1. INTRODUÇÃO

A termografia, no ramo da manutenção, é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva que tem como base a detecção da radiação infravermelha emitida naturalmente pelos corpos com intensidade proporcional a sua temperatura. Por meio desta técnica é possível identificar regiões ou pontos onde a temperatura está alterada com relação a um padrão pré-estabelecido ou conhecido.

O uso da termografia de infravermelho é fundamental para a manutenção preditiva e preventiva principalmente no setor elétrico, no qual já é bastante utilizada e difundida. Por meio de uma gama de cores, essas imagens apresentam pontos “quentes” que não são percebidos na inspeção visual.

As análises termográficas das instalações mostram os problemas pontuais. No caso de subestações e redes aéreas é possível detectar um ponto quente onde poderá ocorrer uma falha. Essa é uma das formas de ensaio que as concessionárias de transmissão possuem para efetuar manutenções programadas e perícias sobre problemas que possam ocorrer, e evitar a interrupção do fornecimento de energia.

Já na parte de baixa tensão também é possível conferir os circuitos com folga de conexões, falhas de equipamentos e locais de possíveis pontos de ativação de incêndios. Além de prevenir os incêndios com a manutenção adequada e correções das inconformidades a termografia garante o correto funcionamento dos equipamentos.

A inspeção de uma instalação elétrica de baixa tensão deve iniciar-se pelos quadros elétricos, onde se constatam a maioria dos itens de segurança, presentes ou não, na edificação. Inicia-se a inspeção pela entrada de energia, seja ela em baixa ou média tensão. Depois de verificado o transformador, deve ser verificado o barramento geral de distribuição, posteriormente os quadros principais de distribuição, quadros parciais e quadros terminais.

Uma inspeção completa pode ser realizada percorrendo todo o circuito elétrico até a tomada que energiza os equipamentos e cargas. Verificando além dos circuitos, os equipamentos de alta relevância para determinada instalação. Caso

seja encontrada alguma inconformidade deverá ser corrigida de acordo com o grau de urgência ou critério de classificação pré-definidos.

Este trabalho irá apresentar um estudo de caso de um edifício comercial, situado no centro de Brasília. Foi realizada inspeção das instalações elétricas para detecção de pontos críticos, que podem comprometer a segurança e funcionalidade do edifício.

1.1. OBJETIVO

1.1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar as instalações elétricas de uma edificação comercial, fazendo uso de uma câmera termográfica para identificação de problemas.

1.1.2. Objetivo Específico

- Analisar a entrada de energia, transformadores, painéis elétricos, buscando identificar pontos quentes, circuitos com sobrecarga ou até mesmo mau funcionamento de algum equipamento de proteção e componentes;
- Analisar o funcionamento de máquinas e motores, identificando pontos quentes que possam gerar desgaste inadequado de peças;
- Classificar as anomalias encontradas e montar o planejamento de manutenção que se adeque aos horários de funcionamento da Edificação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Termografia Infravermelha

A termografia infravermelha é a ciência de aquisição e análise de informações térmicas a partir de dispositivos de obtenção de imagens térmicas sem contato (ITC, 2014).

Termografia significa “escrever com calor”, do mesmo jeito que fotografia significa “escrever com luz”. A figura gerada é chamada de termograma ou imagem térmica. A emissão da radiação infravermelha dos objetos é o que torna possível a obtenção das imagens sem contato.

A temperatura tem muita importância, grande versatilidade e utilidade para a termografia. Com o passar do tempo, desde sua invenção o mapeamento da energia infravermelha radiada da superfície dos objetos, fez com que fosse possível a aplicação em diversas áreas da engenharia, por exemplo:

- Elétrico
- Construção
- Fornos e caldeiras
- Mecânico, fricção
- Tanques e recipientes
- Problemas de fluxo de fluidos

Além do uso em diversas áreas da engenharia, a termografia também é utilizada nas áreas de Pesquisa e Desenvolvimento, Médica e Veterinária, Controle de Qualidade, Monitoramento de Processos, Testes não destrutivos.

2.1.1 Princípios da Termografia

A termografia por infravermelho baseia-se no fenômeno físico de que todo objeto com temperatura acima de zero absoluto ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$), emite radiação eletromagnética em função da excitação das moléculas das quais é constituído.

Quanto maior for a temperatura maior é a excitação molecular e, conseqüentemente, maior é a intensidade da radiação emitida. Assim, a temperatura de um objeto pode ser determinada pela intensidade da radiação emitida por sua superfície, fato utilizado pela termografia para realizar medidas de temperatura e visualizar a distribuição térmica de uma determinada superfície, sem a necessidade de contato físico (SANTOS, 2012).

A radiação eletromagnética, especificamente a radiação térmica, pode ser emitida nas faixas de ultravioleta, visível, infravermelho e até na faixa de micro-ondas do espectro eletromagnético. Entretanto, para temperaturas típicas encontradas em equipamentos elétricos, a maior parte da radiação térmica é emitida dentro da faixa de infravermelho (CHRZANOWSKI, 2001).

Por essa razão, os termovisores utilizados no sistema elétrico são fabricados com detectores que respondem a essa faixa do espectro, mais especificamente de 3 a 5 μm ou de 8 a 14 μm , sendo a última faixa ainda mais adequada às temperaturas e condições encontradas em uma inspeção de equipamentos de alta tensão desabrigados e a grande maioria dos equipamentos de baixa tensão.

Os conceitos utilizados para avaliação da radiação incidente ou emitida sobre um corpo são expressos nas seguintes formas (ITC, 2010):

Emissão (ϵ) – quando a energia é liberada pelo material (Emitir)

Absorção (α) – quando a energia é retida pelo material (Absorver)

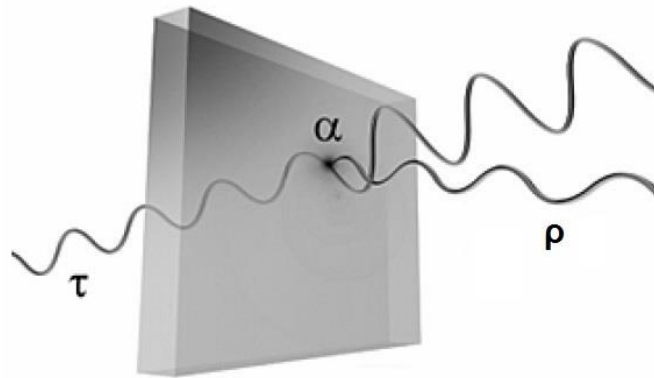
Reflexão (ρ) – quando a energia é refletida pelo material (refletir)

Transmissão (τ) – quando a energia atravessa o material (transmitir)

A emissão térmica dos sólidos está relacionada com a noção do corpo negro. Este é um objeto que absorve toda a energia que incide sobre ele, para qualquer comprimento de onda. Existem duas maneiras de simular um corpo negro, que pode ser estabelecendo uma cavidade praticamente fechada ou utilizando um revestimento absorvente perfeito. O primeiro caso é a cavidade no interior de um sólido que possui apenas um pequeno orifício de dimensões, significativamente pequenas se comparadas com as dimensões da cavidade. O revestimento absorvente perfeito consiste em um tratamento superficial ou uma tinta que quando aplicado em qualquer objeto, este irá absorver praticamente toda a radiação incidente (BARREIRA, 2004).

Os corpos reais, de maneira geral, não são corpos negros. Quando uma radiação incide sobre os corpos reais uma parcela é absorvida (α) e o restante é refletida (ρ) ou transmitida (τ), como pode ser visto na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Figura 1 - Corpo com absorção (α), reflexão (ρ) e transmissão (τ)



Fonte: Adaptado de VERATTI et al. (1997)

Estas parcelas são dependentes do comprimento de onda e sua soma, para um dado comprimento de onda, é sempre igual à unidade (Equação 1). A Tabela 1 apresenta valores particulares de alguns materiais (BARREIRA, 2004).

$$\alpha + \tau + \rho = 1$$

Equação 1

Tabela 1 - Emissividade espectral do corpo negro, cinzento, real e espelho perfeito

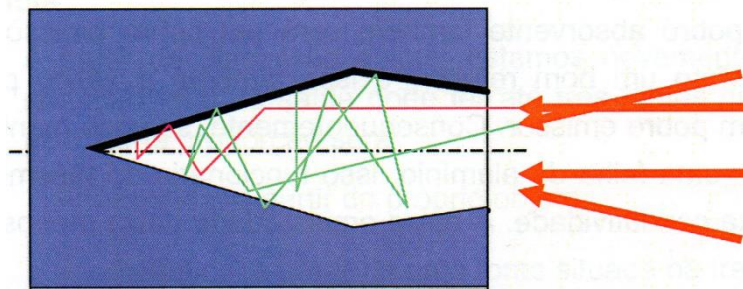
| Material | Emissividade Espectral | Reflexão Espectral | Transmissão Espectral |
|----------------------|--|------------------------------------|-----------------------|
| O corpo negro | $\varepsilon(\lambda) = 1$ | $\rho(\lambda) = 0$ | $\tau(\lambda) = 0$ |
| O corpo transparente | $\varepsilon(\lambda) = 0$ | $\rho(\lambda) = 0$ | $\tau(\lambda) = 1$ |
| O espelho perfeito | $\varepsilon(\lambda) = 0$ | $\rho(\lambda) = 1$ | $\tau(\lambda) = 0$ |
| A superfície opaca | $\varepsilon(\lambda) + \rho(\lambda) = 1$ | | $\tau(\lambda) = 0$ |
| O corpo cinzento | $\varepsilon(\lambda) = \text{constante}$ | $\rho(\lambda) = \text{constante}$ | |

Fonte: BARREIRA (2004)

Um corpo negro é um radiador ideal, mas os corpos negros não existem na vida real. Os simuladores de corpo negro são muito importantes na termografia. Eles são usados para a calibragem dos sistemas de medição infravermelha. Um simulador de corpo negro chegará muito perto do corpo negro ideal, dentro dos limites de seus propósitos (ITC, 2014).

A Fonte: ITC (2014), apresenta um modelo de simulador de corpo negro absorvendo toda a radiação incidente.

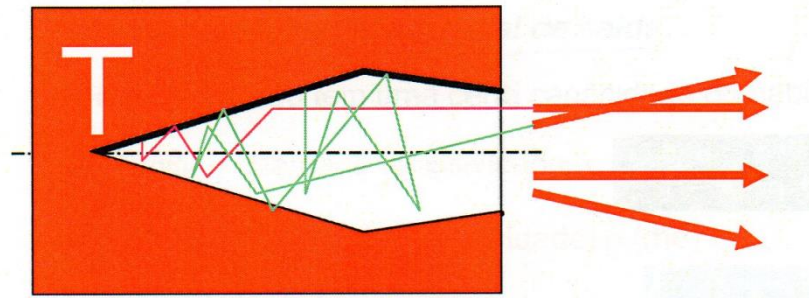
Figura 2 - Simulador de corpo negro absorvor



Fonte: ITC (2014)

Um corpo negro ideal absorverá 100% da radiação incidente, o que significa que ele nem refletirá nem transmitirá qualquer radiação. A Figura 3, como mostra a Tabela 1, apresenta um modelo de simulador de corpo negro emitindo a 100% de eficiência. O que significa que nenhum outro objeto na mesma temperatura será capaz de emitir mais energia.

Figura 3 - Simulador de corpo negro emissor



Fonte: ITC (2014)

Nas situações de medição real em campo nunca encontraremos corpos negros e sim “corpos reais”. Os corpos reais podem ter todas as características mencionadas como emitir, absorver, refletir e transmitir a radiação infravermelha. Mas a maioria dos alvos não são transmissivos, e sim opacos, logo a transmissividade será zero (ITC, 2014).

Dessa forma, a emissividade somada à refletividade de um determinado objeto é igual à unidade, como pode ser visto na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Figura 4 - Energia refletida e emitida de um determinado objeto



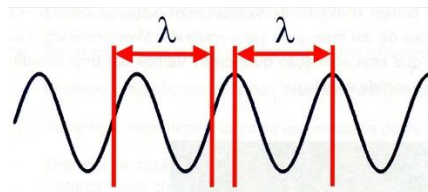
Fonte: ITC (2014)

2.1.2 Espectro eletromagnético

A radiação eletromagnética cobre um vasto espectro de diferentes tipos de radiação, que usamos para uma ampla variedade de propósitos, já que a energia eletromagnética não precisa de um meio para ser transferida. Quando tratamos de radiação eletromagnética, temos que avaliar o tipo de onda a ser transmitida, e há muitas maneiras de descrever uma onda, por exemplo frequência, amplitude, comprimento de onda, velocidade etc.

Em termografia, as ondas eletromagnéticas são geralmente caracterizadas pelos seus comprimentos de onda, λ (lambda). A Fonte: mostra a que se refere o termo “comprimento de onda”.

Figura 5- Explicação sobre comprimento de onda



Fonte: ITC (2014)

O comprimento de onda é a distância entre um pico e o próximo. A unidade mais comum para o comprimento de onda na termografia é o micrômetro ($1 \mu\text{m} = 10^{-6}\text{m} = 1/1000\text{mm}$). Esta unidade é referida como “mícron”. As ondas eletromagnéticas viajam a uma velocidade muito elevada, mais precisamente na velocidade da luz. A velocidade da onda varia com o meio, por isso ela é geralmente definida para o vácuo. A velocidade da luz é representada pela letra c (minúscula), e no vácuo ela é $c = 299.792,458 \text{ m/s}$, ou aproximadamente 300.000 km/s .

As faixas de comprimentos de onda que nos interessam são:

- Gamma
- Raio-X
- Ultravioleta

- Visível
- Infravermelho
- Microondas
- Ondas de Rádio

A luz visível é bastante semelhante à luz infravermelha em muitos aspectos. A luz visível branca é uma mistura de comprimentos de onda e quando vemos um objeto, por exemplo, azul, é porque o objeto tem a habilidade de refletir mais a parte azul do espectro do que outros comprimentos de onda.

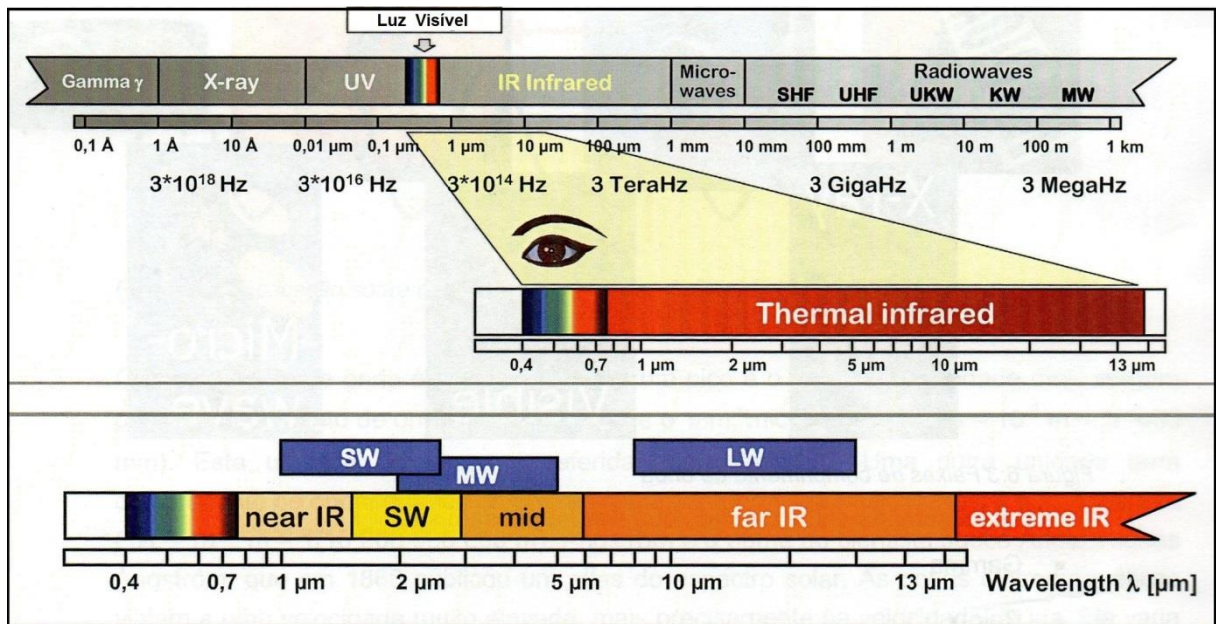
Diferentes comprimentos de onda são percebidos pelo olho humano como cores diferentes. As limitações do olho são de aproximadamente $0.4\mu\text{m}$ (violeta) para $0.7\mu\text{m}$ (vermelho). Neste intervalo estão situadas todas as outras cores do espectro visível, conforme vemos num arco-íris.

As faixas de comprimentos de onda não são muito bem definidas. Elas mudam gradualmente e se sobrepõem mutuamente. As definições são mais baseadas na utilização da faixa de ondas do que nas suas características físicas propriamente ditas. Visível é visível porque conseguimos enxergar. Isso varia entre as pessoas e as diferentes espécies de animais. Também há várias definições do que significa infravermelho, e mais sugestões ainda para a denominação das diferentes partes da faixa de ondas infravermelhas.

A Fonte: apresenta uma ideia do que são alguns dos comprimentos de onda, para diferentes faixas. As faixas mais importantes para este estudo são (ITC,2014):

- Visível: $0.42\text{-}0.78\mu\text{m}$
- Infravermelho Próximo: $0.8\text{-}1.7\mu\text{m}$
- Onda curta: $1.0\text{-}2.5\mu\text{m}$
- Infravermelho Onda média: $2\text{-}5\mu\text{m}$ (antigamente chamada de onda curta)
- Infravermelho Onda longa: $7,5\text{-}14\mu\text{m}$

Figura 6 – Espectro Eletromagnético



SW (Short Wave) significa OC (Onda Curta) e LW (Long Wave) significa OL (Onda Longa).

Fonte: ITC (2014)

2.2 Radiação Térmica

Radiação térmica é um conceito mais amplo do que simplesmente infravermelho. É a radiação que tem a habilidade de transmitir calor por emissão e absorção.

Não é apenas a radiação infravermelha que é capaz de transferir energia térmica. Na verdade, a radiação solar que recebemos aqui na terra tem sua máxima intensidade na faixa de espectro visível.

A radiação térmica ocorre na faixa do espectro eletromagnético inteiro, e sua intensidade depende da temperatura da fonte e em que parte do espectro você está olhando. Nas temperaturas que encontramos ao nosso redor, a intensidade mais alta está na faixa do infravermelho.

2.3 Emissividade

A emissividade (ϵ) de uma superfície é a razão entre a radiância dessa superfície e a radiância do corpo negro. Este fator depende do comprimento de onda, da direção de observação em relação à superfície em estudo e da temperatura dessa superfície, conforme Barreira (2004).

A condição da superfície do componente influencia na emissividade. A emissividade representa a capacidade de uma superfície de emitir mais ou menos radiação. Como os termovisores não medem temperatura diretamente e sim radiação, as leituras de temperatura fornecidas pelo termovisor tornam-se muito dependentes da emissividade (MADDING, 2002).

Os valores de emissividade vão de 0 (zero), para um refletor perfeito, a 1 (um), para o emissor perfeito (Corpo Negro). A emissividade pode variar com a direção de observação relativa à superfície, com o comprimento de onda e com a temperatura da superfície (GAUSSORGUES, 1994). No anexo A encontra-se uma tabela com a emissividade de vários materiais.

Para realizar medidas corretas de temperatura, o termografista deve conhecer a emissividade da superfície e informar ao termovisor. Isso pode ser feito medindo a emissividade da superfície antes de se realizar a medição. Em sistemas elétricos, principalmente de alta tensão, a medição de emissividade, durante a inspeção, se torna praticamente impossível. Para reduzir os erros relacionados com a emissividade, o termografista deve buscar fazer a medição de temperatura nas áreas da anomalia onde a emissividade é maior. Áreas com oxidação, corrosão, sujeira ou cavidades apresentam um incremento da emissividade e consequente aumento na exatidão da medida de temperatura realizada pelo termovisor. O termografista deve buscar também, uma visão mais perpendicular da superfície da anomalia, a fim de evitar os erros de emissividade devido ao ângulo de visão (SANTOS, 2012).

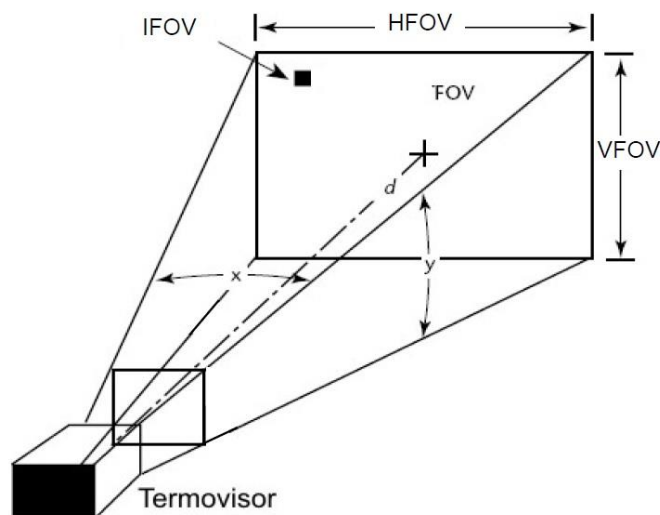
2.4 Utilização da câmera

Para utilização do termovisor é necessário alimentá-lo com informações e parâmetros. Além disso, é importante entender como o termovisor opera, como ele analisa as imagens, qual a relevância dos ângulos no momento da leitura e qual precisão se consegue extrair de uma leitura.

A Resolução espacial define o menor detalhe de imagem que pode ser percebido pelo termovisor. É função do tamanho do detector e da óptica do sistema. Na maioria das vezes é especificado em radianos e definido como “Campo de Visão Instantâneo” (Instantaneous Field ofView – IFOV).

O IFOV é equivalente à projeção de um pixel na superfície observada, e a soma de todos os IFOVs forma o Campo de Visão (FOV) que é a área total que pode ser vista pelo termovisor, como mostra a Figura 7. Geralmente o FOV é declarado em graus pelo fabricante (SANTOS, 2012).

Figura 7 - Representação do FOV e do IFOV de um termovisor



Fonte: Kaplan (2007).

A resolução de medida define o menor objeto que pode ter sua temperatura medida com exatidão a uma determinada distância. Raramente a resolução de medida é declarada nas especificações do fabricante do termovisor. Por essa razão, em muitas situações o objeto poderá ser detectado pelo termovisor, mas a sua temperatura não poderá ser medida corretamente, isto é, dentro das especificações do fabricante.

A resolução de medida, quando fornecida pelo fabricante, é especificada em radianos e definida como “Campo de Visão Instantâneo de Medida” (Measuring Instantaneous Field ofView – MIFOV ou IFOVm).

Leituras de temperatura obtidas fora dos limites da resolução de medida, normalmente serão menores que a leitura real, o que pode ter grande influência na análise da gravidade do defeito (SNELL, 2005).

2.5 Termografia Quantitativa e Qualitativa

O que faz a termografia uma ferramenta verdadeiramente única e valiosa é principalmente a imagem. O fato de que podemos ver padrões e determinar o lugar de uma anomalia é muito importante. Uma única leitura de temperatura apenas não nos dá informações suficientes. Para avaliar essas imagens utilizaremos os métodos Qualitativos (comparativo) e Quantitativos (medição).

A Termografia qualitativa depende da análise dos padrões térmicos para revelar a existência e localizar a posição de anomalias e avaliá-las. Utiliza-se a termografia qualitativa de forma mais ampla, pois se algo estiver visivelmente normal seguimos em frente. Se algo for suspeito deve-se parar e analisar se realmente existe algo de errado.

A termografia quantitativa usa medições de temperatura como critério para determinar a seriedade de uma anomalia, para conseguir estabelecer prioridades de reparo. Quando uma anomalia é descoberta, precisamos saber qual a seriedade da mesma. Normalmente, no momento da identificação da anomalia, não se possuem recursos suficientes para cuidar imediatamente de todo o problema que ocorre.

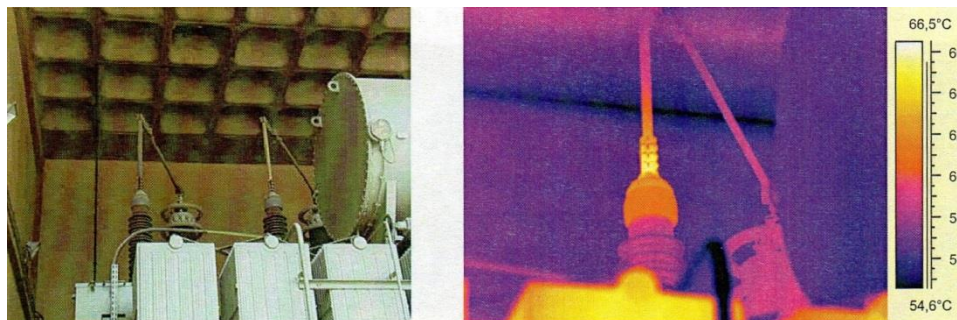
Dessa forma, a anomalia deve ser classificada em ordem de prioridade para o processo de manutenção e reparação. A partir do momento que aquele ponto gera uma suspeita deve ser acompanhado. Esse tipo de avaliação deve fornecer uma série de critérios rigorosos para determinar a seriedade do problema, como tipo de material e temperatura de trabalho segundo norma ou fabricante. Outros critérios incluem: carga, equipamento, criticidade, segurança e fatores ambientais tais como a velocidade dos ventos.

Tabela 2 - Comparativo entre Termografia quantitativa e qualitativa

| QUALITATIVA | QUANTITATIVA |
|--------------------------------|---|
| Análise de PADRÕES na imagem | Usada para ajudar a CLASSIFICAR a seriedade de uma anomalia |
| Descobre se há alguma anomalia | Medição de temperatura envolvida |
| Descobre onde ela está | É feita compensação |
| Temperatura aparente apenas | Nem sempre é relevante |

Fonte: ITC (2014)

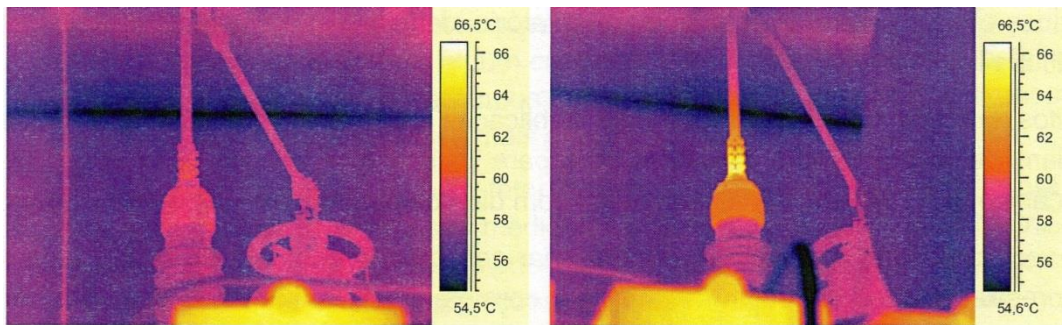
Esse tipo de avaliação é extremamente importante, principalmente pelo fato de estarmos trabalhando em algum local que possui outros equipamentos e materiais trabalhando nas mesmas condições de carga e temperatura. Por exemplo, ao iniciar uma inspeção termográfica em um transformador, a avaliação qualitativa é o que indica os pontos de anomalias (Figura 8).

Figura 8 - Termografia de um transformador

Fonte: ITC (2014)

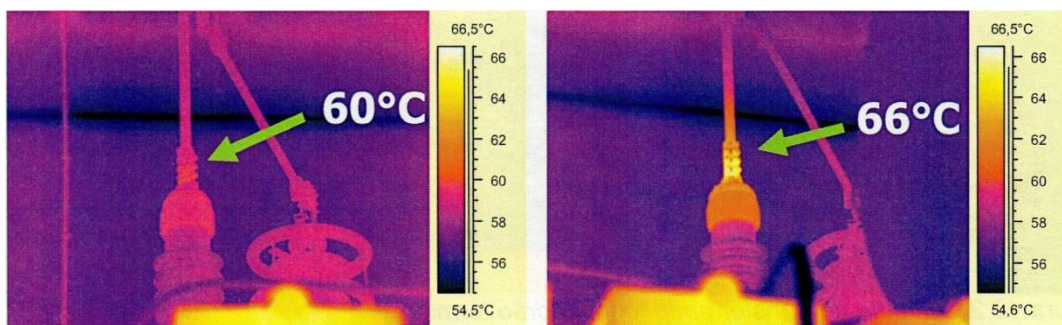
Depois de detectado o ponto da anomalia é feito um comparativo com uma conexão semelhante, e descobrimos que o padrão apresentado é completamente diferente, como mostra a Figura 9. A conexão fria não tem padrão suspeito, e inicialmente é avaliada como normal, e a segunda conexão, passa para a avaliação quantitativa (Figura 10).

Figura 9 - Análise comparativa entre conexões similares



Fonte: ITC (2014)

Figura 10 - Avaliação quantitativa



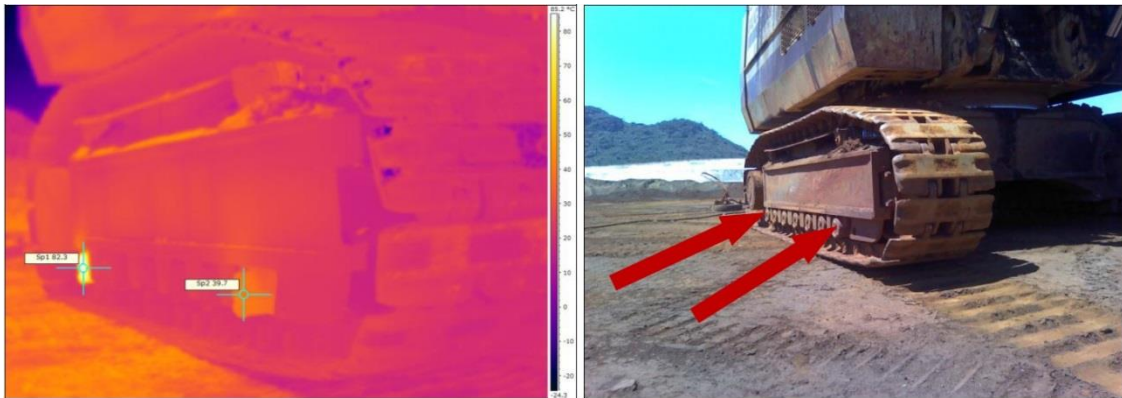
Fonte: ITC (2014)

A comparação é sempre necessária. Em vários casos são feitas comparações sem se pensar muito a respeito. Em termografia de instalações elétricas, podemos comparar uma fase com outra, uma conexão quente com o cabo que está um pouco afastado ou a linha de alimentação com a linha de saída.

Em aplicações de isolamento térmica (edifícios e casas) ou fornos de usinas (refratário), a termografia das paredes deve apresentar regularidade, ou pelo menos apresentar um padrão esperado. Se um ponto em particular se desviar do padrão normal, uma análise mais criteriosa deve ser realizada.

Comparar as peças é um excelente parâmetro para identificação de erros. A verificação qualitativa é de extrema importância, como pode ser visto em uma aplicação mecânica na Figura 11.

Figura 11 - Defeito nos mancais de uma retroescavadeira



Fonte: ITC (2014)

Muitas vezes, durante uma avaliação, o valor da temperatura não é tão importante, como a detecção de descolamento de revestimento cerâmico em fachadas. Podemos observar na Figura 12, abaixo, a região que o descolamento se encontra, e a temperatura não será relevante e sim a diferença de padrão visto nas imagens. Ao se aproximar do local comprometido é possível ver somente duas fileiras estufadas no total de 10 peças, mas ao analisar a imagem térmica vemos que o problema já se alastrou para mais de 36 peças cerâmicas da fachada.

Figura 12 - Descolamento de revestimento cerâmico



Fonte: Do autor (2014)

2.6 Aplicações para monitoramento e manutenção preditiva

Atualmente, o uso do sensoriamento térmico e imagens térmicas para o monitoramento e manutenção preditiva, é provavelmente o mais comum de todas as aplicações dentro da termografia. De verificações pontuais periódicas das temperaturas de mancais de máquinas de rotação ou quadros elétricos até uso para programas de manutenção preditiva totalmente documentada em grandes plantas. O monitoramento das condições de funcionamento é cada vez mais utilizado com a implantação de mais equipamentos de termográfica (KAPLAN, 2007).

Muitas vezes a implantação desses programas de monitoramento com equipamentos de termografia, é marcada por comportamento errático ou uso operacional incorreto do equipamento, tornando-se uma operação dispendiosa e ineficiente, o que leva ao fracasso desse tipo de serviço.

O uso de sensores térmicos de infravermelho e geradores de imagens têm crescido ao longo dos últimos 25 anos e se tornado universalmente aceito para a operação e manutenção de usinas de energia e transmissão. Os dados de termografia de centenas de pesquisas de linha de energia foram recolhidos e as normas têm sido desenvolvidas para o comportamento térmico de equipamentos elétricos e distribuição elétrica.

Atualmente, no Brasil, a ABNT possui diversas normas sobre o tema “Termografia”, e que podem ser utilizadas como referência. A Tabela 3 apresenta as normas em vigor.

Tabela 3 - Normas ABNT sobre Termografia

| Normas em vigor |
|--|
| ABNT-NBR-16292:2014 Ensaio não destrutivo — Termografia — Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas |
| ABNT-NBR-15572:2013 Ensaio não destrutivo — Termografia — Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos |
| ABNT-NBR-15866:2010 Ensaio não destrutivo — Termografia — Metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos |
| ABNT-NBR-15763:2009 Ensaio não destrutivo - Termografia - Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência |
| ABNT-NBR-15718:2009 Ensaio não destrutivo — Termografia — Guia para verificação de termovisores |
| ABNT-NBR-15424:2006 Ensaio não destrutivo - Termografia - Terminologia |

Fonte: ABNT (2014)

A Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção (Abendi) é outra entidade técnico-científica, fundada em 1979 com a finalidade de difundir as atividades de Ensaios Não Destrutivos (END) e Inspeção. A Abendi possui em seu *website*, muitos documentos, normas e referências que podem ser de grande utilidade para termografistas e suas análises.

Um exemplo da importância de monitoramento através da termografia é “O Plano Mínimo de Manutenção” publicado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL que define as atividades mínimas de manutenção preditiva e preventiva e suas periodicidades para transformadores de potência e autotransformadores, reatores, capacitores, disjuntores, chaves seccionadoras, transformadores para instrumentos, para-raios e linhas de transmissão. Esse plano informa, dentre várias outras, que as inspeções termográficas devem ser realizadas de 6 em 6 meses.

2.7 Aplicação Civil

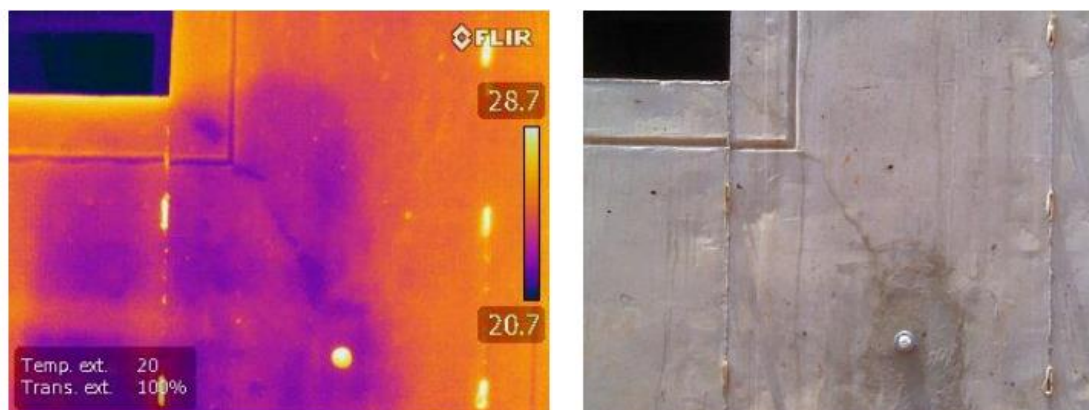
A Termografia infravermelha na Engenharia Civil vem ganhando força com estudos realizados em diversas áreas da construção, como por exemplo paredes de concreto moldadas *in loco*.

Segundo um estudo realizado por Alves e Sousa (2014), os resultados obtidos, baseiam-se na distribuição da temperatura superficial ao longo da parede de concreto, onde sua análise só é possível devido à medição da distribuição espacial da radiação térmica, emitida pela superfície do objeto em estudo.

A análise qualitativa das fotos térmicas fundamenta-se através de imagens coloridas, as quais possibilitam a identificação de algum dano ou deformidade nas paredes de concreto.

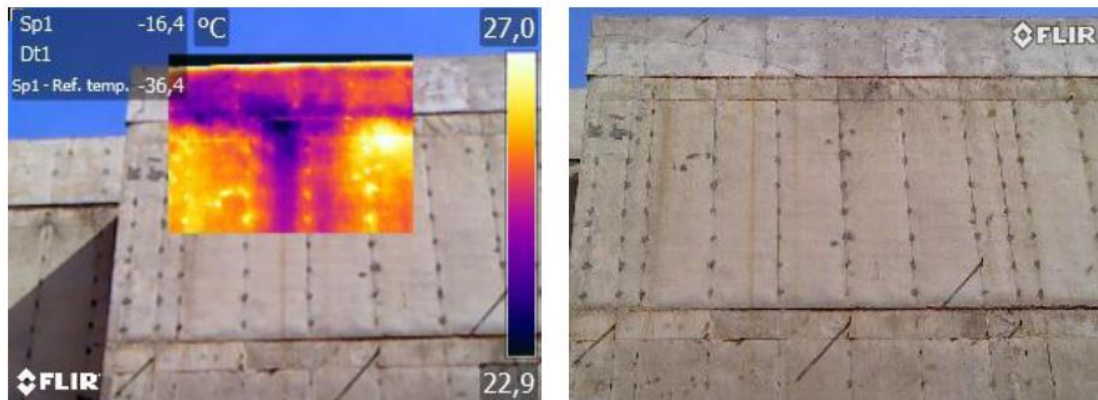
Utilizando a câmera termográfica, é possível observar falhas como fissuras e pontos de infiltração, em que a imagem aparece mais clara (indo para o tom do amarelo), onde a temperatura obtida é mais alta, e locais onde a imagem aparece mais escura (indo para o tom preto), onde a temperatura é mais baixa, conforme mostra a Figura 13 e Figura 14.

Figura 13 - Manifestação patológica na região das esquadrias (Foto térmica e fotografia)



Fonte: Alves e Sousa (2014)

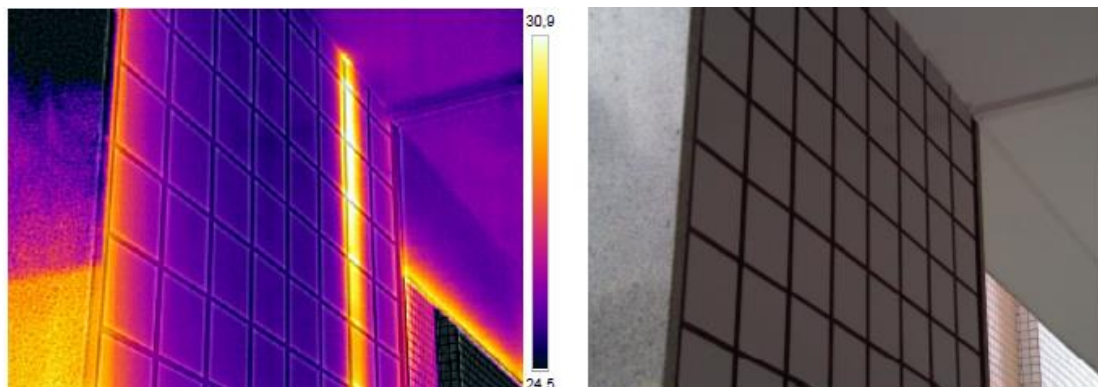
Figura 14 - Patologia indenticada na platibanda (Foto termica sobreposta e fotografia)



Fonte: Alves e Sousa (2014)

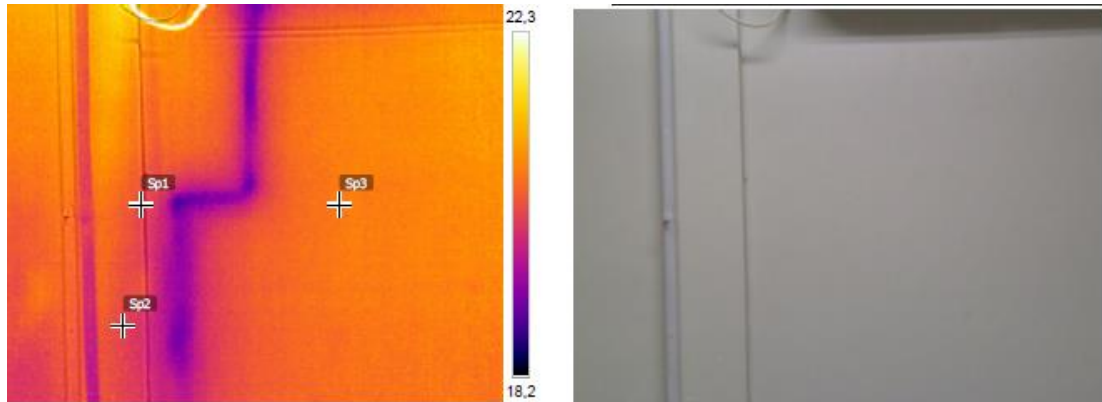
Existem diversas aplicações para a termografia na área da construção e manutenção de edifícios, como pode ser visto na Figura 15, a identificação de tubos de queda ao lado do pilar. Já a Figura 16 mostra a localização do dreno do ar condicionado dentro da alvenaria, podendo verificar que não existem vazamentos na tubulação.

Figura 15 - Localização de tubulação de esgoto dentro de um pilar.



Fonte: Do Autor

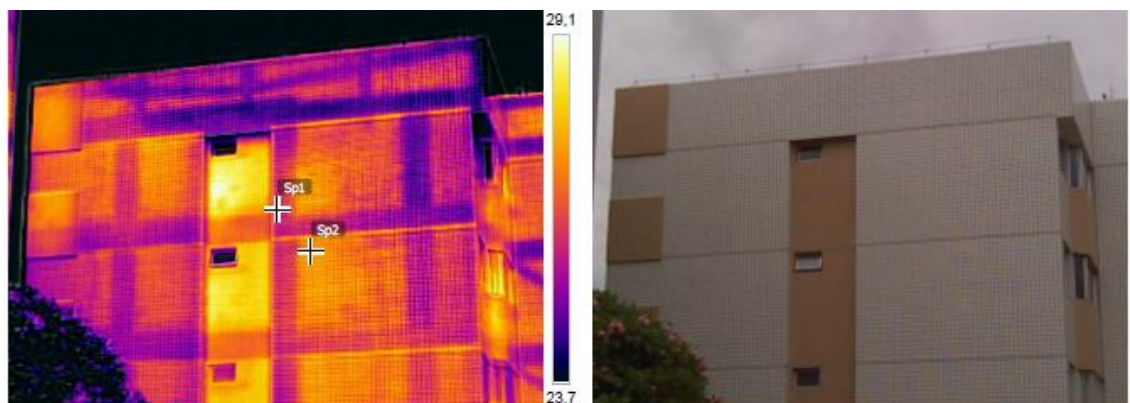
Figura 16 - Localização da tubulação do dreno de ar condicionado - Verificação de vazamento



Fonte: Do Autor

Com o uso da termografia também é possível localizar os elementos estruturais, como mostra a Figura 17. Essa informação é extremamente útil, principalmente quando se trata de edifícios antigos e que não possuem o projeto de estrutura.

Figura 17 - Localização da estrutura de Edifícios



Fonte: Do Autor

2.8 Aplicação elétrica

A aplicação elétrica, é a mais comum no uso da termografia. A norma NBR 15572 (ABNT, 2013), na sua revisão mais atual, define e qualifica os envolvidos na inspeção termográfica, onde, no item 5 – Responsabilidades de pessoas, define:

- Inspetor termografista – pessoa responsável pela realização da inspeção e que tem conhecimentos dos equipamentos a serem inspecionados; que é capaz de executar e interpretar os resultados; conhece a operação do termovisor e obedece as práticas e normas de segurança (NR 10) e da empresa.
- Assistente qualificado – pessoa que tem conhecimento sobre a operação do equipamento a ser inspecionado e sobre os requisitos de segurança da NR 10.
- Usuário final – pessoa que assume a responsabilidade por consequências provenientes de ações tomadas, ou não, como os resultados obtidos da inspeção e que disponibiliza um assistente qualificado que tenha conhecimento sobre a operação e histórico dos equipamentos a serem inspecionados pelo termografista.

Como citado, para execução de uma inspeção termográfica, deve-se seguir procedimentos e conhecer as teorias nas quais serão baseadas para a produção do relatório final, dentre elas estão:

- Conhecimentos básicos para a realização da inspeção;
- Tipos de termografia;
- Requisitos e formação – A equipe deve ser formada por profissionais com treinamentos específicos e reconhecimento formal por um organismo de certificações (item 4, NBR 15572:2013). Além disso, os profissionais envolvidos deverão possuir treinamento em NR 10 Básico e Sistema Elétrico

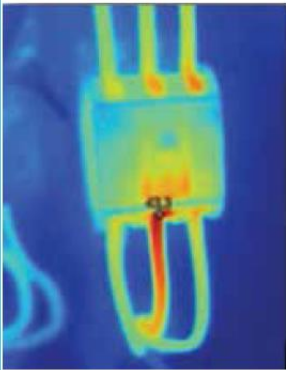
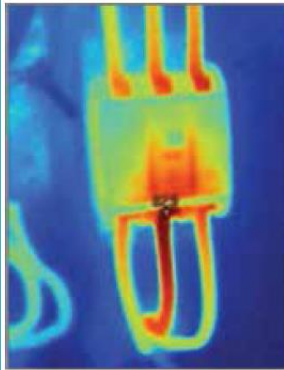
de Potência (SEP), conforme determina o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE);

- Máxima Temperatura Admissível (MTA) – O objetivo da inspeção termográfica é a detecção de pontos quentes, sobreaquecimento em equipamento que normalmente não apresenta essa diferença de temperatura quando comparado sem condições de operação normal. Essas anomalias por aquecimento são geradas por diversos motivos, dentre eles conexões mal fixadas, curtos-circuitos, sobrecargas e desequilíbrios. Como já citado, o termografista deverá ter o conhecimento da temperatura máxima sob a qual o equipamento a ser inspecionado pode funcionar sem causar nenhum transtorno ao próprio equipamento, e do sistema elétrico em que esse equipamento está operando. Para essas informações é preciso, além de conhecer as normas brasileiras e internacionais, consultar os manuais dos equipamentos;
- Fatores que afetam a medição:
 - Distância;
 - Reflexibilidade;
 - Foco;
 - Temperatura ambiente;
 - Faixa de temperatura;
 - Umidade do ar;
 - Emissividade;
 - Clima;
 - Transmissividade;

Dentre esses fatores, o item que se destaca é a utilização do valor correto da emissividade. A seguir, está um exemplo de utilização da emissividade incorreta. Observa-se que, na utilização da emissividade igual a 0,21, houve uma elevação da temperatura de aproximadamente 40 °C modificando a análise e, conseqüentemente, um erro na ação corretiva.

A emissividade errada pode gerar uma leitura totalmente incorreta, já que é um o parâmetro mais importante para a avaliação quantitativa. Por isso, conhecer os materiais, temperaturas de trabalho e a forma como emitem a radiação é de extrema importância.

Figura 18 - Exemplo de análise termográfica, com valor incorreto de emissividade.

| Análise Termográfica | |
|--|---|
| Equipamento: | Disjuntor Tripolar - In=30A |
| Problema Encontrado: | Elevação da temperatura na fase B do disjuntor |
| Emissividade = 0,95 | Emissividade = 0,21 |
| Temp. Fase B = 43,3°C | Temp. Fase B = 82,9°C |
|  |  |
| Prioridade da intervenção | 4 |
| Prioridade da intervenção | 1 |
| Medidas corretivas na próxima manutenção periódica | Medidas corretivas necessárias imediatamente |

Fonte: Caramalho(2012)

O Procedimento de trabalho, de acordo com a NBR 15572 (ABNT, 2013), item 9, descreve diversos procedimentos para serem seguidos pelos envolvidos na inspeção, dentre os quais podemos citar:

- Preparação dos equipamentos e materiais: câmera termográfica calibrada, termo higrômetro calibrado, alicate amperímetro, entre outros;
- Práticas para inspeção: designação de assistente qualificado pelo usuário final, informações sobre a instalação (por exemplo: zonas de riscos e controlada); efetuar os ajustes nos equipamentos (emissividade), observação

do ângulo de inspeção entre o termovisor e o ponto a ser inspecionado, entre outros;

- Práticas de segurança: observar EPI e zona livre para posicionamento do termografista, realizar uma inspeção visual verificando possíveis anomalias.
- Grau de intervenção – A revisão mais recente da ABNT NBR 15572:2013 menciona que: “a avaliação da severidade da anomalia térmica deve ser realizada seguindo os critérios próprios do usuário final, requisitos normativos, quando eventualmente adotados, ou recomendações do fabricante”. Para a análise termográfica nos baseamos no critério retirado da Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment. Além disso, a norma ABNT NBR 15866:2010 descreve que uma anomalia pode ser referenciada em relação a:
 - I – um valor estabelecido pelo fabricante nas condições nominais (MTA);
 - II – um elemento similar adjacente (DELTA T);
 - III – um valor estabelecido pelo usuário final com base no histórico operacional;

A Tabela 4 apresenta a classificação da prioridade a partir dos critérios delta T e as devidas ações recomendadas, de acordo Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment (2008).

Tabela 4 - Critérios para avaliação da severidade da anomalia térmica

| PRIORIDADE | DELTA T | AÇÃO RECOMENDADA |
|-------------------|----------------|---|
| 4 | 1° C a 10° C | Medidas corretivas devem ser tomadas no próximo período de manutenção |
| 3 | >10°C a 20 °C | Medidas corretivas com agendamento |
| 2 | >20°C a 40°C | Medidas corretivas assim que possível |
| 1 | >40°C | Medidas corretivas imediatas |

Fonte: Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment.

3 METODOLOGIA DE TRABALHO

Este trabalho consiste em um estudo de caso para avaliar as instalações elétricas de baixa tensão, utilizando a termografia. Buscou-se verificar a presença de pontos quentes e fora do padrão de utilização em um edifício comercial, situado no centro de Brasília e apresentado na Figura 19.

O objetivo final do trabalho é detectar possíveis pontos de falha utilizando uma câmera termográfica, montar um relatório com os pontos avaliados, classificar o grau de intervenção para colaborar com o planejamento de manutenção do edifício. Dessa forma será possível evitar paradas emergenciais ou até mesmo interrupções indesejadas, além de garantir a segurança dos usuários.

Figura 19 - Edifício estudado



Fonte: Do autor (2014)

3.1 Equipamento Utilizado

A Figura 20 ilustra o equipamento utilizado neste trabalho, trata-se de uma câmera termográfica, modelo Flir T420. A Tabela 5 apresenta as características da câmera, como a faixa de temperatura que vai de -20°C a 650°C , atendendo as temperaturas avaliadas neste trabalho.

Figura 20 - Câmera Termográfica FLIR T420



Tabela 5 - Características da câmera termográfica FLIR T420 (FLIR, 2013)

| | |
|-----------------------|--|
| Faixa de temperatura | -20°C a 650°C |
| Precisão | $\pm 2^{\circ}\text{C}$ |
| Campo de visão | $25^{\circ}\times 19^{\circ}/0,4\text{m}$ |
| Foco | Manual e automático |
| Faixa espectral | $7,5$ a $13\mu\text{m}$ |
| Taxa de enquadramento | 60Hz |
| Sensibilidade Térmica | $<0,05^{\circ}\text{C}$ a 30°C |
| Tipo de detector | Matriz plano focal (FPA) |
| Modos de Imagem | Térmica/Visual;/Fusão |
| Lentes | 25°C |
| Emissividade | Ajuste $0,1$ a $1,0$ |

3.2 Análise da planta

Para a inicialização da inspeção, foi realizado um estudo preliminar, juntamente com o engenheiro responsável pela equipe de manutenção do Edifício. Após levantar um histórico de falhas, áreas críticas, equipamentos de uso contínuo, o diagrama Unifilar Geral também foi analisado.

A edificação é alimentada pela CEB - Companhia Energética de Brasília, em média tensão de 13,8kV. Possui uma subestação abrigada de 3MW, composta por 3 transformadores de 1mW, que rebaixam a tensão para 380/220 Volts. A subestação encontra-se no primeiro subsolo.

O quadro de distribuição geral e os principais quadros de distribuição ficam localizados próximos a subestação, como podem ser vistos nas Figura 21 e Figura 22.

Figura 21 - Quadro de Distribuição BT



Fonte: Do autor (2014)

Figura 22 - Quadro de entrada de energia CEB - BT



Fonte: Do autor (2014)

3.3 Anamnese

Conforme informado pela administração do edifício, houve um evento que causou o desligamento das instalações e facilidades de uma das empresas locadas no edifício, causando prejuízos operacionais e transtornos administrativos.

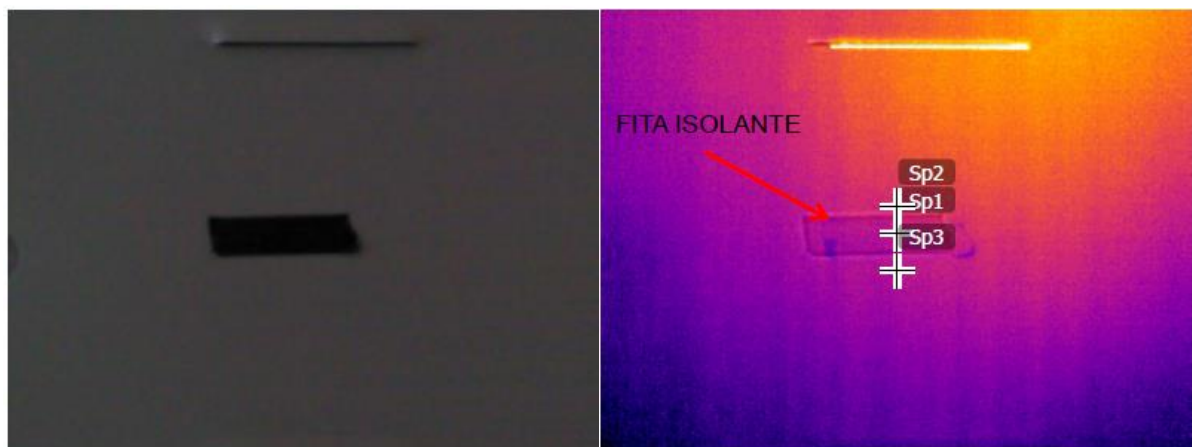
Foi necessário realizar um diagnóstico para avaliar a segurança sistêmica do condomínio e dos outros condôminos e usuários que necessitam de alta segurança na edificação, por desempenharem atividades críticas, como Bancos Internacionais, Agências Governamentais, Empresas de Tecnologia entre outras instituições.

3.4 Aferição dos parâmetros da Instalação

Antes da realização do trabalho, optou-se por realizar um estudo prévio para conhecimento dos materiais e definição de todos os parâmetros do equipamento. Este teste foi executado dentro da subestação, utilizando material de emissividade conhecida e similar aos que seriam verificados.

O teste consiste em avaliar a capa de isolamento do cabo, que é de borracha e possui alta emissividade. Outro teste realizado foi quanto a temperatura dos painéis de metal. Utilizou-se um material de emissividade alta e conhecida, como uma fita isolante, fixada na porta do painel com as mesmas características dos demais painéis.

Figura 23 - Imagem do painel - Teste de emissividade



Fonte: Do autor (2014)

Pôde-se observar, como apresentado na Tabela 6, que as temperaturas medidas no painel metálico, estão similares ao objeto de emissividade conhecida, que foi fixado para conferência e correção.

Tabela 6 - Parâmetros de medição

| Emissividade | Temperatura Refletida | Sp1 Temperatura | Sp1 Emissividade | Sp2 Temperatura | Sp2 Emissividade | Sp3 Temperatura | Sp3 Emissividade |
|--------------|-----------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| 0.95 | 25.0 °C | 28.0 °C | 0.95 | 28.2 °C | 0.95 | 27.8 °C | 0.95 |

Fonte: Do autor (2014)

A emissividade utilizada para medição dos materiais de isolamento e dos painéis de metal foi de 0,95. Este valor corresponde ao fornecido pelo fabricante da câmera termográfica, que pode ser encontrada no manual.

Para a medição dos demais componentes com materiais de isolamento diferentes, foram testadas as emissividades de 0,90 e 0,92. A alteração mínima da emissividade e temperatura refletida, representou uma alteração de $\pm 2^{\circ}$ C. Esse é um valor de erro aceitável para equipamentos elétricos.

3.5 Inspeções das instalações elétricas

Foram vistoriados os locais de maior relevância como a subestação, sala de painéis de transferência automática, sala de quadros de distribuição do condomínio e casa de máquinas do sistema de ar condicionado. A metodologia adotada foi inicialmente realizar uma avaliação visual do tipo qualitativa para verificar se havia algum ponto crítico dentro da subestação e da sala de quadros. Após essa verificação, o quadro com o disjuntor geral do edifício foi verificado.

A Tabela 1 apresenta os locais e equipamento analisados durante a vistoria do edifício.

Tabela 7 - Relação de locais e equipamentos vistoriados

| Local | Equipamento |
|---|---|
| 01 Subestação | 1.1 Transformador 1.2 Chave Seccionador |
| 02 Sala QGBT | 2.1 Quadro geral de Baixa tensão |
| 03 Sala QTA | 3.1 Quadro de transferência automática |
| 04 Sala de Quadros do Condomínio | 3.1 QDG – Quadro de Distribuição Geral 3.2 Chave geral do 9º pavimento |
| 05 Casa de máquinas | 5.1 Quadro de comando das máquinas |
| 06 Shaft de Instalações | 6.1 Quadros parciais dos Condôminos |
| 07 Casa de máquinas da Cobertura | 7.1 Quadro de comando de bombas |

Fonte: Do autor (2014)

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

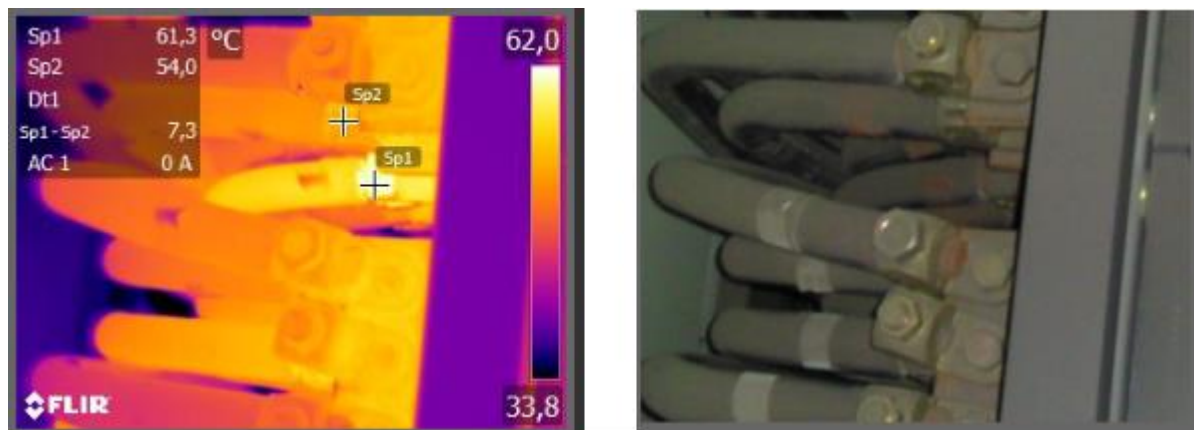
A seguir serão apresentados os resultados obtidos no estudo de caso realizado. Primeiramente serão apresentados os resultados obtidos para a termografia, na sequencia a classificação das anomalias.

4.1 Análises termográficas

Os equipamentos que apresentaram alguma alteração de temperatura relevante durante a realização da análise termográfica, serão apresentados a seguir, na mesma sequencia que foram listados. Iniciando pelo transformador e chaves seccionadoras, verificou-se a inexistência de pontos quentes e alterações relevantes de temperatura. Já o segundo item a ser vistoriado, o quadro geral de baixa tensão, apresentou alteração em uma das conexões, do tipo bota, na entrada do barramento do disjuntor geral.

A Figura 19 apresenta os cabos de entrada do disjuntor geral localizado na sala do QGBT.

Figura 24 - Cabos de baixa tensão - Entrada Baixa Tensão

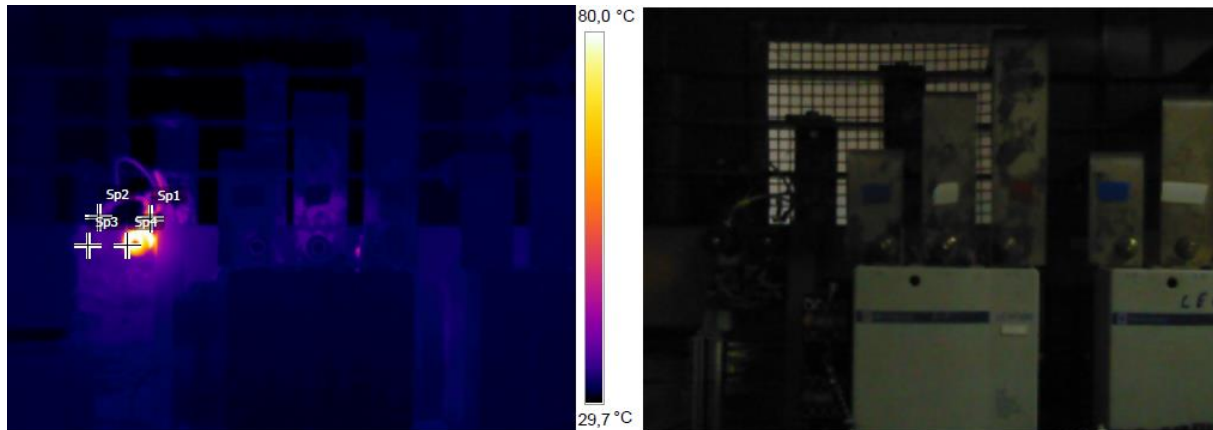


Fonte: Do autor (2014)

Verificou-se um aquecimento em um dos cabos da fase T, onde o conector apresentava uma diferença de temperatura de 7,3°C, em relação ao conector semelhante da mesma fase. A ação recomendada nesse caso é para que a correção seja realizada na próxima parada, e foi classificada como 4.

A Figura 25 apresenta um painel de transferência automática do Grupo Motor Gerador, localizado na sala QTA, com uma diferença de temperatura muito alta para equipamentos semelhantes, de 43,9 °C

Figura 25 - Painel de transferência automática



| Medições | | °C | |
|----------|------|-----------|------|
| Sp1 | 61,9 | Diferença | 43,9 |
| Sp2 | 36,5 | Sp4 - Sp3 | |
| Sp3 | 34,7 | Diferença | 25,4 |
| Sp4 | 78,6 | Sp1 - Sp2 | |

Fonte: Do autor (2014)

A ação recomendada para esse caso é medida corretiva imediata, pois apresenta uma diferença de temperatura de componente semelhante maior que quarenta graus Celsius. Classificada como prioridade “1”. Mas nesse caso, vale ressaltar a importância da informação sobre a Máxima Temperatura Admissível (MTA) do equipamento, consultando o fabricante ou fornecedor, evitando uma parada inapropriada. O termografista deve tomar muito cuidado e tirar mais fotos para confirmar a temperatura do objeto.

Toda anomalia encontrada deve ser investigada. Dessa forma o relatório estará o mais próximo da realidade no momento em que a correção for efetuada. Em alguns casos o problema não está no componente e sim na forma como está sendo utilizado.

A Figura 26 apresenta uma análise qualitativa dos fusíveis do QDG – Quadro de distribuição Geral, que fica localizado na sala de quadros do condomínio. Foi

realizada também uma análise quantitativa para verificar a diferença de temperatura entre os conjuntos. Para melhorar a precisão das informações, os conjuntos devem ser analisados separadamente.

Figura 26 - Avaliação qualitativa dos fusíveis



Fonte: Do autor (2014)

Para a avaliação quantitativa completa foi utilizado um alicate amperímetro. Ao focar a máquina no conjunto avaliado, a temperatura apresentou valores de temperatura diferentes dos medidos inicialmente. Os ângulos das imagens foram alterados para checar a temperatura de forma correta e sem influencia dos objetos ao redor.

A fase “R” foi medida no momento da imagem térmica, e registrou uma corrente de 158 amperes. A imagem térmica registrou uma temperatura de 65,0° C e uma diferença de temperatura entre os componentes de 18,9°C para o componente com a segunda maior temperatura, que pode ser visto na Figura 27.

Figura 27 - Medição da fase R

| Medições | °C |
|-------------------|------------|
| Sp1 | 65,0 |
| Sp2 | 83,9 |
| Sp3 | 55,2 |
| AC 1 | 158,1000 A |
| Parâmetros | |
| Emissividade | 0.92 |
| Temp. refl. | 26 °C |

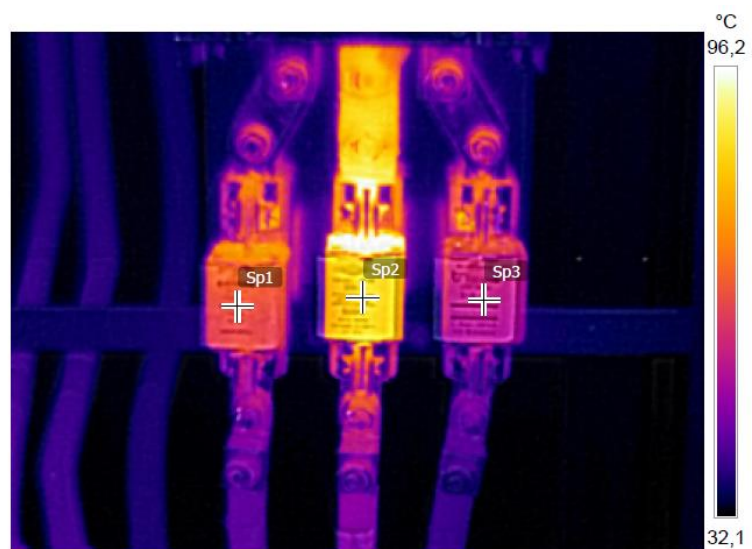


Fonte: Do autor (2014)

A fase S foi medida em seguida (Figura 28), apresenta na leitura do alicate a corrente de 211 amperes. Percebe-se que sua temperatura foi de 83,9°C, possivelmente por causa da corrente mais elevada. Nessa imagem, também podemos notar uma pequena variação (1°C) da temperatura quando comparada com a anterior (Figura 22), devido ao ângulo de obtenção da imagem.

Figura 28 - Medição da fase S

| Medições | °C |
|-------------------|------------|
| Sp1 | 64,2 |
| Sp2 | 83,9 |
| Sp3 | 54,2 |
| AC 1 | 211,9000 A |
| Parâmetros | |
| Emissividade | 0.92 |
| Temp. refl. | 26 °C |



Fonte: Do autor (2014)

Ao comparar a fase “R” com a fase “S” a classificação da severidade seria de nível três. Mas se compararmos a fase “S” com a fase “T” (Figura 24) a severidade poderia ser classificada como nível dois, pois a variação de temperatura ultrapassa os 20° C. Vale ressaltar nesse caso, que as leituras efetuadas com o alicate amperímetro ajudam a identificar que o problema. Observa-se o desbalanceamento das fases, e essa leitura de temperatura pode não ser somente o equipamento e conexões, mas sim do uso. Ficar atento aos detalhes também ajuda, note que a fase “R” está com uma corrente menor que a fase “T” e mesmo assim possui maior temperatura.

A medição da fase “T” (Figura 24) apresenta corrente de 167 amperes contra 158 amperes da fase “S”. A diferença de temperatura é de 9,8° C. Mas isso pode ser explicado por uso do equipamento e não cabe classificar como uma anomalia. Já para a fase de maior diferença de temperatura, Fase “S”, foi classificada como grau de severidade nível três, devido ao desbalanceamento das fases.

Figura 29 - Medição da fase T



Fonte: Do autor (2014)

As comparações e análises em qualquer campo de atuação com a termografia é essencial para obter a informação correta sobre o que está ocorrendo no local ou com um determinado componente.

Na Figura 30, que mostra a régua de contatos da sala de máquinas, a comparação do ponto quente foi realizada com outro componente da mesma capacidade e característica.

Figura 30 - Régua de contatos auxiliares



Fonte: Do autor (2014)

A medição da corrente apresentada foi de 26 amperes em um cabo de 16 mm². Outra medição, dessa vez para efeito de comparação, foi feita em um cabo ao lado com as mesmas características. A medição apresentada foi de 31 amperes e a temperatura de 38,9° C (Figura 31). Uma diferença de 32,6° C com relação ao cabo que estava conduzindo apenas 26 amperes. Isso indica que o componente está com algum problema em sua conexão, seja ele por falha ou falta de aperto no parafuso.

Figura 31 - Comparação da régua de contatos



Fonte: Do autor (2014)

Nesse caso a anomalia é classificada com um grau de severidade nível 2, e deve ser reparado assim que possível.

Nos demais equipamentos vistoriados não foram detectados problemas relacionados à sobrecarga, ou anomalias dos componentes dos quadros.

4.2 Relatório de correções

O relatório final com a classificação das anomalias e severidades, deve ser apresentado com todos os parâmetros e valores referentes à Emissividade, temperatura refletida, umidade e distância que foram utilizados durante a medição.

Além dos parâmetros inseridos na máquina, o relatório também deve apresentar a identificação do componente, localização, causa, ação e grau de intervenção ou nível de severidade, devem ser apresentados de forma simples e objetiva.

Os equipamentos que necessitam de intervenção, verificados durante a vistoria, estão apresentados na Tabela 8, juntamente com a anomalia e a prioridade do problema detectado.

Tabela 8 - Resumo de anomalias encontradas

| | Local | Equipamento | Anomalia | Prioridade |
|----|----------------------------|--|---|------------|
| 01 | Subestação | 1.1 Transformador | - | - |
| 02 | QGBT | 2.1 Quadro Geral de Baixa Tensão | Aquecimento | 4 |
| 03 | QTA | 3.1 Quadro de Transferência Automática | Aquecimento excessivo do equipamento – Falha de funcionamento | 1 |
| 04 | Sala de Quadros condomínio | 4.2 Chave Geral do 9º Pavimento | Desbalanceamento de fases | 3 |
| 05 | Sala de Máquinas | Quadro de comando das máquinas | Mau contato | 2 |

Fonte: Do autor (2014)

Sugere-se que as correções sejam realizadas nos prazos, em função da prioridade, como recomenda o Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment (2008), sendo a prioridade 4 a mais branda e que devem ser providenciadas na próxima manutenção do equipamento, enquanto a prioridade 1 deve ser sanada imediatamente.

Os equipamentos que foram sujeitos à reparação devem ser examinados, por um termografista, o mais breve possível após a data de intervenção. As estatísticas relativas ao efeito da reparação, segundo Caramalho (2012), indicam que cerca de um terço dos defeitos reparados continuam a indicar sobreaquecimento, ou seja, esses defeitos apresentam um risco potencial de avaria. Isto quer dizer que, aguardar a próxima inspeção de termografia programada, apresenta um risco desnecessário para a instalação.

Quando um defeito continua a indicar sobreaquecimento após a sua reparação, a determinação da causa do sobreaquecimento aperfeiçoa o procedimento de reparação, ajuda a escolher os melhores fornecedores de componentes e a detectar as deficiências na concepção da instalação.

Muitas vezes, em vez de reparar os componentes com defeito, e tendo em consideração o tempo necessário para a manutenção e a parada da produção, é sugerido que sejam mantidos sobre controle. Monitorar a temperatura de um defeito identificado, muitas vezes é uma necessidade que se tem para evitar a parada da produção.

Para as correções, análises e relatórios, vale ressaltar que a frequência das inspeções de termografia deve ter em consideração, entre outros, os seguintes fatores:

- Idade da construção, instalação e equipamentos;
- Desgaste dos equipamentos em função das manobras e uso que estão sujeitos;
- Variações constantes de cargas;
- Intensidade de corrente de serviço elevadas
- Existência de vibrações nos locais onde estão instalados;
- Localização ambiental (Poeira, sol, umidade excessiva, proximidade do mar, etc.).
- Variações constantes de temperaturas ambientais;
- Importância da instalação no contexto do cliente;

4.4 Análise visual

Apesar dos pontos quentes terem sido detectados e planejados para manutenções futuras, visualmente as instalações se encontram em bom estado de conservação. O plano de manutenção tem sido realizado regularmente, assim como o controle de substituição de peças ou equipamentos defeituosos.

Ao analisar os equipamentos instalados e a manutenção do edifício, vemos que o cuidado foi redobrado a partir do momento que ocorreu uma falha grave nas instalações, devido a falta de manutenção preditiva por parte da companhia de energia e de uma das empresas do condomínio.

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Como demonstrado na apresentação e análise das imagens termográficas, vemos que o campo de utilização da termografia na engenharia é amplo. Este trabalho atingiu os objetivos propostos, tendo como considerações finais:

- A vistoria das instalações elétricas foi realizada com sucesso, já que os parâmetros de avaliação e a emissividade dos materiais eram conhecidos, sendo possível detectar pontos com sobreaquecimento e que necessitam de reparo
- Portanto, a termografia é ferramenta extremamente importante para realização de vistorias em instalações elétricas, permitindo antever problemas nos equipamentos elétricos, evitando a parada inesperada dos sistemas elétricos além de garantir a segurança dos usuários.
- A partir dos resultados obtidos, pode-se programar as atividades de manutenção preventiva e os locais exatos, evitando perda de tempo e otimizando o prazo da manutenção. Nota-se que também é importante o acompanhamento após a manutenção.
- Inserção de parâmetros como emissividade do material, temperatura refletida, temperatura ambiente e umidade na câmera é de extrema importância, pois a temperatura aparente lida sofre influência de cada dado que é inserido, principalmente da emissividade.

Durante os teste e uso da máquina, notamos que a termografia tem grande uso na área da impermeabilização, infiltrações e descolamento de cerâmica. A termografia pode indicar local onde um tubo está rompido, se houver diferença de temperatura ou até mesmo se houver evaporação no local para indicar umidade. Pode indicar também localização de estrutura de um edifício e até mesmo ser utilizado para estudo de fachadas.

Tendo em vista todas essas possibilidades, seguem as propostas para trabalhos futuros:

- Análise de descolamento cerâmico em fachadas utilizando a termografia;
- Influência dos parâmetros de entrada nas leituras realizadas de temperatura;
- Localização de infiltrações em áreas impermeabilizadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- _____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15572**-Ensaio não destrutivo - Termografia por infravermelho - Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos; abril/2008.
- _____, **NBR-16292** - Ensaio não destrutivo — Termografia — Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas 2014
- _____, **NBR-15866** - Ensaio não destrutivo — Termografia — Metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos 2010
- _____, **NBR-15763** - Ensaio não destrutivo - Termografia - Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência 2009
- _____, **NBR-15718** - Ensaio não destrutivo — Termografia — Guia para verificação de termovisores 2009
- _____, **NBR-15424** - Ensaio não destrutivo - Termografia - Terminologia 2006
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL - http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2014/022/documento/anexo_-_plano_minimo_de_manutencao.pdf
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO – ABENDI; <http://www.abende.org.br>, visualizado em 11/2011.
- ALVES, NIELSEN E SOUZA, JULLYANA. "**A análise de manifestações patológicas em paredes de concreto moldadas *in loco* utilizando a termografia como ensaio não destrutivo**" - 1º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções. 2014
- BARREIRA, E. S. B. M. **Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios**. 196f. Dissertação (Mestrado em construção de Edifícios) - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2004
- CHYZANOWSKI, K.; "**Non-Contact Thermometry - Measurement errors**"; SPIE PL, Research and development Treaties, Vol. 7, Warsaw, 2001.
- GAUSSORGUES, G.; "**Infrared Thermography**"; Microwave Technology Series 5; Chapman & Hall, 1994.

INFRARED TRAINING CENTER – ITC – **Manual do usuário – Certificação Nível 1**
– 2014

INFRASPECTION INSTITUTE; **“Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment”**; Infrasppection Institute, 2008

KAPLAN, H.; **“Practical Applications of Infrared Thermal Sensing and Imaging Equipment”**; 3a Edition SPIE Press Vol. TT34, 2007.

MADDING, R.; ORLOVE, G.; KAPLAN, H.; **“Twenty Five Years of ThermoSense: an Historical and Technological Retrospective”**; Proc. SPIE, 2003.

SNELL, J; **“Best Practices for Using Infrared Thermography for Condition Monitoring of Oil-filled Utility Assets”**; Snell Infrared, 2005.

SANTOS, L. **“Classificação e Modelagem de Fatores de Influência sobre inspeções Termográficas em Ambientes Desabrigados”**. 161 f. Dissertação (Doutor em Ciências em Engenharia Elétrica). 2012

ANEXO A

Tabela de Emissividade dos Materiais

Espectro T: espectro total / SW: 2 - 5 μ m, LW: 8 - 14 μ m, LLW: 6.5 - 20 μ m

| MATERIAL | ESPECIFICAÇÃO | TEMP °C | Espectro | Emissividade | Ref. |
|---------------|---|----------|----------|--------------|------|
| Tijolo | Alvenaria | 35 | SW | 0,94 | 7 |
| Tijolo | Alvenaria, coberto por gesso | 20 | T | 0,94 | 1 |
| Tijolo | Regular | 17 | SW | 0,86-0,81 | 5 |
| Tijolo | Vermelho, regular | 20 | T | 0,93 | 2 |
| Tijolo | Vermelho, cinza | 20 | T | 0,88-0,93 | 1 |
| Tijolo | Chamote | 20 | T | 0,85 | 1 |
| Tijolo | Chamote | 1000 | T | 0,75 | 1 |
| Tijolo | Chamote | 1200 | T | 0,59 | 1 |
| Tijolo | Silicone amorfo 95% SiO ₂ | 1230 | T | 0,66 | 1 |
| Tijolo | Silimanita, 33% SiO ₂ ' 64% ai ₂ O ₂ | 1500 | T | 0,29 | 1 |
| Bronze | Fósforo bronze | 70 | LW | 0,06 | 9 |
| Bronze | Fósforo bronze | 70 | SW | 0,08 | 1 |
| Bronze | Polido | 50 | T | 0,1 | 1 |
| Bronze | Poroso, Enrijecido | 50-100 | T | 0,55 | 1 |
| Bronze | Pó | | T | 0,76-0,80 | 1 |
| Carbono | Fluido | 20 | T | 0,98 | 2 |
| Carbono | Pó de plumbago | | T | 0,97 | 1 |
| Carbono | Pó de carvão vegetal | | T | 0,96 | 1 |
| Carbono | Fuligem de vela | 20 | T | 0,95 | 2 |
| Carbono | Fuligem de lâmpada | 20-400 | T | 0,95-0,97 | 1 |
| Ferro Fundido | Tratado | 800-1000 | T | 0,60-0,70 | 1 |
| Ferro Fundido | Fluido | 1300 | T | 0,28 | 1 |
| Ferro Fundido | Fundido | 50 | T | 0,81 | 1 |
| Ferro Fundido | Blocos de ferro fundido | 1000 | T | 0,95 | 1 |
| Ferro Fundido | Oxidado | 38 | T | 0,63 | 4 |
| Ferro Fundido | Oxidado | 100 | T | 0,64 | 2 |
| Ferro Fundido | Oxidado | 260 | T | 0,66 | 4 |
| Ferro Fundido | Oxidado | 538 | T | 0,76 | 4 |
| Ferro Fundido | Oxidado 600°C | 200-600 | T | 0,64-0,78 | 1 |
| Ferro Fundido | Polido | 38 | T | 0,21 | 4 |
| Ferro Fundido | Polido | 40 | T | 0,21 | 2 |
| Ferro Fundido | Polido | 200 | T | 0,21 | 1 |
| Ferro Fundido | Não tratado | 900-1100 | T | 0,87-0,95 | 1 |
| Papelão | Não tratado | 20 | SW | 0,9 | 6 |
| Cromo | Polido | 50 | T | 0,1 | 1 |
| Cromo | Polido | 500-1000 | T | 0,28-0,38 | 1 |

| | | | | | |
|---------------------|---|-----------|-----|-----------|---|
| Argila | Queimada | 70 | T | 0,91 | 1 |
| Tecido | Preto | 20 | T | 0,98 | 1 |
| Concreto | | 20 | T | 0,92 | 2 |
| Concreto | Pavimentação | 5 | LLW | 0,974 | 8 |
| Concreto | Enrijecido | 17 | SW | 0,97 | 5 |
| Concreto | Seco | 36 | SW | 0,95 | 7 |
| Cobre | Eletrolítico, polido claramente. | 80 | T | 0,018 | 1 |
| Cobre | Eletrolítico, polido | -34 | T | 0,006 | 4 |
| Cobre | Quebrado | 27 | T | 0,07 | 4 |
| Cobre | Derretido | 1100-1300 | T | 0,13-0,15 | 1 |
| Cobre | Comercial, brilhante | 20 | T | 0,07 | 1 |
| Cobre | Oxidado | 50 | T | 0,6-0,7 | 1 |
| Cobre | Oxidado, escuro | 27 | T | 0,78 | 4 |
| Cobre | Oxidado, profundamente | 20 | T | 0,78 | 2 |
| Cobre | Oxidado, preto | | T | 0,88 | 1 |
| Cobre | Polido | 50-100 | T | 0,02 | 1 |
| Cobre | Polido | 100 | T | 0,03 | 2 |
| Cobre | Polido, comercial | 27 | T | 0,03 | 4 |
| Cobre | Polido, mecânico | 22 | T | 0,015 | 4 |
| Cobre | Limpo, superfície totalmente preparada. | 22 | T | 0,008 | 4 |
| Dióxido de cobre | Pó | | T | 0,84 | 1 |
| Dióxido de cobre | Vermelho, pó | | T | 0,7 | 1 |
| Terra | Saturada com água | 20 | T | 0,95 | 2 |
| Terra | Seca | 20 | T | 0,92 | 2 |
| Esmalte | | 20 | T | 0,9 | 1 |
| Esmalte | Tinta | 20 | T | 0,85-0,95 | 1 |
| Placa em fibra | Rígida, não tratada | 20 | SW | 0,85 | 6 |
| Placa em fibra | Ottrelith | 70 | LW | 0,88 | 9 |
| Placa em fibra | Ottrelith | 70 | SW | 0,75 | 9 |
| Placa em fibra | Placa de partícula | 70 | LW | 0,89 | 9 |
| Placa em fibra | Placa de partícula | 70 | SW | 0,77 | 9 |
| Placa em fibra | Porosa, não tratada | 20 | SW | 0,85 | 6 |
| Encaixes esmaltados | 8 cores e qualidades diferentes | 70 | LW | 0,92-0,94 | 9 |
| Encaixes esmaltados | 8 cores e qualidades diferentes | 70 | SW | 0,88-0,96 | 9 |
| Encaixes esmaltados | Alumínio, diferentes idades | 50-100 | T | 0,27-0,67 | 1 |
| Encaixes esmaltados | Sobre base oleosa, média de 16 cores | 100 | T | 0,94 | 2 |
| Encaixes esmaltados | Verde Cromo | | T | 0,65-0,70 | 1 |
| Encaixes esmaltados | Amarelo Cádmio | | T | 0,28-0,33 | 1 |
| Encaixes esmaltados | Azul Cobalto | | T | 0,7-0,8 | 1 |
| Encaixes esmaltados | Plástico, preto | 20 | SW | 0,95 | 6 |
| Encaixes esmaltados | Plástico, branco | 20 | SW | 0,84 | 6 |

| | | | | | |
|---------------------|-------------------------------------|----------|-----|-----------|---|
| Encaixes esmaltados | Óleo | 17 | SW | 0,87 | 5 |
| Encaixes esmaltados | Óleo, diferentes cores | 100 | T | 0,92-0,96 | 1 |
| Encaixes esmaltados | Óleo, cinza brilhante | 20 | SW | 0,960,96 | 6 |
| Encaixes esmaltados | Óleo, cinza, acabamento fosco | 20 | SW | 0,97 | 6 |
| Encaixes esmaltados | Óleo, preto, acabamento fosco | 20 | SW | 0,94 | 6 |
| Encaixes esmaltados | Óleo, preto, brilhante | 20 | SW | 0,92 | 6 |
| Ouro | Polido de forma brilhante | 200-600 | T | 0,02-0,03 | 1 |
| Ouro | Polido vigorosamente | 100 | T | 0,02 | 2 |
| Ouro | Polido | 130 | T | 0,018 | 1 |
| Granito | Polido | 20 | LLW | 0,849 | 8 |
| Granito | Enrijecido | 21 | LLW | 0,879 | 8 |
| Granito | Enrijecido, 4 amostras diferentes | 70 | LW | 0,77-0,87 | 9 |
| Granito | Enrijecido, 4 amostras diferentes | 70 | SW | 0,95-0,97 | 9 |
| Gipsita | | 20 | T | 0,8-0,9 | 1 |
| Gipsita, aplicada | | 17 | SW | 0,86 | 5 |
| Gipsita, aplicada | Placa de gipsita, não tratada | 20 | SW | 0,9 | 6 |
| Gipsita, aplicada | Superfície enrijecida | 20 | T | 0,91 | 2 |
| Gelo: ver água | | | | | |
| Ferro e Aço | Eletrolítico | 22 | T | 0,05 | 4 |
| Ferro e Aço | Eletrolítico | 100 | T | 0,05 | 4 |
| Ferro e Aço | Eletrolítico | 260 | T | 0,07 | 4 |
| Ferro e Aço | Eletrolítico, polido vigorosamente. | 175-225 | T | 0,05-0,06 | 1 |
| Ferro e Aço | Recém-laminado | 20 | T | 0,24 | 1 |
| Ferro e Aço | Recém-processado com lixa | 20 | T | 0,24 | 1 |
| Ferro e Aço | Placa aplainada | 950-1100 | T | 0,55-0,61 | 1 |
| Ferro e Aço | Forjado, polido vigorosamente. | 40-250 | T | 0,28 | 1 |
| Ferro e Aço | Placa laminada | 50 | T | 0,56 | 1 |
| Ferro e Aço | Brilhante, causticado | 150 | T | 0,16 | 1 |
| Ferro e Aço | Camada brilhante de óxido, placa | 20 | T | 0,82 | 1 |
| Ferro e Aço | Laminado sob alta temperatura | 20 | T | 0,77 | 1 |
| Ferro e Aço | Laminado sob alta temperatura | 130 | T | 0,6 | 1 |
| Ferro e Aço | Laminado sob baixa temperatura | 70 | LW | 0,09 | 9 |
| Ferro e Aço | Laminado sob baixa temperatura | 70 | SW | 0,2 | 9 |
| Ferro e Aço | Coberto com óxido vermelho | 20 | T | 0,61-0,85 | 1 |
| Ferro e Aço | Oxidado | 100 | T | 0,74 | 1 |
| Ferro e Aço | Oxidado | 100 | T | 0,74 | 4 |
| Ferro e Aço | Oxidado | 125-525 | T | 0,78-0,82 | 1 |
| Ferro e Aço | Oxidado | 200 | T | 0,79 | 2 |
| Ferro e Aço | Oxidado | 200-600 | T | 0,8 | 1 |
| Ferro e Aço | Oxidado | 1227 | T | 0,89 | 4 |
| Ferro e Aço | Polido | 100 | T | 0,07 | 2 |
| Ferro e Aço | Polido | 400-1000 | T | 0,14-0,38 | 1 |

| | | | | | |
|-------------------|----------------------------------|-----------|----|-----------|---|
| Ferro e Aço | Placa polida | 750-1050 | T | 0,52-0,56 | 1 |
| Ferro e Aço | Enrijecido, superfície plana | 50 | T | 0,95-0,98 | 1 |
| Ferro e Aço | Enferrujado, vermelho | 20 | T | 0,69 | 1 |
| Ferro e Aço | Enferrujado vermelho, placa | 22 | T | 0,69 | 4 |
| Ferro e Aço | Profundamente oxidado | 50 | T | 0,88 | 1 |
| Ferro e Aço | Profundamente oxidado | 500 | T | 0,98 | 1 |
| Ferro e Aço | Profundamente oxidado | 17 | SW | 0,96 | 5 |
| Ferro e Aço | Placa profundamente enferrujada | 20 | T | 0,69 | 2 |
| Ferro galvanizado | Placa | 92 | T | 0,07 | 4 |
| Ferro galvanizado | Placa, oxidada | 20 | T | 0,28 | 1 |
| Ferro galvanizado | Placa, oxidada | 30 | T | 0,23 | 1 |
| Ferro galvanizado | Placa, oxidada | 70 | LW | 0,85 | 9 |
| Ferro galvanizado | Placa, oxidada | 70 | SW | 0,64 | 9 |
| Ferro estanhado | Placa | 24 | T | 0,064 | 4 |
| Couro | Pelo escurecido pelo sol | | T | 0,75-0,80 | 1 |
| Calcário | | | T | 0,3-0,4 | 1 |
| Magnésio | | 22 | T | 0,07 | 4 |
| Magnésio | | 260 | T | 0,13 | 4 |
| Magnésio | | 538 | T | 0,18 | 4 |
| Magnésio | Polido | 20 | T | 0,07 | 2 |
| Pó de Magnésio | | | T | 0,86 | 1 |
| Molibdênio | | 600-1000 | T | 0,08-0,13 | 1 |
| Molibdênio | | 1500-2200 | T | 0,19-0,26 | 1 |
| Molibdênio | Barbante | 700-2500 | T | 0,1-0,3 | 1 |
| Argamassa | | 17 | SW | 0,87 | 5 |
| Argamassa | Seca | 36 | SW | 0,94 | 7 |
| Níquel | Fio | 200-1000 | T | 0,1-0,2 | 1 |
| Níquel | Eletrolítico | 22 | T | 0,04 | 4 |
| Níquel | Eletrolítico | 38 | T | 0,06 | 4 |
| Níquel | Eletrolítico | 260 | T | 0,07 | 4 |
| Níquel | Eletrolítico | 538 | T | 0,1 | 4 |
| Níquel | Galvanizado, polido | 20 | T | 0,05 | 2 |
| Níquel | Galvanizado em ferro, não polido | 20 | T | 0,11-0,40 | 1 |
| Níquel | Galvanizado em ferro, não polido | 22 | T | 0,11 | 4 |
| Níquel | Galvanizado em ferro, não polido | 22 | T | 0,045 | 4 |
| Níquel | Acabamento Levemente fosco | 122 | T | 0,041 | 4 |
| Níquel | Oxidado | 200 | T | 0,37 | 2 |
| Níquel | Oxidado | 227 | T | 0,37 | 4 |
| Níquel | Oxidado | 1227 | T | 0,85 | 4 |
| Níquel | Oxidado a 600°C | 200-600 | T | 0,37-0,48 | 1 |
| Níquel | Polido | 122 | T | 0,045 | 4 |

| | | | | | |
|-------------------------|---|----------|----|-----------|---|
| Níquel | Limpo, polido | 100 | T | 0,045 | 1 |
| Níquel | Limpo, polido | 200-400 | T | 0,07-0,79 | 1 |
| Níquel-Cromo | Fio, descoberto | 50 | T | 0,65 | 1 |
| Níquel-Cromo | Fio, descoberto | 500-1000 | T | 0,71-0,79 | 1 |
| Níquel-Cromo | Fio, oxidado | 50-500 | T | 0,95-0,98 | 1 |
| Níquel-Cromo | Laminado | 700 | T | 0,25 | 1 |
| Níquel-Cromo | Com jato de areia | 700 | T | 0,7 | 1 |
| Óxido de Níquel | | 500-650 | T | 0,52-0,59 | 1 |
| Óxido de Níquel | | 1000-650 | T | 0,75-0,86 | 1 |
| Óleo, Óleo Lubrificante | 0,025-mm-camada | 20 | T | 0,27 | 2 |
| Óleo, Óleo Lubrificante | 0,05-mm-camada | 20 | T | 0,46 | 2 |
| Óleo, Óleo Lubrificante | 0,125-mm-camada | 20 | T | 0,72 | 2 |
| Óleo, Óleo Lubrificante | camada espessa | 20 | T | 0,82 | 2 |
| Óleo, Óleo Lubrificante | Camada sobre base de Ni; somente base de Ni | 20 | T | 0,05 | 2 |
| Tinta | 3 cores, pulverizada sobre alumínio | 70 | LW | 0,92-0,94 | 9 |
| Tinta | 3 cores, pulverizada sobre alumínio | 70 | SW | 0,50-0,53 | 9 |
| Tinta | Alumínio sobre superfície enrijecida | 20 | T | 0,4 | 1 |
| Tinta | Baquelita | 80 | T | 0,83 | 1 |
| Tinta | À prova de calor | 100 | T | 0,92 | 1 |
| Tinta | Preta, brilhante, pulverizada sobre ferro | 20 | T | 0,87 | 1 |
| Tinta | Preta, acabamento fosco | 100 | T | 0,97 | 2 |
| Tinta | Preta, opaca | 40-100 | T | 0,96-0,98 | 1 |
| Tinta | Branca | 40-100 | T | 0,8-0,95 | 1 |
| Tinta | Branca | 100 | T | 0,92 | 2 |
| Papel | 4 diferentes cores | 70 | LW | 0,92-0,94 | 9 |
| Papel | 4 diferentes cores | 70 | SW | 0,68-0,74 | 9 |
| Papel | Revestido com tinta preta | | T | 0,93 | 1 |
| Papel | Azul escuro | | T | 0,84 | 1 |
| Papel | Amarelo | | T | 0,72 | 1 |
| Papel | Verde | | T | 0,85 | 1 |
| Papel | Vermelho | | T | 0,76 | 1 |
| Papel | Preto | | T | 0,9 | 1 |
| Papel | Preto, opaco | | T | 0,94 | 1 |
| Papel | Preto, opaco | 70 | LW | 0,89 | 9 |
| Papel | Preto, opaco | 70 | SW | 0,86 | 9 |
| Papel | Branco | 20 | T | 0,7-0,9 | 1 |
| Papel | Branco, 3 diferentes revestimentos brilhantes | 70 | LW | 0,88-0,90 | 9 |
| Papel | Branco, 3 diferentes revestimentos brilhantes | 70 | SW | 0,76-0,78 | 9 |
| Papel | Branco, aglutinado | 20 | T | 0,93 | 2 |
| Plástico | Laminado de fibra ótica (placa de circuitoimpresso) | 70 | LW | 0,91 | 9 |
| Plástico | Laminado de fibra ótica (placa de circuitoimpresso) | 70 | SW | 0,94 | 9 |

| | | | | | |
|--------------------------|--|-----------|-----|-----------|---|
| Plástico | Poliuretano-placa de isolamento | 70 | LW | 0,55 | 9 |
| Plástico | Poliuretano-placa de isolamento | 70 | SW | 0,29 | 9 |
| Plástico | PVC, piso plástico, opaco, estruturado | 70 | LW | 0,93 | 9 |
| Plástico | PVC, piso plástico, opaco, estruturado | 70 | SW | 0,94 | 9 |
| Chapa | Brilhante | 20-50 | T | 0,04-0,06 | 1 |
| Chapa | Chapa branca | 100 | T | 0,07 | 2 |
| Platina | | 17 | T | 0,016 | 4 |
| Platina | | 22 | T | 0,05 | 4 |
| Platina | | 260 | T | 0,06 | 4 |
| Platina | | 538 | T | 0,1 | 4 |
| Platina | | 1000-1500 | T | 0,14-0,18 | 1 |
| Platina | | 1094 | T | 0,18 | 4 |
| Platina | Faixa | 900-1100 | T | 0,12-0,17 | 1 |
| Platina | Fio | 50-200 | T | 0,06-0,07 | 1 |
| Platina | Fio | 500-1000 | T | 0,10-0,16 | 1 |
| Platina | Fio | 1400 | T | 0,18 | 1 |
| Platina | Limpo, polido | 200-600 | T | 0,05-0,10 | 1 |
| Grafita | Brilhante | 250 | T | 0,08 | 1 |
| Grafita | Não oxidado, polido | 100 | T | 0,05 | 4 |
| Grafita | Oxidado, cinza | 20 | T | 0,28 | 1 |
| Grafita | Oxidado, cinza | 22 | T | 0,28 | 4 |
| Grafita | Oxidado a 200°C | 200 | T | 0,63 | 1 |
| Grafita decomposta | | 100 | T | 0,93 | 4 |
| Pó de grafita decomposta | | 100 | T | 0,93 | 1 |
| Poliestireno | Isolamento térmico | 37 | SW | 0,6 | 7 |
| Porcelana | Esmaltada | 20 | T | 0,92 | 1 |
| Porcelana | Branca, incandescente | | T | 0,70-0,75 | 1 |
| Borracha | Rígida | 20 | T | 0,95 | 1 |
| Borracha | Macia, cinza, enrijecida | 20 | T | 0,95 | 1 |
| Areia | | | T | 0,6 | 1 |
| Areia | | 20 | T | 0,9 | 2 |
| Lixa | Rústica | 80 | T | 0,85 | 1 |
| Arenito | Polido | 19 | LLW | 0,909 | 8 |
| Arenito | Enrijecido | 19 | LLW | 0,935 | 8 |
| Prata | Polida | 100 | T | 0,03 | 2 |
| Prata | Limpa, polida | 200-600 | T | 0,02-0,03 | 1 |
| Pele | Humana | 32 | T | 0,98 | 2 |
| Lava | Bacia | 0-100 | T | 0,97-0,93 | 1 |
| Lava | Bacia | 200-500 | T | 0,89-0,78 | 1 |
| Lava | Bacia | 600-1200 | T | 0,76-0,70 | 1 |
| Lava | Bacia | 1400-1800 | T | 0,69-0,67 | 1 |

| | | | | | |
|-----------------|------------------------------------|-----------|------|-----------|---|
| Neve: ver água | | | | | |
| Aço Inoxidável | Chapa, polida | 70 | LW | 0,14 | 9 |
| Aço Inoxidável | Chapa, polida | | SW | 0,18 | 9 |
| Aço Inoxidável | Chapa, não tratada, com ranhuras | 70 | LW | 0,26 | 9 |
| Aço Inoxidável | Chapa, não tratada, com ranhuras | 70 | SW | 0,3 | 9 |
| Aço Inoxidável | Laminado | 700 | T | 0,45 | 1 |
| Aço Inoxidável | Liga, 8%Ni, 18% Cr | 500 | T | 0,35 | 1 |
| Aço Inoxidável | Com jato de areia | 700 | T | 0,7 | 1 |
| Aço Inoxidável | Tipo 18-8, brilhante | 20 | T | 0,16 | 2 |
| Aço Inoxidável | Tipo 18-8, oxidado a 800°C | 60 | T | 0,85 | 2 |
| Alcatrão | | | T | 0,79-0,84 | 1 |
| Alcatrão | Papel | 20 | T | 0,91-0,93 | 1 |
| Titânio | Oxidado a 540°C | 200 | T | 0,4 | 1 |
| Titânio | Oxidado a 540°C | 500 | T | 0,5 | 1 |
| Titânio | Oxidado a 540°C | 1000 | T | 0,6 | 1 |
| Titânio | Polido | 200 | T | 0,15 | 1 |
| Titânio | Polido | 500 | T | 0,2 | 1 |
| Titânio | Polido | 1000 | T | 0,36 | 1 |
| Tungstênio | | 200 | T | 0,05 | 1 |
| Tungstênio | | 600-1000 | T | 0,1-0,16 | 1 |
| Tungstênio | | 1500-2200 | T | 0,24-0,31 | 1 |
| Tungstênio | Barbante | 3300 | T | 0,39 | 1 |
| Verniz | Sobre tacos de madeira de carvalho | 70 | LW | 0,90-0,93 | 9 |
| Verniz | Sobre tacos de madeira de carvalho | 70 | SW | 0,9 | 9 |
| Verniz | Acabamento fosco | 20 | SW | 0,93 | 6 |
| Vulcanite | | | T | 0,89 | 1 |
| Papel de Parede | Levemente estampado, cinza claro | 20 | SW | 0,85 | 6 |
| | 20 | SW | 0,85 | 6 | 6 |
| Papel de Parede | Levemente estampado, vermelho | 20 | SW | 0,9 | 6 |
| Água | Destilada | 20 | T | 0,96 | 2 |
| Água | Gelo, fortemente coberto por geada | 0 | T | 0,98 | 1 |
| Água | Gelo, escorregadio | -10 | T | 0,96 | 2 |
| Água | Gelo, escorregadio | 0 | T | 0,97 | 1 |
| Água | Cristais de geada | -10 | T | 0,98 | 2 |
| Água | Coberta >0,1mm de espessura | 0-100 | T | 0,95-0,98 | 1 |
| Água | Neve | | T | 0,8 | 1 |
| Água | Neve | -10 | T | 0,85 | 2 |
| Madeira | | 17 | SW | 0,98 | 5 |
| Madeira | | 19 | LLW | 0,962 | 8 |
| Madeira | Aplainada | 20 | T | 0,8-0,9 | 1 |
| Madeira | Carvalho aplainado | 20 | T | 0,9 | 2 |

| | | | | | |
|---------|------------------------------|-----------|----|-----------|---|
| Madeira | Carvalho aplainado | 70 | LW | 0,88 | 9 |
| Madeira | Carvalho aplainado | 70 | SW | 0,77 | 9 |
| Madeira | Tratada com lixa | | T | 0,5-0,7 | 1 |
| Madeira | Pinho, 4 amostras diferentes | 70 | LW | 0,81-0,89 | 9 |
| Madeira | Pinho, 4 amostras diferentes | 70 | SW | 0,67-0,75 | 9 |
| Madeira | Compensada, plana, seca | 36 | SW | 0,82 | 7 |
| Madeira | Compensada, não tratada | 20 | SW | 0,83 | 6 |
| Madeira | Branca, úmida | 20 | T | 0,7-0,8 | 1 |
| Zinco | Chapa | 50 | T | 0,2 | 1 |
| Zinco | Oxidada a 400°C | 400 | T | 0,11 | 1 |
| Zinco | Superfície oxidada | 1000-1200 | T | 0,50-0,60 | 1 |
| Zinco | Polido | 200-300 | T | 0,04-0,05 | 1 |

Fonte: Contemp (2014)

Referências:

- 1 Mikaél A. Bramson: Infrared Radiation, A Handbook for Applications, Plenum Press, N.Y.
- 2 William L. Wolfe, George J. Zissis: The Infrared Handbook, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
- 3 Madding, R.P.: Thermographic Instruments and Systems. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin - Extension, Department of Engineering and Applied Science
- 4 William L. Wolfe: Handbook of Military Infrared Technology, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
- 5 Jones, Smith, Probert: External thermography of buildings , Proc. Of the Society of Phot-Optical Instrumentation Engineers, vol. 110, Industrial and Civil Applications of Infrared Technology, Juni 1977 London
- 6 Paljak, Pettersson: Thermography of Buildings, Swedish Building Research Institute, Stockholm 1972
- 7 Vlcek, J.: Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at $\lambda = 5 \mu\text{m}$. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
- 8 Kern: Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites, Defence Documentation Center, AD 617 417.
- 9 Öhman, Claes: Emittansmätningarmed AGEMA E-Box. Teknisk rapport, AGEMA 1999.(Emissivity measurements with AGEMA E-Box.Technicalreport, AGEMA 1999.)