



INSTITUTO FEDERAL
Bahia

Campus
Paulo Afonso

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA
CAMPUS PAULO AFONSO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**ANÁLISE TERMOGRÁFICA DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DA 1ª
COMPANHIA DE INFANTARIA PARA O LEVANTAMENTO DE ANOMALIAS
E RISCOS PRIORITÁRIOS: ESTUDO DE CASO**

Thiago Brandão dos Anjos

Paulo Afonso, junho de 2018.

THIAGO BRANDÃO DOS ANJOS

**ANÁLISE TERMOGRÁFICA DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DA 1ª
COMPANHIA DE INFANTARIA PARA O LEVANTAMENTO DE ANOMALIAS
E RISCOS PRIORITÁRIOS: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Colegiado de Engenharia
Elétrica do Instituto Federal da Bahia -
IFBA, como requisito parcial para a
obtenção do título de Engenheiro
Eletricista.

Orientador: Prof. Esp. Paulo Roberto
Ribeiro Moraes

Paulo Afonso, junho de 2018.

TERMO DE APROVAÇÃO

THIAGO BRANDÃO DOS ANJOS

ANÁLISE TERMOGRÁFICA DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DA 1ª COMPANHIA DE INFANTARIA PARA O LEVANTAMENTO DE ANOMALIAS E RISCOS PRIORITÁRIOS: ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica, do Instituto Federal da Bahia, como requisito à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em _____ de _____ de 2018.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Paulo Roberto Ribeiro Moraes, Esp. (Orientador)

Prof.^a Danielle Bandeira de M. Delgado, Me.

Prof. Lindoval Santana Melo, Esp.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado força e coragem para enfrentar este desafio;

À minha esposa, Catherine Brandão, por ter me apoiado durante todas as etapas da graduação, assumindo a responsabilidade da pesada tarefa de cuidar de nossos filhos quando eu precisava me dedicar ao curso;

Aos meus pais, que sempre incentivaram o meu estudo, apoiando minhas decisões e comemorando minhas vitórias;

Ao meu avô, Benedito, que a pesar da idade avançada sempre torceu pelo meu sucesso;

Ao Comandante e Subcomandante da 1ª Companhia de Infantaria, Major Kauê e Major Juliano, por terem possibilitado meu Estágio Supervisionado e Trabalho de Conclusão de Curso nas instalações daquela unidade militar, sempre me atendendo nas demandas relativas ao curso quando havia choque de horários com o expediente do quartel;

Aos integrantes da Seção FuSEx da 1ª Companhia de Infantaria, pela paciência, colaboração e crença depositada em meu esforço;

Aos meus amigos, Oficiais, Subtenentes, Sargentos, Cabos e Soldados da 1ª Companhia de Infantaria, que torceram para que eu alcançasse meu objetivo;

Aos meus amigos da Curso de Engenharia Elétrica, Lucas Freitas, Enock Jr, Laércio Camboim, Ravena Sá, Carlos Carvalho e Fabiano Almeida, pelo companheirismo e ajuda nos momentos de dificuldade da graduação;

A todos os professores do IFBA - Campus Paulo Afonso, pela contribuição determinante para o sucesso do curso de engenharia elétrica, em especial, ao professor Paulo Roberto, que, mesmo com pouco tempo disponível, não hesitou em me orientar no Trabalho de Conclusão de Curso;

Por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para o sucesso deste projeto.

RESUMO

Nos últimos anos, as empresas têm investido cada vez mais no gerenciamento de manutenções elétricas preditivas e/ou preventivas, visando a economicidade de seus recursos financeiros e direcionando esforços para o tratamento de riscos elétricos antes que ocorra algum dano ao sistema. Mapear pontos que necessitam de intervenção em um circuito elétrico, sem a interrupção no fornecimento de energia, não é possível sem a utilização de equipamentos específicos para a identificação de pontos anômalos. A termografia tem conseguido espaço na área de manutenção não invasiva, uma vez que este tipo de análise, por se utilizar de um equipamento que realiza a leitura térmica de objetos através de imagens, colabora para a identificação de pontos quentes, sugestivos de possíveis falhas. Este trabalho mostra a aplicação do estudo termográfico nas instalações elétricas de uma unidade do Exército Brasileiro, para mapeamento de problemas elétricos e dos riscos prioritários relativos àquele circuito, visando colaborar para a elaboração de um plano de manutenção preditiva/preventiva eficiente e que priorize a intervenção nos pontos anômalos de maior severidade.

Palavras chave: Termografia. Termovisor. Manutenção. Riscos Prioritários.

ABSTRACT

In the last years, companies have increased investment in management of predictive and/or preventive electrical maintenances, to economize their financial resources and directing efforts for the treatment of electrical risks before any damage occurs to the system. Map points that need intervention in an electrical circuit, without interrupt the power supply, is not possible without the use of specific equipment to identify anomalous points. Thermography has conquered a place in the non-invasive maintenance area, once this type of analysis, by using an equipment that performs thermal reading of objects through images, contributes to the identification of hot spots, suggesting possible failures. This work shows the application of a thermographic inspection at the electric installations of one Brazilian Army military barrack, to map electric problems and priority risks for that circuit, aiming to collaborate to the preparation of an efficient predictive/preventive maintenance plan that prioritize the intervention on the anomalous points of higher severity.

Keywords: Thermography. Thermographic Camera. Maintenance. Priority Risks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Espectro de comprimento de onda	17
Figura 2 – Princípio básico de funcionamento do termovisor	22
Figura 3 – Transformador de potencial visto por um termovisor	23
Figura 4 – Local da realização da análise termográfica	35
Figura 5 – Subestação da 1ª Cia Inf: a) Caixa de Medição. b) Fotografia da SE simplificada.....	37
Figura 6 – Pontos de ferrugem nas conexões de D3	39
Figura 7 – Termovisor FLIR - T200.....	40
Figura 8 – Resumo do processo de classificação da anomalia.....	45
Figura 9 – Inspeção termográfica em D1: a) Quadro de distribuição inspecionado. b) Imagem térmica.	46
Figura 10 – Inspeção termográfica de M1: a) Motor inspecionado. b) Imagem térmica.	47
Figura 11 – Inspeção termográfica de M2: a) Motor inspecionado. b) Imagem térmica.	47
Figura 12 – Localização dos pontos suspeitos em P1	48
Figura 13 – Inspeção termográfica em P1: a) Vista frontal de K1. b) Vista lateral de K1. c) Cabo aquecido CB1.	48
Figura 14 – Cabo aquecido em P1	50
Figura 15 – Inspeção termográfica em D2: a) Fotografia da área inspecionada. b) Inspeção do cabo aquecido. c) Inspeção da conexão mediante parafuso.....	51

Figura 16 – Inspeção termográfica em P2: a) Painel de controle inspecionado. b) Imagem térmica. 52

Figura 17 – Inspeção termográfica de D3: a) Quadro de Distribuição inspecionado. b) Imagem térmica. 53

Figura 18 – Inspeção termográfica de D4: a) Quadro de distribuição inspecionado. b) Imagem térmica 1. c) Imagem térmica 2. 53

Figura 19 – Inspeção termográfica em T1: a) Imagem térmica frontal. b) Imagem térmica de retaguarda. 54

Figura 20 – Inspeção térmica em CM1: a) Caixa de medição inspecionada. b) Imagem térmica. 55

Figura 21 – Análise termográfica das fases do disjuntor geral de CM1: a) Inspeção da fase A. b) Inspeção da fase B. c) Inspeção da fase C..... 55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores típicos de emissividade de alguns materiais	20
Tabela 2 - Máxima Temperatura Admissível.....	31
Tabela 3 – Critérios para classificação de variação de temperatura entre elementos similares	32
Tabela 4 - Principais características do termovisor FLIR - T200	40
Tabela 5 – Parâmetros inseridos no termovisor durante a inspeção.....	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios de priorização de intervenção	32
Quadro 2 – Equipamentos inspecionados	37
Quadro 3 - Critérios de priorização de intervenção	43
Quadro 4 - Resumo da inspeção termográfica.....	57

L ISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1ª Cia Inf	1ª Companhia de Infantaria
CMNE	Comando Militar do Nordeste
ITC	Infrared Training Center
MTA	Máxima Temperatura Admissível
OM	Organização Militar
SE	Subestação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Justificativa.....	13
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	15
1.3	Organização do Trabalho	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Termografia.....	16
2.1.1	Temperatura.....	18
2.1.2	Radiação Infravermelha	19
2.1.3	Radiação Térmica	19
2.1.4	Emissividade	20
2.1.5	Termovisor	21
2.2	Manutenção	24
2.3	Tipos de Manutenção	25
2.3.1	Manutenção Preditiva.....	25
2.3.2	Manutenção Preventiva.....	26
2.3.3	Manutenção Corretiva	26
2.4	Tipos de Termografia	26
2.4.1	Termografia Ativa	26
2.4.2	Termografia Passiva.....	27
2.5	Manutenção e a Termografia.....	27

2.6	Métodos de Análise Termográfica	28
2.6.1	Método Qualitativo.....	28
2.6.2	Método Quantitativo	29
2.7	Termografia Aplicada a Eletricidade	29
2.8	Limitações da Inspeção Termográfica	33
3	METODOLOGIA	35
3.1	Preparação para o Ensaio Termográfico	36
3.1.1	Estudo Inicial do Local e Levantamento de Equipamentos para a Inspeção Termográfica	36
3.1.2	Câmera Termográfica Utilizada	39
3.1.3	Inserção dos Parâmetros da Inspeção no Termovisor.....	41
3.2	Execução da Análise Termográfica	41
3.3	Classificação das Anomalias Encontradas	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a termografia tem se tornado um método não invasivo muito importante para a análise de instalações elétricas prediais e industriais, pois através do estudo térmico de imagens pode-se garantir um bom programa de manutenção preditiva e preventiva, sem que seja necessária uma ação direta no circuito. A avaliação é realizada pelo termovisor, que capta as manifestações da radiação infravermelha, não visível a olho nu, mas que é emitida naturalmente por todos os corpos, e por meio de um software passa a fornecer imagens onde é possível perceber pontos quentes no objeto inspecionado.

Naturalmente, a intenção principal de um estudo térmico de um circuito elétrico de baixa tensão é o mapeamento de pontos quentes, quer seja em cabos e conexões, ou mesmo em equipamentos ligados àquela rede. Esses pontos de maior temperatura, podem ser reflexo da interação de corrente elétrica e resistência em várias situações: falha nas conexões, erro no dimensionamento de condutores ou mesmo falha na operação de equipamentos, que podem trazer problemas graves a instalação, ocasionando problemas que vão desde a diminuição da vida útil do equipamento à ignição de incêndios e destruição parcial ou total de máquinas e aparelhos elétricos.

O emprego do rastreamento térmico das condições de operação de equipamentos elétricos e máquinas rotativas para manutenção preditiva é um dos mais utilizados nos dias de hoje pela termografia. O monitoramento dessas condições de operação cresce com a implementação de novos equipamentos termográficos (KAPLAN, 2007).

Podem ser declaradas anomalias térmicas eventos nas seguintes condições: temperatura acima da máxima temperatura admissível para o componente avaliado; aquecimento superior a 25°C em relação ao ambiente, excetuando-se resistências de aquecimento, bobinas, lâmpadas acesas e resistores; equipamento com temperatura diferente de outro similar adjacente operando nas mesmas condições de carga e trabalho; equipamentos que não

são inspecionados pelo termovisor, porém que demonstrem suspeita de aquecimento anômalo (ENGELETRICA, 2011).

Após a identificação dos pontos quentes, suspeitos de irregularidades, deve-se realizar uma análise mais profunda da problemática, identificando o grau de risco daquela anomalia para o circuito e a prioridade de manutenção que a mesma deve receber.

Este trabalho visa a realizar o mapeamento dos riscos prioritários por meio da investigação termográfica da rede elétrica da 1ª Companhia de Infantaria, sediada em Paulo Afonso, Estado da Bahia, percorrendo seu circuito e analisando as imagens fornecidas pelo termovisor, a partir da subestação daquela Organização Militar até os principais pontos de conexão, caixas de disjuntores e de comando de motores e equipamentos ligados à rede.

Além do preço de um possível equipamento perdido, os prejuízos de se optar pela manutenção corretiva podem ser ainda maiores para uma empresa, uma vez que há perdas de receitas pela inatividade do equipamento danificado.

Dessa forma, o estudo de caso aqui disposto deve ratificar a importância do uso da termografia no prognóstico de riscos elétricos em uma instalação predial, e cujo o papel é subsidiar a elaboração eficiente de um plano de manutenção preditiva e preventiva do circuito, minimizando os riscos e traumas das manutenções corretivas.

1.1 Justificativa

Nos últimos anos, a tecnologia tem favorecido os profissionais das diversas áreas da engenharia com a criação de equipamentos com as mais variadas utilidades. No mundo da eletricidade, em que se trabalha com uma grandeza não palpável e não observável a olho nu, há grande dificuldade de se perceber os efeitos da corrente elétrica em um circuito antes que uma falha aconteça e por isso, o termovisor é tão útil na investigação não invasiva de uma rede de média e baixa tensão.

Uma das características de um condutor quando na presença de corrente elétrica é a temperatura. Desta forma, desconsiderando os efeitos externos, a temperatura do condutor será mais alta quanto maior for o valor da corrente elétrica fluindo por sua seção transversal (SEGUNDO, 2009).

Ora, a partir dessa premissa pode-se direcionar esforços no emprego do termovisor, que pode reconhecer pontos quentes fora do padrão em um sistema elétrico, evitando danos à estrutura física e a equipamentos ligados ao circuito analisado, visando economia nos gastos com manutenções corretivas e priorizando a manutenção preditiva e preventiva nos pontos de riscos prioritários levantados.

De modo geral, o ganho acadêmico pela execução deste projeto será imensurável, pois permitirá ao graduando o contato com um equipamento moderno, funcional para a engenharia elétrica e que traz resultados realmente confiáveis, conduzindo para soluções precisas, econômicas e eficazes dentro de um circuito elétrico.

Além do ganho técnico proporcionado pela utilização do termovisor e análise das imagens por ele fornecidas, o trabalho poderá fomentar outras iniciativas na área da termografia, favorecendo a pesquisa acadêmica e inserindo outros graduandos nessa promissora área de atuação do engenheiro eletricista.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo realizar o estudo termográfico da rede elétrica da 1ª Companhia de Infantaria para levantamento de anomalias e riscos relativos àquela instalação e propor prioridade de intervenção para a equipe de manutenção daquela Organização Militar.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Levantar os pontos de temperatura elevada na subestação, quadros de distribuição, painéis de comandos de motores e principais equipamentos elétricos da 1ª Companhia de Infantaria;
- Identificar e classificar as anomalias encontradas nas instalações elétricas daquela Organização Militar;
- Colaborar para que o comando da 1ª Companhia de Infantaria possa realizar o planejamento de manutenção de sua rede elétrica atentando para a prioridade dos riscos das anomalias.

1.3 Organização do Trabalho

Este trabalho segue com o capítulo 2 apresentando a fundamentação teórica básica para entendimento do estudo termográfico, o capítulo 3 onde são mostrados os procedimentos metodológicos utilizados antes, durante e após o ensaio. No capítulo 4 constam os resultados e suas respectivas discussões e, por fim, o capítulo 5 apresenta as considerações finais sobre o referido estudo de caso.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Termografia

A termografia é um artifício de obtenção e investigação de dados térmicos a partir de equipamentos de aquisição de imagens termais sem a necessidade de contato físico (ITC, 2010).

A termografia por infravermelho baseia-se no fenômeno físico de que todo objeto com temperatura acima de zero absoluto ($-273,15^{\circ}\text{C}$), emite radiação eletromagnética em função da excitação das moléculas das quais é constituído (KERSUL, 2014, p.17).

Kersul (2014), diz que termografia é “escrever com calor”, da mesma forma que fotografia quer dizer “escrever com luz”. A figura formada é chamada de termograma ou imagem térmica. O que torna possível a obtenção das imagens sem contato físico é a emissão da radiação infravermelha.

Ainda segundo Kersul (2014), a temperatura tem papel de grande importância, versatilidade e utilidade para o estudo termográfico. Desde sua invenção, o mapeamento das manifestações infravermelhas radiadas da superfície dos objetos fez com que fosse possível a aplicação em diversos setores da engenharia, por exemplo, engenharia elétrica, construção civil, avaliação de fornos e caldeiras, engenharia mecânica, avaliação de tanques e recipientes e avaliação de fluxo de fluidos.

Já o trabalho de Santos (2012) mostra que a intensidade da radiação emitida é diretamente proporcional a temperatura do corpo. Desta maneira, a temperatura de determinado objeto pode ser medida pela intensidade da radiação emitida por aquela superfície, informação utilizada pela termografia para medir temperatura e visualizar a distribuição térmica de uma superfície, sem contato físico com aquele objeto.

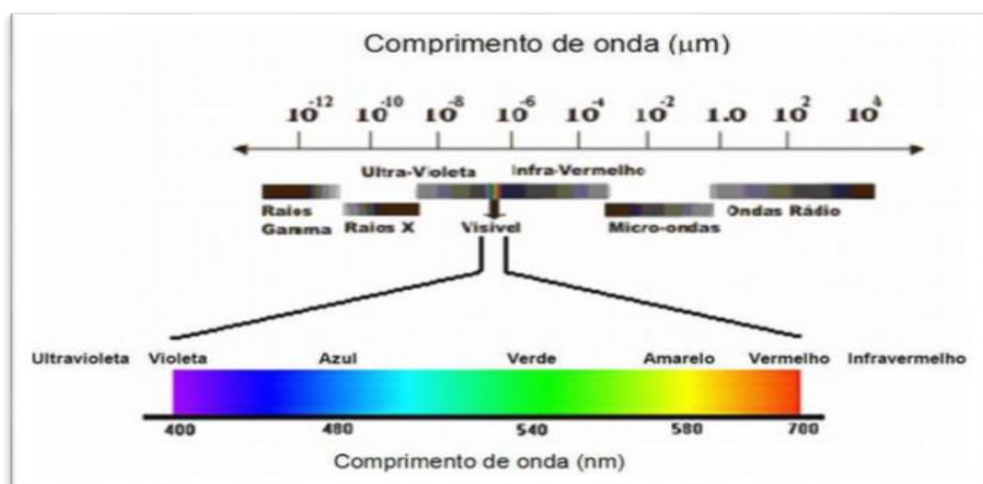
Para Chrzanowski (2001), a radiação eletromagnética, em especial a térmica, é emitida nas faixas de ultravioleta, visível, infravermelho e faixa de micro-ondas. Todavia, nos equipamentos elétricos sob efeito da temperatura a radiação eletromagnética emitida está localizada na faixa de infravermelho.

É por esse motivo que os termovisores empregados em análises de sistemas elétricos são projetados para captar essa radiação. As mais conhecidas faixas de comprimento de onda estão relacionadas a seguir:

- Gama;
- Raios-X;
- Ultravioleta;
- Luz visível;
- Infravermelha;
- Micro-ondas;
- Ondas de rádio.

A Figura 1 mostra a faixa do espectro de comprimento de onda dessas radiações.

Figura 1 – Espectro de comprimento de onda



Fonte: ITC, 2010.

As definições empregadas para avaliação da radiação incidente ou emitida em um objeto são as seguintes (ITC, 2010):

- Emissão – quando a energia é liberada pelo material;

- Absorção – quando a energia é retida pelo material;
- Reflexão – quando a energia é refletida pelo material;
- Transmissão – quando a energia atravessa o material.

Barreira (2004), diz que emissão térmica dos sólidos está diretamente associada com a concepção do corpo negro. Este, por sua vez, é um objeto que absorve toda a energia que acomete sobre ele, para qualquer comprimento de onda. Há duas formas de simular um corpo negro: estabelecendo-se uma cavidade quase fechada, ou utilizando-se um revestimento absorvente perfeito. A primeira é a cavidade dentro de um sólido que possui um único orifício de dimensões pequenas se comparadas às dimensões da cavidade. Já o revestimento absorvente perfeito é um tratamento superficial ou tinta que quando aplicado ao objeto fará com que este absorva praticamente toda a radiação incidente.

Corpos negros não existem na vida real, mas em teoria são radiadores ideais. Por esse motivo, objetos que simulam um corpo negro são importantíssimos para a termografia, principalmente durante calibração das câmeras termográficas (ITC, 2010).

2.1.1 Temperatura

Para Anacleto (2007), a temperatura está presente nas mais variadas situações, desde o nosso dia-a-dia até suas investigações científicas, sendo uma das grandezas físicas mais medidas e controladas, além do fato das grandezas e os fenômenos físicos dependerem quase sempre da temperatura, tornando-a um parâmetro de grande relevância.

Fisicamente, a temperatura é a medida do grau de agitação das partículas constituintes de um corpo, ou seja, quanto mais quente está determinado objeto, maior é a agitação de suas moléculas e consequentemente maior será sua temperatura.

Quando dois objetos, separados fisicamente, estão em equilíbrio térmico com um terceiro objeto, pode-se afirmar que eles estão em equilíbrio térmico entre si. A temperatura, em consequência disso, é a propriedade que descreve as condições termodinâmicas dos objetos em equilíbrio térmico (CHRZANOWSKI, 2001).

2.1.2 Radiação Infravermelha

De acordo com Sobczak Junior (2012), esse tipo de radiação está situado após a faixa de luz visível, ou seja, à frente da faixa de comprimento de onda visível ao olho humano, entre 0,75 a 1000 microns, e seu limite superior se confunde com as micro-ondas.

Ao ser emitida pelo objeto, a termografia identifica essa radiação não invisível ao olho humano, transformando-a em termogramas visíveis e possibilitando a realização de leituras de temperatura naquele objeto (MALDAGUE, 2001).

2.1.3 Radiação Térmica

Para conceituar a radiação térmica, Chrzanowski (2001) diz que a mesma é a radiação eletromagnética que os objetos emitem sempre que suas temperaturas se encontram acima do zero absoluto. Ela é propagada por ondas eletromagnéticas e não necessitam de um meio para isso.

Segundo Kersul (2014, p.23) “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”.

2.1.4 Emissividade

Segundo Chrzanowski (2001), a emissividade depende de vários fatores como: tipo de material, acabamento, influência de fatores externos (raios solares, oxidação, chuva, pintura) e, é a capacidade que um corpo possui de emitir radiação, que conseqüentemente relaciona-se com a temperatura em que se encontra o objeto.

Já Madding, Orlove e Kaplan (2003) complementam dizendo que a situação da superfície do objeto interfere na emissividade, dizendo, ainda, que a emissividade representa a capacidade de emissão de radiação de uma superfície. Como os equipamentos termovisores medem temperatura indiretamente, pois enxergam apenas a radiação, as leituras de temperatura captadas pelo termovisor são imperiosamente dependentes da emissividade.

Os valores de emissividade variam de 0 (zero) a 1 (um), sendo os menores valores característicos de objetos refletivos e os maiores valores de objetos emissores. A direção de observação relativa à superfície pode causar variação do valor de emissividade (GAUSSORGUES, 1994).

A Tabela 1 mostra alguns valores típicos de emissividade de materiais diversos, ressaltando-se que esses valores podem variar a depender das condicionantes citadas por Madding, Orlove e Kaplan (2003) e Gaussorgues (1994).

Tabela 1 - Valores típicos de emissividade de alguns materiais

MATERIAL	TEMPERATURA(°C)	EMISSIVIDADE
Alumínio (comercial)	100	0,09
Alumínio (oxidado)	90-500	0,20 – 0,31
Latão (chapa laminada)	25	0,06

Cobre (comercial)	25	0,07
Cobre (oxidado)	25	0,78
Aço (inoxidável polido)	100	0,07
Ferro Fundido (polido)	200	0,21
Borracha (dura e lisa)	25	0,94
Borracha (macia e áspera)	25	0,86

Fonte: Neto, 2004.

A Fluke (2014), por exemplo, sugere que a maioria dos materiais orgânicos e áreas pintadas ou oxidadas possuem emissividade de 0,95.

Veratti (1992) fala da relevância da emissividade na troca térmica de um objeto. Na maioria das vezes, o incremento do valor da emissividade da superfície externa de um forno ou linha isolada acarreta uma queda da temperatura externa daquele equipamento, porém, há um aumento no quantitativo de calor trocado com o ambiente. Por outro lado, há um aumento da temperatura externa do equipamento se uma camada de baixa emissividade for instalada na superfície do mesmo, ocasionando diminuição do calor cedido ao ambiente.

2.1.5 Termovisor

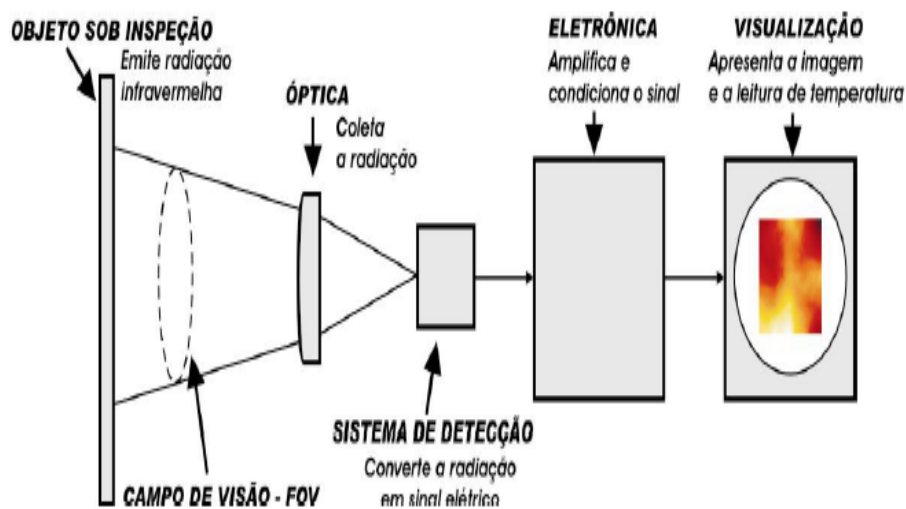
Para Veratti (1992), os termovisores são similares a câmeras fotográficas, com lentes objetivas intercambiáveis que permitem ao operador o ajuste do campo de visão às características do local inspecionado. Apesar das imagens também serem observadas coloridas, inicialmente são captadas em

preto e branco. Já o registro, atualmente, é completamente digital, sendo as imagens armazenadas em discos rígidos e memórias internas, possibilitando a associação com computadores para processamento dessas imagens.

Além de mostrar graficamente as diferenças de temperatura, essas unidades medem e armazenam as temperaturas de cada ponto da imagem. Subsequentemente, todos esses pontos de dados podem ser nomeados e usados em análises detalhadas de problemas potenciais ou simplesmente na monitoração de tendências num mesmo local ao longo do tempo (FOLDER, 2010, p. 2).

A Figura 2 apresenta de forma resumida o princípio de funcionamento de uma câmera termográfica.

Figura 2 – Princípio básico de funcionamento do termovisor



Fonte: Santos, 2016.

Na Figura 3 é possível observar as diferenças de temperatura no corpo de um transformador de potencial visto por um termovisor. Os pontos mais claros do termograma representam as áreas da carcaça do transformador cujas temperaturas são mais elevadas.

Figura 3 – Transformador de potencial visto por um termovisor



Fonte: Santos, 2016.

2.1.5.1 Tipos de Termovisores

Os termovisores são classificados em relação ao comprimento de onda do objeto em que se deseja realizar a inspeção. Os metais se enquadram na faixa de 0,8 a 1,0 microns, os vidros variam de 1,0 até 14,0 microns (VERATTI, 1992).

Existem diversos modelos de termovisores disponíveis no mercado, de dimensões e características diferentes e com aplicações singulares. Desta forma, a instalação elétrica a ser estudada fornecerá os parâmetros para escolha do termovisor, entre os quais pode-se citar:

- Tamanho dos objetos analisados;
- Faixa de temperatura estudada;
- Distância entre o inspecionador e o objeto inspecionado; e
- Temperatura ambiente.

2.2 Manutenção

Maneiras simplificadas de manutenção são verificadas desde o início das grandes civilizações, mas apenas com a Revolução Industrial do século XVIII, associada ao enorme avanço tecnológico, que o papel da manutenção surgiu na indústria como forma de possibilitar a continuidade do trabalho, quando o próprio operador da máquina era habilitado a realizar reparos (WIREBSK, 1997).

De fato, a manutenção de máquinas e equipamentos é fundamental para a operação de todos os tipos de empresas. Desde máquinas girantes até equipamentos eletrônicos devem possuir um plano de manutenção eficiente para prolongamento de sua vida útil.

Almeida (2011) relata que pesquisas recentes a respeito da eficiência da gestão de manutenção mostram que um terço dos valores monetários desse processo são perdidos com intervenções desnecessárias ou realizadas inadequadamente. A indústria americana, por exemplo, consome em média 200 bilhões de dólares por ano somente com manutenção dos equipamentos utilizados na produção, comprometendo os lucros e eficiência do negócio.

Por esse motivo, empresas de todo mundo têm concentrado investimentos em programas de manutenção que visem a eficiência do empreendimento, direcionando os trabalhos em ações que se antecipem aos problemas.

Faria (2011) diz que uma gestão de manutenção bem elaborada deve levar em consideração fatores técnicos tradicionais e fatores como a relação entre custo e eficiência, tempo de implementação, confiabilidade, segurança e qualidade total.

2.3 Tipos de Manutenção

2.3.1 Manutenção Preditiva

Para Nóbrega (2011), a manutenção preditiva monitora regularmente a condição mecânica do equipamento por meio de indicadores operacionais e de desempenho daquele componente, visando a identificação de anomalias em seu mecanismo de trabalho. Desta forma, é possível prever a falha antes que ela aconteça, garantindo a operação contínua do equipamento monitorado (NÓBREGA, 2011).

No cenário da gestão da manutenção, a ação preditiva aparece como uma forma mais apurada de programar intervenções nos equipamentos. Consiste no acompanhamento da performance da máquina através da avaliação de alguns indicadores para a definição do momento correto da intervenção de manutenção (SOUZA, 2008, p.8).

Obviamente, o investimento em tecnologias que preveem falhas é alto devido as peculiaridades dos equipamentos possuidores dessa característica. Paralelamente ao custo de aquisição dos equipamentos há a necessidade de se investir em treinamento especializado aos operadores, aumentando ainda mais o custo final de investimento. Porém, os ganhos a médio e longo prazo são imensuráveis quando se percebe que essa iniciativa pode baratear o processo de manutenção corretiva com inspeções direcionadas aos pontos de problema rastreado.

Para Santos (2012), a confiabilidade nas plantas industriais garante que menos paradas não programadas sejam realizadas. A manutenção industrial deixou de priorizar intervenções corretivas, passando a fomentar a ideia que garantisse que os equipamentos estejam operando na maior parte do tempo de produção. Desta forma, é necessário que a inspeção seja realizada buscando identificar padrões de operação de máquinas e equipamentos diferentes de suas especificações, visando o mapeamento antecipado de prováveis falhas.

2.3.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva tem por objetivo principal a prevenção de um dano material ou operacional por meio da intervenção antecipada em determinado equipamento.

A rotina para desencadear inspeções voltadas à manutenção preventiva de equipamentos elétricos está voltada para a observação visual de algumas de suas características. A periodicidade dessas inspeções obedece a relevância crítica do equipamento avaliado, condições ambientais e circunstâncias operacionais (CALDARA et al., 2011).

2.3.3 Manutenção Corretiva

Para Monteiro, Souza e Rossi (2010, p.3), “a manutenção corretiva visa corrigir, restaurar, recuperar a capacidade produtiva de um equipamento ou instalação, que tenha cessado ou diminuído sua capacidade de exercer as funções às quais foi projetado”.

É o tipo de manutenção mais oneroso para a administração das empresas, pois, normalmente, os problemas alvos da correção poderiam ser evitados com planos de manutenções preditivas e preventivas.

Ainda para Monteiro, Souza e Rossi (2010), esse tipo de manutenção é de atendimento imediato e diretamente no equipamento com falha e são comuns nas empresas que não possuem um plano de manutenção.

2.4 Tipos de Termografia

2.4.1 Termografia Ativa

Nesse método de análise o objeto inspecionado deve ser provocado a mostrar suas anomalias. Como exemplo, em um estudo de Tarpani (2009), citado por Sobczak Junior (2012), o aquecimento de um laminado que foi

submetido a um ensaio de impacto, mostra que as visualizações dos defeitos ficaram mais destacadas. Este método é aplicado a casos especiais, como inspeções em estruturas de aviões, que não podem ser feitas em tempo real.

2.4.2 Termografia Passiva

De acordo com Maldague (2002), a termografia passiva é realizada em equipamentos ou objetos que naturalmente já apresentam uma temperatura de operação diferente do ambiente.

Na avaliação termográfica de uma linha de transmissão, por exemplo, os cabos, devido a passagem de corrente que provoca o efeito Joule, sofrem um incremento de temperatura, não sendo necessário que o inspecionador se utilize de outros métodos para estimular o aparecimento das anomalias naquela linha.

2.5 Manutenção e a Termografia

Para grandes e pequenas empresas o gerenciamento das manutenções elétricas é fundamental para a eficiência de sua atividade, pois desligamentos frequentes do circuito podem afetar a produção e a viabilidade do negócio.

A manutenção é responsável pela disponibilidade das máquinas e equipamentos de uma empresa e tem importância imensurável nos resultados da organização. Esses resultados serão proporcionais à eficácia da gestão da manutenção (OTANI; MACHADO, 2008).

Nóbrega (2011), diz que a manutenção demanda altos custos e que normalmente há perdas de produção pela sua execução, uma vez que geralmente é solicitada quando apresenta alguma discordância de operação em algum equipamento, devendo, então, ser planejada para que somente o estritamente necessário seja realizado.

Atualmente há uma crescente preocupação das empresas quanto à segurança dos funcionários e disponibilidade de seus equipamentos, a fim de evitar que tenham paradas inesperadas. Assim, os métodos de avaliação precisam ser cada vez mais eficazes para determinação do melhor momento de uma intervenção para manutenção. Então, destes procedimentos, que procuram reduzir gastos com substituição de peças que não apresentam defeitos, surgem novas ferramentas que podem auxiliar na determinação dessas tarefas (FERREIRA; FALANI; JERONIMO, 2010, p.1).

Al-Kassir (2005) mostra em seu estudo aplicações para o termovisor e uma delas na termografia para inspeção de edificações, onde se podem rastrear pontos onde reformas foram realizadas, modificações, fragilidades, fissuras e infiltrações. A avaliação termográfica pode, também, ser aplicado a outras áreas, principalmente na área de eletricidade.

2.6 Métodos de Análise Termográfica

2.6.1 Método Qualitativo

De acordo com Kersul (2014), utiliza-se amplamente esse método, já que durante a análise, a termografia qualitativa depende dos padrões térmicos para revelar a existência e localizar a posição de anomalias e assim avaliá-las, sem, entretanto, quantificá-las. Se algo estiver visivelmente normal, segue-se adiante com a inspeção. Entretanto, caso algo suspeito seja identificado, deve-se parar e analisar se de fato existe algo de errado.

Para Sobczak Junior (2012), na análise qualitativa o valor de temperatura encontrado não é tão importante, mas sim a característica apresentada na fotografia térmica. Na maioria dos casos, é o primeiro método a ser desencadeado, pois somente a partir de então, sabendo-se a existência e o local exato da possível falha, o estudo é apontado para termografia quantitativa.

2.6.2 Método Quantitativo

Já a termografia quantitativa é utilizada para classificar a prioridade e gravidade do risco relativo a anomalia encontrada e por esse motivo é o tipo de análise mais utilizado no ramo da termografia como ferramenta de antecipação a problemas elétricos por temperatura.

Kersul (2014) afirma que a termografia quantitativa utiliza os valores de temperatura como parâmetro na determinação da severidade de um problema e para estabelecimento das prioridades de intervenção para reparo. Desta forma, quando uma anomalia é rastreada, há necessidade de se saber qual a seriedade da mesma. Esse tipo de avaliação deve fornecer uma série de critérios rigorosos para determinar a seriedade da anomalia, que vão desde o material e temperatura de trabalho, de acordo com manuais e normas técnicas, à carga, equipamento, criticidade, segurança e fatores.

2.7 Termografia Aplicada a Eletricidade

Segundo Almeida (2011), um simples mau contato, que pode desencadear uma falha, pode ser rastreado e posteriormente corrigido com a utilização de termovisores. Para ele, a termografia aplicada a eletricidade é uma técnica preditiva e preventiva que produz grande retorno e afasta a ocorrência de acidentes ou perdas de produção.

A corrente elétrica é função da potência do equipamento e, se ele estiver operando em condições normais, é constante. Já a resistência elétrica pode variar no decorrer do tempo em virtude das dilatações ocasionadas pelas alterações térmicas sofridas pelas peças (SEGUNDO, 2009).

A geração de calor exagerado devido a passagem de corrente nos equipamentos presentes em painéis elétricos, cujas funções são distribuir e medir energia, comandar máquinas ou proteger componentes, acelera a deterioração desses equipamentos (SEGUNDO, 2009).

No Brasil existem algumas normas técnicas tratando sobre o assunto termografia. Abaixo estão listadas todas essas normas:

- ABNT-NBR-16292:2014 Ensaios não destrutivos - Termografia - Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas;
- ABNT-NBR-15572:2013 Ensaios não destrutivos - 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 Ensaios não destrutivos - Termografia - Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência;
- ABNT-NBR-15718:2009 Ensaios não destrutivos - Termografia - Guia para verificação de termovisores;
- ABNT-NBR-15424:2006 Ensaios não destrutivos - Termografia – Terminologia.

A norma ABNT NBR 15866:2010 descreve que uma anomalia pode ser identificada em relação a:

- um valor estabelecido pelo fabricante nas condições nominais (MTA);
- um elemento similar adjacente;
- um valor estabelecido pelo usuário final com base no histórico operacional;

Brito (2002), consolida na Tabela 2 os valores das máximas temperaturas admissíveis para componentes cuja especificação não seja fornecida pelo fabricante.

Tabela 2 - Máxima Temperatura Admissível

COMPONENTE	MTA (°C)
Condutor Encapado (PVC)	70 -100
Condutor Encapado (EPR)	65-95
Condutor Encapado (XLP)	65-85
Régua de Bornes	38-45
Conexões Mediante Parafusos	34-40
Barramento de Baixa Tensão	110-114
Conexão de Prata ou Níquel	85-98
Fusível (corpo)	24

Fonte: Brito, 2002.

Para identificação das anomalias através de um elemento similar adjacente o *Infraspection Institute*, nos Estados Unidos, apresenta padrões para inspeção infravermelha de sistemas elétricos, ou seja, variações de temperatura máximas para enquadramento do ponto analisado com a gravidade da anomalia.

Os padrões para inspeção infravermelha de sistemas elétricos do *Infraspection Institute* para avaliação por comparação com elemento semelhante são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Critérios para classificação de variação de temperatura entre elementos similares

PRIORIDADE	VARIAÇÃO DE TEMPERATURA	AÇÃO RECOMENDADA
1	1°C a 10°C	Medidas corretivas devem ser tomadas no próximo período de manutenção.
2	>10°C a 20°C	Medidas corretivas com agendamento.
3	>20°C a 40°C	Medidas corretivas assim que possível.
4	>40°C	Medidas corretivas imediatas.

Fonte: Infraspection Institute, 2008.

Segundo Brito (2002), a prioridade de intervenção para manutenção dos equipamentos com alguma anomalia deve ser classificada da maneira descrita na Quadro 1.

Quadro 1 - Critérios de priorização de intervenção

CLASSIFICAÇÃO	COMENTÁRIOS
Rotina	Reparar conforme data do plano de manutenção; Pequena possibilidade de falha ou danos físicos ao componente.
Intermediária	Reparar quando possível. Verifique a possibilidade de falha no equipamento.
Séria	Reparar o mais rápido possível. Se necessário troque o componente e inspecione os adjacentes a procura de danos físicos. Há possibilidades de falha nos componentes.

Emergencial	<p>- Reparar imediatamente.</p> <p>Troque o componente, inspecione os adjacentes e troque-os, se necessário.</p> <p>É grande a possibilidade de falha no componente.</p>
-------------	--

Fonte: Brito, 2002.

2.8 Limitações da Inspeção Termográfica

De acordo com a norma ABNT-NBR-15572:2013, a análise termográfica está sujeita a interferências que vão desde a calibração da câmera até o seu modo de operação, alimentação de parâmetros e influências do ambiente. Por isso, algumas ações são recomendadas por esta norma visando a minimização dessas interferências, tais como:

- Utilização da emissividade correta para cada tipo de material;
- Não utilizar a temperatura absoluta ou a diferença relativa de temperatura como único parâmetro para definição de uma falha;
- Realizar a calibração da câmera termográfica pelo menos a cada 24 meses;
- Realizar a observação direta do componente, sem interpor qualquer anteparo entre ele e a câmera;
- Observação do componente segundo vários ângulos quando na presença de suspeita de anomalia;
- Evitar inspeções cuja reflexo e carregamento solar possam comprometer a imagem gerada pelo equipamento;
- Evitar inspeções com velocidade acima de 20 km/h;

- Não realizar inspeções sob chuva, garoa, neblina ou com umidade relativa do ar acima de 90%;
- Manter o ângulo de abordagem do equipamento próximo de 90° em relação ao termovisor;
- Evitar posicionar a câmera próximo de equipamentos com alta emissão de campo eletromagnético.

3 METODOLOGIA

Este trabalho aborda o estudo de caso da análise termográfica dos principais equipamentos elétricos da 1ª Companhia de Infantaria, localizada em Paulo Afonso, Bahia. Este capítulo descreve os metodologia adotada durante a inspeção.

A finalidade foi levantar pontos anômalos sugestivos de falhas elétricas visando ordenar a prioridade das intervenções da equipe de manutenção da unidade inspecionada.

Figura 4 – Local da realização da análise termográfica



A metodologia seguiu as orientações das normas ABNT-NBR-15572:2013, que trata da rotina adequada para o desenvolvimento de inspeções termográficas de equipamentos elétricos e mecânicos e da ABNT-NBR- 15866:2010, que descreve a metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos.

O estudo da rede elétrica da 1ª Cia Inf foi realizado com a aplicação da termografia passiva, pois as características de temperatura de operação dos equipamentos elétricos já eram suficientes para que manifestações anômalas fossem identificadas pelo termovisor. Inicialmente, as anomalias foram

avaliadas pelo método qualitativo, quando o termografista analisou apenas padrões diferenciais térmicos, que posteriormente o direcionou para o método de análise quantitativo, comparando a temperatura entre equipamentos semelhantes, ou confrontando a temperatura absoluta medida com respectiva máxima temperatura admissível de cada equipamento.

O desenvolvimento do trabalho foi dividido em três etapas: preparação para o ensaio termográfico, execução da inspeção termográfica e estudo das anomalias encontradas.

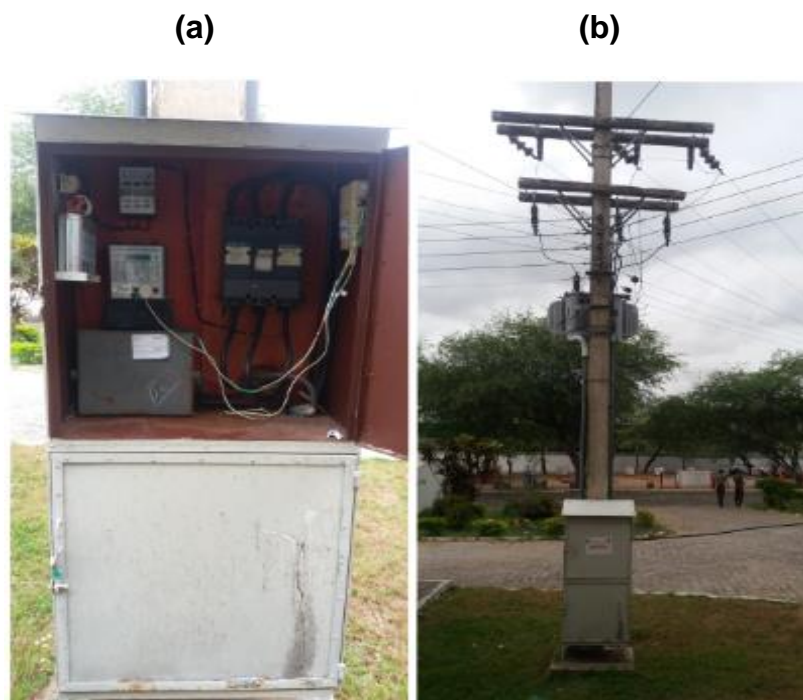
3.1 Preparação para o Ensaio Termográfico

3.1.1 Estudo Inicial do Local e Levantamento de Equipamentos para a Inspeção Termográfica

Antes da inspeção termográfica, foi realizado um levantamento sumário das características da rede elétrica do local, momento em que foi verificado que a 1ª Companhia de Infantaria é um consumidor enquadrado no Grupo A, possuindo uma subestação simplificada com um transformador de potência aparente de 112,5 kVA, que abaixa a tensão de 13,8 kV para 220/127 V. A corrente média por fase em um dia de expediente normal, quando a maioria dos equipamentos estão ligados, gira em torno de 140 A, medida na saída do disjuntor geral.

Além disso, seu circuito é bastante antigo e sofreu inúmeras expansões nos últimos anos, se estendendo por um raio de aproximadamente 250 m, tendo o transformador como origem. Na Figura 5 é possível observar os equipamentos da subestação simplificada da 1ª Cia Inf.

Figura 5 – Subestação da 1ª Cia Inf: a) Caixa de Medição. b) Fotografia da SE simplificada.



Juntamente com a equipe de manutenção da 1ª Companhia de Infantaria, composta por dois militares eletricitas, foram levantados os locais mais importantes da instalação, tais como: transformador de potência, caixa de medição, motores, disjuntores e caixas de comando de motores. Esse levantamento está disposto no Quadro 2, onde também os equipamentos receberam uma codificação para facilitar a sua identificação durante este estudo de caso.

Quadro 2 – Equipamentos inspecionados

ORDEM	EQUIPAMENTO	LOCAL	CÓDIGO
1	Quadro de Distribuição	Seção de Saúde	D1
2	Motor 1	Sala de Bombas	M1

3	Motor 2	Sala de Bombas	M2
4	Painel de Controle de Bombas	Sala de Bombas	P1
5	Quadro de Distribuição	Alojamentos de Cabos	D2
6	Painel de Controle da Câmara Fria	Área Externa do Rancho	P2
7	Quadro de Distribuição	Pelotão de Transportes	D3
8	Quadro de Distribuição	Área Interna do Rancho	D4
9	Transformador de Potência	Retaguarda da Companhia	T1
10	Caixa de Medição	Estacionamento do Rancho	CM1

Foi relatado pela equipe de manutenção que a maioria das faltas de energia elétrica da OM (Organização Militar) são ocasionadas por problemas externos à unidade, mas que eventualmente houve quedas de energia nos alojamentos de cabos e seções vizinhas, devido ao desarme de disjuntores em D2.

Posteriormente, foram levantados os dados técnicos de motores, disjuntores, contadores e transformador, além de realizada uma análise qualitativa por meio da inspeção visual nos equipamentos, identificando possíveis pontos cuja inspeção termográfica deveria ser mais rigorosa, como pontos de ferrugem, conexões frouxas e desgastadas.

Nesse momento, percebeu-se que muitos dados técnicos não estavam mais disponíveis naqueles componentes e existiam vários pontos de ferrugem nas conexões mediante parafuso de algumas caixas de disjuntores, conforme se pode observar na Figura 6.

Figura 6 – Pontos de ferrugem nas conexões de D3



3.1.2 Câmera Termográfica Utilizada

Durante a inspeção foi utilizada a câmera termográfica apresentada na Figura 7, da marca FLIR, modelo T200, cedida pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco a pedido do Comandante da 1ª Companhia de Infantaria, e cujas principais características estão elencadas na Tabela 4.

Figura 7 – Termovisor FLIR - T200



Fonte: FLIR, 2010.

Tabela 4 - Principais características do termovisor FLIR - T200

Faixa de temperatura	-20°C a 350°C
Precisão	$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
Campo de visão	25° x 19°/0,4 m
Foco	Manual/Automático
Sensibilidade térmica	0,08°C° a 30°C
Modo de imagem	Térmica/Visual/Fusão
Emissividade	0,1 a 1,0

Fonte: FLIR, 2010.

Desta maneira, o equipamento utilizado atendeu as especificidades da rede elétrica do local inspecionado, principalmente no que diz respeito a faixa de temperatura de trabalho e emissividade.

3.1.3 Inserção dos Parâmetros da Inspeção no Termovisor

No início da inspeção termográfica, o termografista alimentou o equipamento com os parâmetros de emissividade, temperatura ambiente e distância de medição. A emissividade utilizada em inspeções de materiais de isolamento, painéis metálicos e plásticos é de 0,95. Já a temperatura ambiente no momento da inspeção era de 29°C e a distância de medição inserida no termovisor de 2 m, exceto na inspeção de T1, na qual foi utilizada a distância de 10 m e temperatura ambiente de 28°C.

3.2 Execução da Análise Termográfica

A análise termográfica foi iniciada durante o horário de pico de funcionamento da Organização Militar, entre 08:00 h e 10:30 h da manhã, fazendo com que as correntes do circuito fossem suficientes para manifestar alterações de temperaturas nos componentes. Vale ressaltar que para isso, os integrantes da Organização Militar foram instruídos a ligar todos os equipamentos elétricos normalmente utilizados no dia-a-dia da unidade.

Apesar da norma ABNT-NBR-15572:2013 recomendar que se evite inspeções diurnas devido ao reflexo e efeito de carregamento solar, a maioria dos dispositivos avaliados estavam abrigados da luz direta do sol, possibilitando a inspeção sem interferência nas imagens coletadas. Entretanto, equipamentos como D4, T1 e CM1 não forneceriam imagens confiáveis devido estarem sob incidência de radiação solar no momento da inspeção. Desta maneira, para avaliação desses três equipamentos foi remarcada uma inspeção noturna no quartel.

Quando necessário, foram apontados ao termografista os pontos identificados antes da inspeção como possuidores de anomalia visual, afim de direcionar sua atenção para aqueles indicadores de falha.

Quando as imagens térmicas de determinado equipamento não mostravam anomalias a equipe de inspeção se dirigia para o próximo componente. Mas quando algum ponto anômalo era localizado o termografista buscava outros ângulos que pudessem fornecer imagens mais claras para análise dos resultados, alternando a investigação entre os métodos qualitativos e quantitativos. Além disso, quando necessário foi utilizado um alicate amperímetro para medição das correntes elétricas quando na necessidade da comparação com elemento similar ou identificação de sobrecorrentes.

3.3 Classificação das Anomalias Encontradas

Após a inspeção termográfica, o estudo das anomalias levantadas foi realizado, iniciando pela identificação da anomalia até a classificação da prioridade de intervenção.

Para a identificação das falhas foram utilizados os parâmetros de MTA em condições normais dos equipamentos e a comparação entre elementos similares adjacentes, ou os dois métodos, quando possível. No último caso, quando a prioridade de intervenção foi diferente entre os métodos, optou-se pela que trouxesse a reparação da falha mais rapidamente.

Os critérios de classificação da anomalia em relação a sua prioridade de intervenção foram os do *Infraspection Institute* (2008), para o método da comparação, e o critério do grau de importância do equipamento em falha para o local inspecionado, para o método da Máxima Temperatura Admissível.

Uma vez que o método da MTA trata apenas da identificação das falhas, sem dar prioridades de intervenção, o critério do grau de importância do equipamento para a unidade foi criado pelo autor do trabalho baseado em informações cedidas pelo comandante da 1ª Cia Inf sobre a relevância de cada

departamento para o funcionamento da OM, segurança humana envolvida, preservação do equipamento e redução dos custos de intervenção, conforme recomenda a ABNT-NBR-15866:2010, que trata da metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos.

Desta forma, o referido critério consiste no escalonamento da importância do equipamento em quatro níveis numerados de 1 a 4. O Grau 1 representa o menos importante e o Grau 4 o mais importante para a instalação.

- Grau 1 – A perda do equipamento não afeta o funcionamento da unidade;
- Grau 2 – A perda do equipamento causa algum transtorno ao funcionamento da unidade;
- Grau 3 – A perda do equipamento afeta seções que comprometem sensivelmente o funcionamento da unidade;
- Grau 4 – A perda do equipamento afeta o funcionamento de toda a unidade.

Com isso foi possível associar o critério da importância do equipamento ao critério de Brito (2002), que trata da classificação da anomalia em relação a sua prioridade de intervenção para manutenção. O Quadro 3 mostra a associação de cada critério de identificação com sua respectiva prioridade de intervenção.

Quadro 3 - Critérios de priorização de intervenção

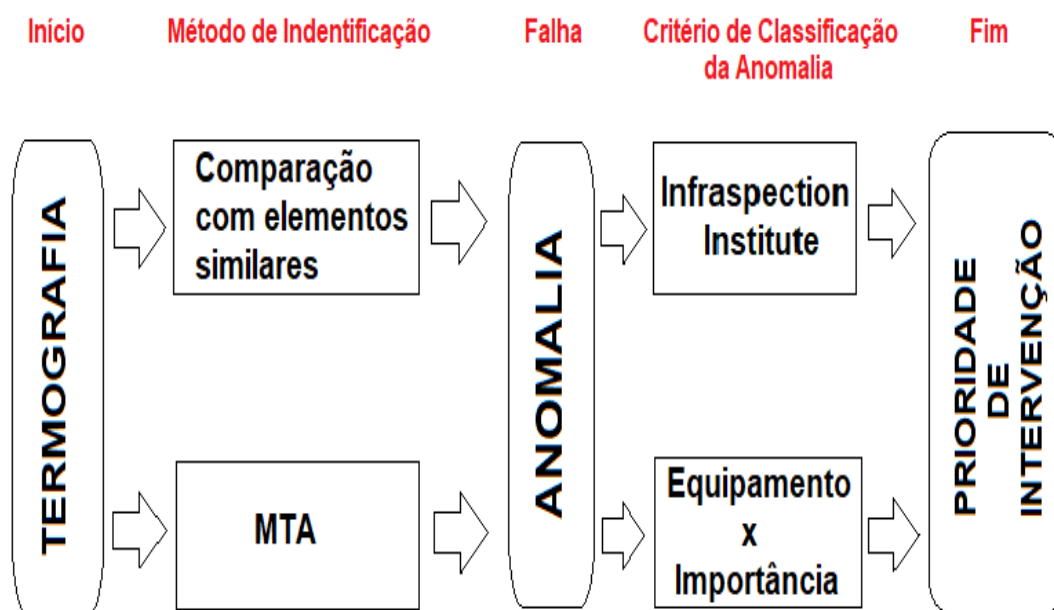
PRIORIDADE DE INTERVENÇÃO	CRITÉRIOS DE IDENTIFICAÇÃO		RECOMENDAÇÕES E COMENTÁRIOS
	MTA	COMPARAÇÃO	
Rotina	Grau 1 A perda do equipamento não afeta o	Prioridade 1 1°C a 10°C	Reparar conforme data do plano de manutenção; Pequena possibilidade

	funcionamento da unidade		de falha ou danos físicos ao componente.
Intermediária	<p>Grau 2</p> <p>A perda do equipamento causa algum transtorno ao funcionamento da unidade.</p>	<p>Prioridade 2</p> <p>>10°C a 20°C</p>	<p>Reparar quando possível.</p> <p>Verifique a possibilidade de falha no equipamento.</p>
Séria	<p>Grau 3</p> <p>A perda do equipamento afeta seções que comprometem sensivelmente o funcionamento da unidade.</p>	<p>Prioridade 3</p> <p>>20°C a 40°C</p>	<p>Reparar o mais rápido possível.</p> <p>Se necessário troque o componente e inspecione os adjacentes a procura de danos físicos.</p> <p>Há possibilidades de falha nos componentes.</p>
Emergencial	<p>Grau 4</p> <p>A perda do equipamento afeta o funcionamento de toda a unidade.</p>	<p>Prioridade 4</p> <p>>40°C</p>	<p>Reparar imediatamente.</p> <p>Troque o componente, inspecione os adjacentes e troque-os, se necessário.</p> <p>É grande a possibilidade de falha no componente.</p>

Fonte: Adaptado de Brito, 2002.

Para facilitar o entendimento, a Figura 8 ilustra o resumo do processo de classificação da anomalia.

Figura 8 – Resumo do processo de classificação da anomalia



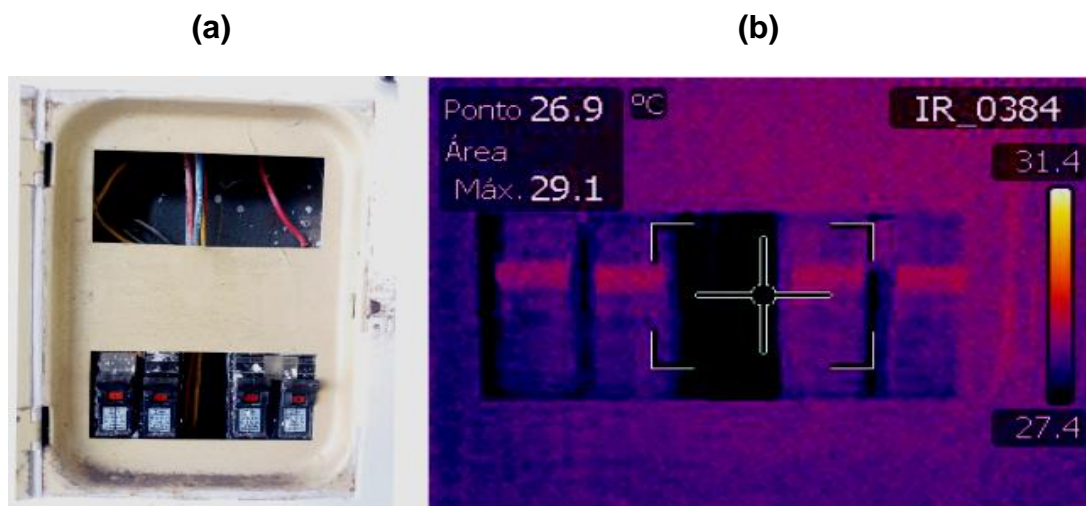
Por fim, quando o equipamento não apresentou alteração térmica a sua prioridade de intervenção foi de rotina, visando garantir a observação periódica do componente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através das imagens térmicas dos equipamentos elétricos da 1ª Companhia de Infantaria, foi possível realizar o estudo detalhado das falhas encontradas, as quais serão discutidas na ordem em que os componentes foram abordados pelo termografista.

A primeira abordagem ocorreu no quadro de distribuição D1, no qual não foi observada anomalia nos corpos dos disjuntores. As conexões mediante parafuso de D1 não puderam ser observadas, pois a tampa desse quadro estava lacrada, impossibilitando sua abertura. Uma vez na ausência de falha observável, esse equipamento recebeu prioridade de rotina para fins de manutenção. A imagem de D1 e sua respectiva imagem térmica é mostrada na Figura 9.

Figura 9 – Inspeção termográfica em D1: a) Quadro de distribuição inspecionado. b) Imagem térmica.



Os próximos equipamentos a serem abordados foram M1 e M2, cujas fotografias são mostradas nas Figuras 10 e 11, respectivamente.

Figura 10 – Inspeção termográfica de M1: a) Motor inspecionado. b) Imagem térmica.



Figura 11 – Inspeção termográfica de M2: a) Motor inspecionado. b) Imagem térmica.



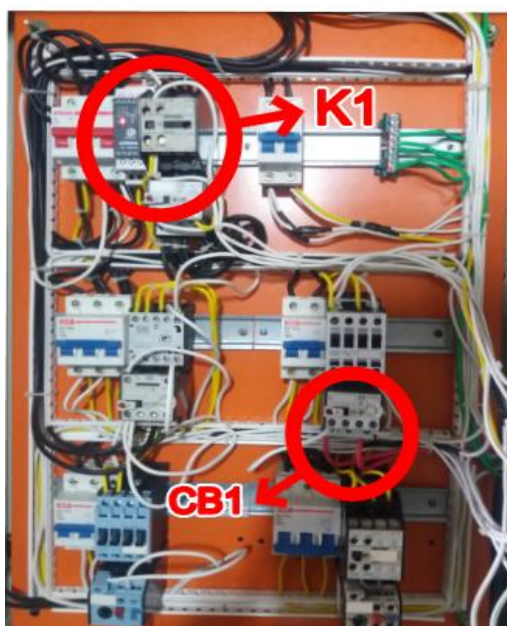
A informação que se dispunha a respeito de MTA dos motores estava relacionada à classe de isolamento. Pelos dados de placa, M1 e M2 têm classe de isolamento F, ou seja, temperatura máxima de 155°C em seus bobinados. Assim, devido a impossibilidade da observação direta das suas bobinas pelo termografista e sabendo-se que os dois equipamentos possuem as mesmas especificações técnicas e operavam em condições semelhantes, foi utilizado o método comparativo para identificar possíveis falhas elétricas.

Na comparação entre as imagens térmicas de M1 e M2, percebeu-se que a variação de temperatura entre as carcaças dos motores foi menor que

10°C. Por isso, recebeu prioridade 1 na identificação da falha e consequentemente prioridade de rotina para manutenção.

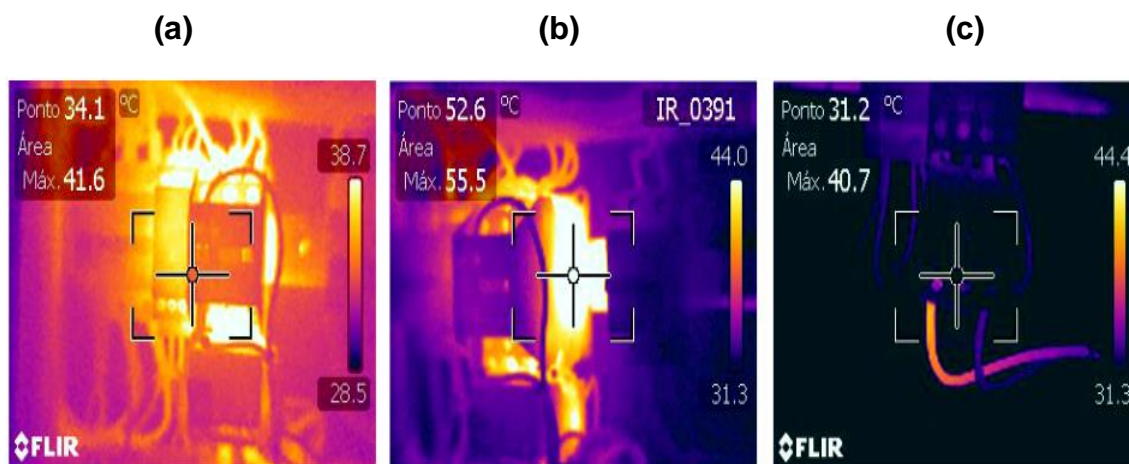
Já na inspeção de P1 foram observados dois pontos quentes suspeitos que mereceram atenção. Um no contator K1 e outro na conexão mediante parafuso do cabo CB1, identificados na Figura 12.

Figura 12 – Localização dos pontos suspeitos em P1



O termografista fez algumas imagens desses pontos, as quais são mostradas na Figura 13.

Figura 13 – Inspeção termográfica em P1: a) Vista frontal de K1. b) Vista lateral de K1. c) Cabo aquecido CB1.



No manual do fabricante de K1 não há informações sobre sua MTA em condições normais de operação e por isso não se obteve parâmetros para análise da temperatura da carcaça do referido contator. Todavia, pela comparação da imagem térmica de K1 e sua respectiva barra de cores, localizada à direita de cada termograma, verificou-se que os pontos de maior temperatura são os de tonalidade mais clara. Desta forma, os pontos suspeitos estavam localizados nas conexões mediante parafuso da parte superior e inferior de K1, o que permitiu utilizar a MTA dessas conexões para classificação da falha.

Na análise da Figura 13.a percebeu-se que a área de inspeção cobria a conexão mediante parafuso inferior de K1, sendo esse ponto o local de provável temperatura máxima daquela área, ou seja 41,6°C. Com isso, pôde-se dizer que a temperatura do ponto estava um pouco acima de sua MTA, conforme dados da Tabela 2.

Outra observação de temperatura elevada ocorreu na lateral de K1, o que pode ser visto na Figura 13.b. Isso pode ser explicado em virtude da parte interna dos contadores ser composta por contatos comutáveis e por isso o calor estava sendo dissipado na carcaça do componente. Como não havia referência de temperatura para avaliação desse ponto, somente foi estudado a conexão mediante parafuso de K1.

O outro ponto quente percebido em P1 foi no cabo CB1 quando M2 estava ligado. O referido cabo é mostrado com maior detalhe na Figura 14.

Figura 14 – Cabo aquecido em P1

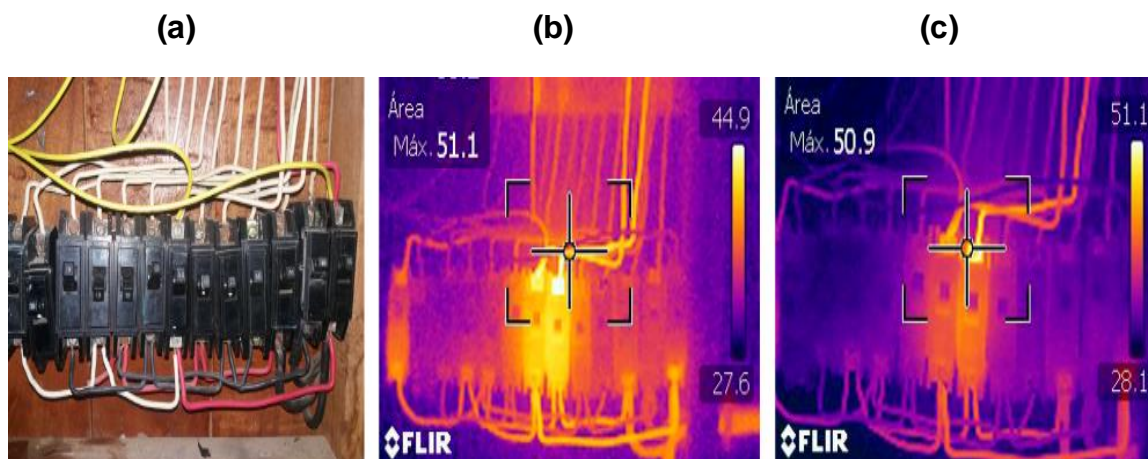


Foi possível perceber que a máxima temperatura na área inspecionada pelo termovisor foi de 40,7°C. Mais uma vez, associou-se esta informação com a barra de código de cores à direita do termograma, percebendo-se que o ponto de maior temperatura estava localizado na conexão inferior do cabo com o contator, ou seja, um pouco acima dos 40°C estabelecidos para MTA de conexões mediante parafuso.

P1 está localizado na sala de bombas d'água que controla parte da distribuição de água da companhia, podendo uma falha no local causar algum transtorno a OM e por isso recebe a classificação de importância grau 2. A anomalia foi classificada para fins de intervenção como prioridade intermediária, devendo ser reparada quando possível pela equipe de manutenção.

Dando continuidade, D2 foi abordado, momento em que o termografista foi informado de pontos de ferrugem presentes nas conexões mediante parafuso daquele componente. As imagens de D2 e suas respectivas imagens térmicas estão dispostas na Figura 15.

Figura 15 – Inspeção termográfica em D2: a) Fotografia da área inspecionada. b) Inspeção do cabo aquecido. c) Inspeção da conexão mediante parafuso.

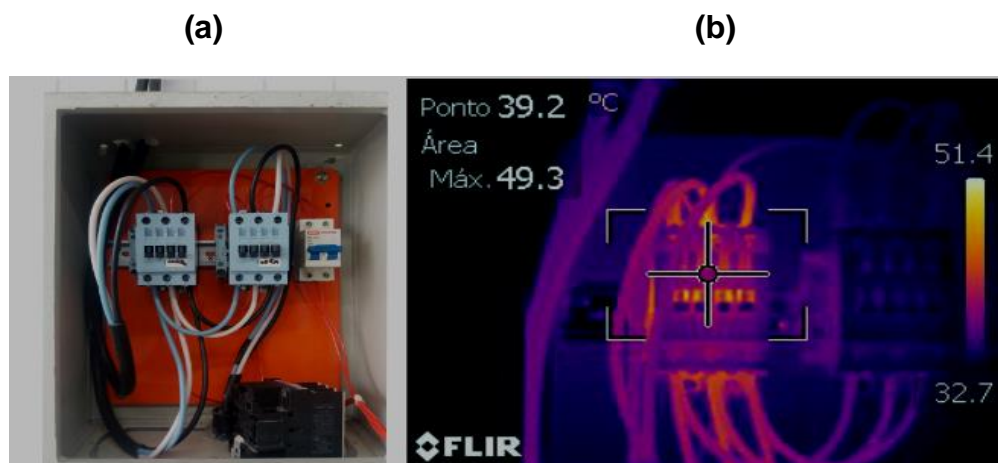


Através das Figuras 15.b e 15.c, nitidamente foi possível observar a presença de pontos quentes suspeitos no local. Na análise do fio aquecido (Figura 15.b), foi medida uma temperatura $35,2^{\circ}\text{C}$, a qual se encontrava dentro da MTA para condutores de PVC constante na Tabela 2. Entretanto, na inspeção da conexão mediante parafuso de um dos disjuntores aquecidos (Figura 15.c) foi constatado uma temperatura de $50,9^{\circ}\text{C}$, portanto acima da MTA para esse tipo de conexão.

Esse quadro de distribuição é responsável pela proteção da rede dos alojamentos de cabos e vários departamentos administrativos importantes da 1ª Companhia de Infantaria e por isso uma falha no local pode comprometer parte do funcionamento daquela Organização Militar, sendo por isso classificado como grau 3 segundo sua importância para a unidade. Portanto, sua prioridade para intervenção foi séria, devendo ser reparada o mais rápido possível pela equipe de manutenção daquela OM.

Em seguida, ao se avaliar P2 também foi verificado pontos quentes no único contator em operação naquela caixa de comando, conforme visto na Figura 16.

Figura 16 – Inspeção termográfica em P2: a) Painel de controle inspecionado. b) Imagem térmica.

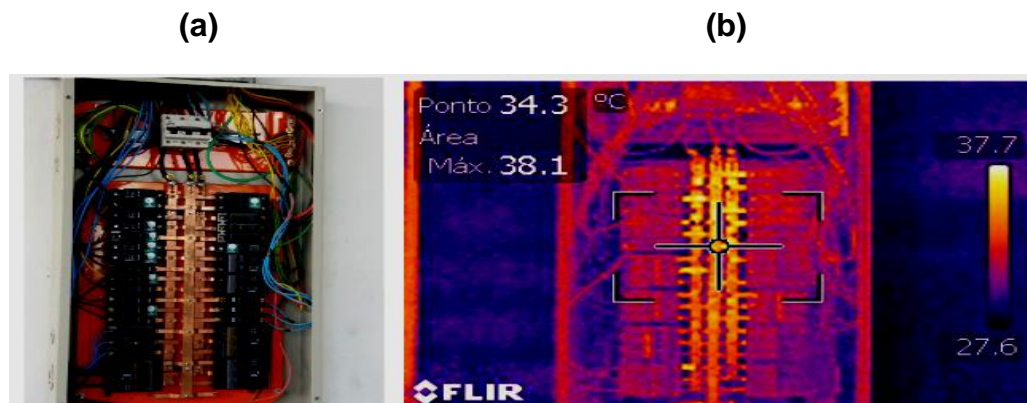


O estudo dos pontos quentes com classificação da anomalia em P2 foi realizado exatamente como na anomalia de K1 em P1, ou seja, havia sobretemperatura em relação à MTA para conexões mediante parafuso daquele contator.

Como P2 é responsável pela operação da câmara fria da unidade, que armazena boa parte dos gêneros alimentícios necessários ao suprimento da tropa, uma falha nesse equipamento alteraria a rotina de trabalho da companhia, podendo inclusive comprometer o suprimento de alimentos em exercícios militares. Por esse motivo, P2 recebeu grau 3 pelo critério da importância do equipamento para a unidade, devendo por isso ter prioridade séria para reparação da falha.

Em D3, como já mencionado na metodologia deste trabalho, o efeito do reflexo e carregamento solar tornou a análise do componente inviável naquele momento. A Figura 17 mostra o resultado da interferência do reflexo e carregamento solar no termograma de D3.

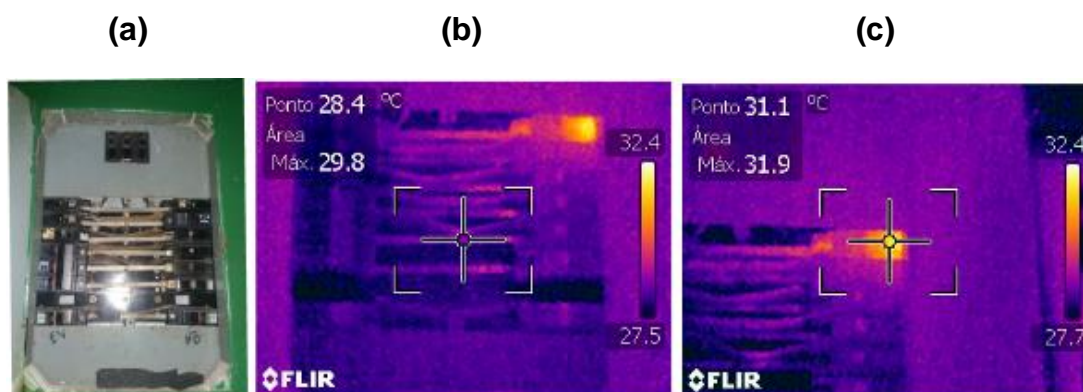
Figura 17 – Inspeção termográfica de D3: a) Quadro de Distribuição inspecionado. b) Imagem térmica.



No dia inspeção noturna desse equipamento, devido a uma solenidade militar que ocorria no mesmo instante da inspeção, todos os integrantes da garagem estavam ausentes e por isso não foi possível realizar a abordagem. Apesar de D3 não ter sido inspecionado, deve-se prever uma manutenção de rotina no componente visando identificar possíveis falhas elétricas, principalmente nas conexões dos cabos com os disjuntores, ou mesmo a possibilidade de agendamento de uma inspeção termográfica quando os equipamentos elétricos daquela seção estiverem em operação e sem influências da radiação solar.

Na inspeção de D4 não foram encontradas alterações térmicas relevantes naquele quadro de distribuição e por isso sua classificação para fins de manutenção foi a de rotina. A Figura 18 mostra o local inspecionado e suas fotografias térmicas.

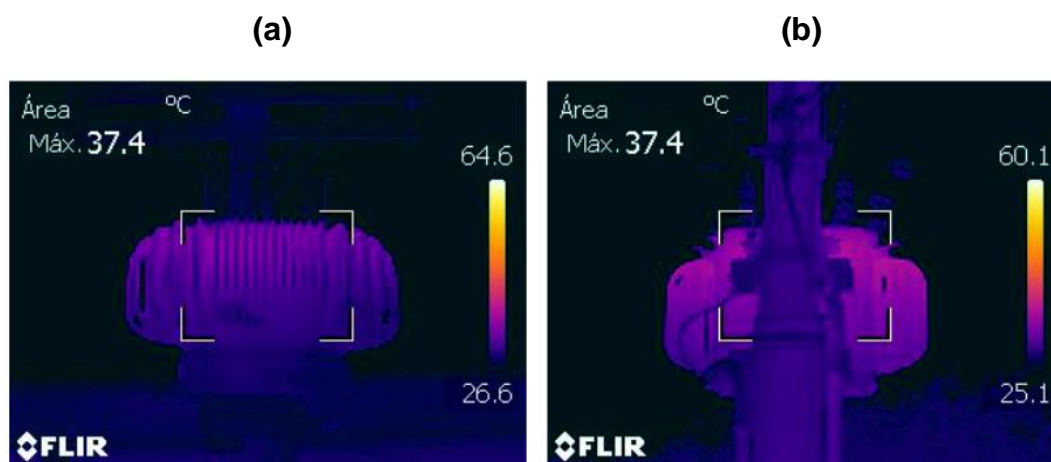
Figura 18 – Inspeção termográfica de D4: a) Quadro de distribuição inspecionado. b) Imagem térmica 1. c) Imagem térmica 2.



A primeira tentativa de se inspecionar T1 e CM1 foi frustrada em decorrência da luz solar estar incidindo diretamente no corpo dos componentes. Por isso, o transformador e a caixa de medição foram analisados durante a noite em outro momento, quando havia expediente na unidade visando que as correntes de carga fossem relevantes para manifestação de alterações térmicas no circuito.

Na análise do transformador de potência, foi necessário alterar alguns parâmetros do termovisor, sendo a nova distância de medição 10 m e a temperatura ambiente 28°C. Assim, além da carcaça, buscou-se alterações térmicas nos pontos de conexão das chaves fusíveis e buchas do transformador, não sendo observado qualquer ponto anômalo nesses locais. A Figura 19 apresenta a inspeção com termovisor deste componente.

Figura 19 – Inspeção termográfica em T1: a) Imagem térmica frontal. b) Imagem térmica de retaguarda.



Já em CM1, com o parâmetro distância de medição do equipamento termográfico novamente alterado para 2 m, a inspeção apontou uma alteração no disjuntor geral daquele quadro de medição que mereceu uma investigação mais aprofundada. Essa alteração é mostrada nas Figuras 20 e 21.

Figura 20 – Inspeção térmica em CM1: a) Caixa de medição inspecionada. b) Imagem térmica.

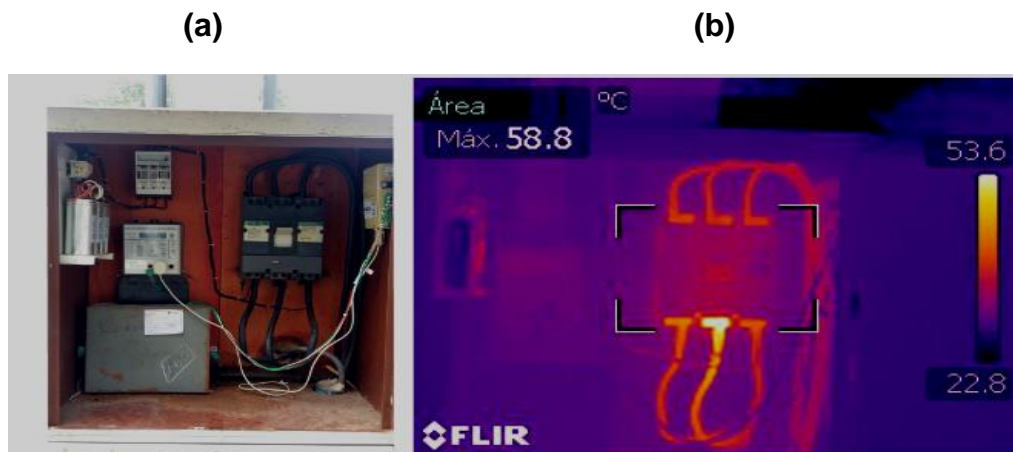
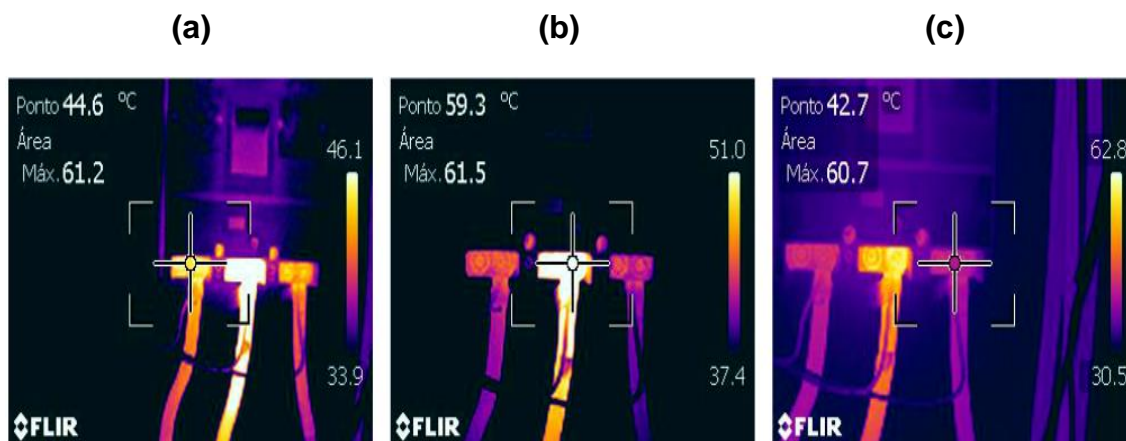


Figura 21 – Análise termográfica das fases do disjuntor geral de CM1: a) Inspeção da fase A. b) Inspeção da fase B. c) Inspeção da fase C.



Na inspeção pontual das conexões mediante parafuso das fases A, B e C, mostradas da Figura 21, verificou-se as temperaturas de 44,6°C, 59,3°C e 42,7°C, respectivamente, apontando que a fase B estava com temperatura acima das demais.

Essa diferença de temperatura poderia ser explicada por um desequilíbrio de cargas. Para investigar essa possibilidade, com o alicate amperímetro foi medida a corrente em cada uma das fases, obtendo-se 128 A, 125 A e 121 A, respectivamente. Como os cabos possuem a mesma secção transversal, submetidos a mesma tensão, em uma situação ideal, o cabo conduzindo a maior corrente (fase A) deveria estar com a temperatura mais

elevada. Desta forma, pôde-se dizer que a fase B apresentava alguma falha na conexão com o disjuntor geral.

Primeiramente, utilizando-se o método comparativo de identificação de anomalia, ao confrontar a temperatura da fase B, Figura 21.b, com a da fase A, Figura 21.a, verificou-se uma diferença de 14,7°C e comparando com a fase C, Figura 21.c, uma diferença de 16,6°C. Desta forma, segundo o *Infraspection Institute* (2008), quando a variação de temperatura entre o equipamento inspecionado e o elemento similar adjacente está no intervalo de 10°C a 20°C as medidas corretivas devem ser tomadas com agendamento da equipe de manutenção, recebendo prioridade intermediária para intervenção.

Em CM1 também foi realizada identificação e classificação da anomalia a partir dos dados de MTA para conexões mediante parafuso. Através desse modelo de estudo, foi possível dizer que as três conexões estavam acima da Máxima Temperatura Admissível para aquele ponto (40°C). Pois isso, como uma falha naquele disjuntor afetaria toda a Organização Militar, sua importância para a instalação recebeu grau 4 e consequentemente prioridade de intervenção emergencial, devendo ser reparada imediatamente pela equipe de manutenção.

Nesse caso, como houve diferenciação entre a classificação realizada por comparação e pela MTA, deve-se escolher a prioridade que preveja a reparação da falha o mais rápido possível, no caso a emergencial.

Finalizada a análise termográfica em campo foi necessário compilar todas as informações obtidas durante o ensaio de forma a facilitar o trabalho da equipe de manutenção. O Quadro 4 sintetiza os resultados da análise termográfica.

Quadro 4 - Resumo da inspeção termográfica

EQUIPAMENTO	ANOMALIA ENCONTRADA	RISCO	PRIORIDADE DE MANUTENÇÃO
D1	Sem alteração	Nenhum	Rotina
M1	Sem alteração	Nenhum	Rotina
M2	Sem alteração	Nenhum	Rotina
P1	Conexão mediante parafuso de K1 aquecida	Incêndio, curto-circuito, perda do equipamento e falta de água na unidade	Intermediária
D2	Conexão mediante parafuso de disjuntor aquecida	Incêndio, curto-circuito, perda do equipamento, falta de energia em vários departamentos da unidade	Séria
P2	Conexão mediante parafuso do contator aquecido	Incêndio, curto-circuito, perda do equipamento, falta de energia na câmara fria	Séria
D3	Não inspecionado	Não observado	Rotina
D4	Sem alteração	Nenhum	Rotina
T1	Sem alteração	Nenhum	Rotina
CM1	Aquecimento em uma das fases da	Incêndio, curto-circuito, perda	Emergencial

	saída do disjuntor geral	do equipamento, falta de energia em toda unidade	
--	--------------------------	--	--

Para subsidiar a comparação dos resultados de futuras inspeções termográficas com os alcançados neste estudo de caso, a Tabela 5 apresenta os parâmetros de emissividade, temperatura ambiente e distância utilizados neste ensaio termográfico.

Tabela 5 – Parâmetros inseridos no termovisor durante a inspeção

EQUIPAMENTO	EMISSIVIDADE	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	DISTÂNCIA (m)
D1	0,95	29	2
M1	0,95	29	2
M2	0,95	29	2
P1	0,95	29	2
D2	0,95	29	2
P2	0,95	29	2
D3	0,95	29	2
D4	0,95	29	2

T1	0,95	28	10
CM1	0,95	28	2

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados colhidos neste trabalho fortaleceram a importância do uso do termovisor como método não invasivo de rastreamento de anomalias térmicas. Além disso, o estudo obteve êxito na identificação de pontos quentes fora do padrão esperado nas instalações elétricas de baixa tensão da 1ª Companhia de Infantaria, evitando paradas inesperadas ou desnecessárias e favorecendo a segurança dos usuários daquele sistema elétrico.

Observou-se também que as imagens fornecidas pelo termovisor mapearam pontualmente as falhas, possibilitando o escalonamento da severidade dos riscos e permitindo a confecção de um plano de intervenção para manutenção menos traumático para aquela Organização Militar.

Por fim, foi verificado que a termografia está sujeita a inúmeras influências externas, mas quando as suas limitações são respeitadas acaba por se tornar uma excelente ferramenta para favorecer a eficiência das equipes de manutenção das empresas.

Sugere-se para trabalhos futuros que seja realizada uma segunda inspeção termográfica depois que equipe de manutenção realizar os reparos sugeridos pela primeira avaliação, com o intuito de comprovar a extinção total daqueles riscos elétricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. **NBR 5410:** Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 16292:** Ensaios não destrutivos — Termografia — Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas, Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 15572:** Ensaios não destrutivos — Termografia — Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15866** Ensaio não destrutivo — Termografia — Metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15718** Ensaios não destrutivos — Termografia — Guia para verificação de termovisores. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 15424** Ensaios não destrutivos - Termografia – Terminologia. Rio de Janeiro, 2006.

AI-KASSIR, A.R.; **THERMOGRAPHIC STUDY OF ENERGETIC INSTALLATIONS.** Applied Thermal Engineering, v. 25, p. 183-190, 2005.

ALMEIDA, M. T.; **MANUTENÇÃO PREDITIVA: CONFIABILIDADE E QUALIDADE.** Itajubá. Disponível em: <<http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

ANACLETO, A. M.; **TEMPERATURA E SUA MEDIÇÃO.** Dissertação (Mestrado em física para o ensino). Departamento de Física, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto. 2007.

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.

BRITO, J. N.; **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INTELIGENTE HÍBRIDO PARA DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS.** Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo. 2002.

CALDARA, F.R.; NÄÄS, I.A.; GARCIA, R.G.; ALMEIDA PAZ, I.C.L.; POLYCARPO, G.V.; **INFRARED THERMOGRAPHY APPLIED TO THE EVALUATION OF METABOLIC HEAT LOSS OF CHICKS FED WITH DIFFERENT ENERGY DENSITIES.** Brazilian Journal of Poultry Science. Campinas, v.13, n.2, p. 113-118, 2011.

CHYZANOWSKI, K.; **NON-CONTACT THERMOMETRY – MEASUREMENT ERROS**. Spie PL, Research Development Treaties, Vol. 7. Warsaw. 2001.

ENGELETRICA. **TERMOGRAFIA**. Disponível em: <http://www.engeletrica.com.br/eng_termografia.htm>. Acesso em: 15 fev 2018.

FARIA. Iolanda Balcky. **SELEÇÃO DE UM REDUTOR DE ENGRENAGEM PARA UM AGITADOR E PLANEJAMENTO DAS AÇÕES DE MANUTENÇÃO**. Disponível em: <http://run.unl.pt/bitstream/10362/25111/1/Faria_2009.pdf>. Acesso em: 12 fev 2018.

FERREIRA, R. J. P.; FALANI, S. Y. A.; JERONIMO, T. P.; **APLICAÇÃO DE MODELO MULTICRITÉRIO PARA MANUTENÇÃO PREDITIVA COM USO DE TÉCNICAS DE TERMOGRAFIA**. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP. São Carlos, São Paulo. 2010.

FLIR. **MANUAL DE CARACTERÍSTICAS DO TERMOVISOR. Mod: T200**. 2010. Disponível em: <www.extech.com/tseries>. Acesso em: 18 abr 2018.

FLUKE. **MANUAL DO USUÁRIO. TERMOMETROS INFRATERMELHOS**. 2014. Disponível em: http://assets.fluke.com/manuals/63_66_68umpor0200.pdf. Acesso em: 22 maio 2018.

FOLDER de apresentação dos Termovisores Ti40 & Ti50. Fluke. 7p. Disponível em: <www.setautomacao.com.br/cat_PDF/prod_365/Ti40&Ti50%20port.pdf>. Acesso em: 11 out. 2018.

GAUSSORGUES, G.; **INFRARED THERMOGRAPHY**. Microwave Technology Series 5; Chapman & Hall, 1994.

ITC, INFRARED TRAINING CENTER.: **MANUAL DO CURSO DE TERMOGRAFIA NÍVEL I**, Rev. 1. Danderyd, Suécia. 2010.

KAPLAN, H.; **PRACTICAL APPLICATIONS OF INFRARED THERMAL SENSING AND IMAGING EQUIPMENT**. 3ª Ed Spie Press, Vol. TT34, 2007.

KERSUL, G.; **USO DA TERMOGRAFIA EM MANUTENÇÃO PREDIAL**. TCC – Curso de Engenharia Civil, UNICEUB. Brasília. 2014.

MADDING, R.; ORLOVE, G.; KAPLAN, H.; **TWENTY FIVE YEARS OF THERMOSENSE: AN HISTORICAL AND TECHNOLOGICAL RETROSPECTIVE**. Proc. SPIE. 2003.

MALDAGUE, X. P.V.; Moore, Patrick O.; **INFRARED AND THERMAL TESTING**; Vol. 3 ASNT. 2001.

MONTEIRO, C. I.; SOUZA, L. R.; ROSSI, P. H. L.; **MANUTENÇÃO CORRETIVA – Manutenção e lubrificação de equipamentos**. Universidade Estadual Paulista. Bauru. São Paulo. 2010.

NETO, A.; **NOÇÕES SOBRE TERMOGRAFIA**. Curso de manutenções em equipamentos. Petrobrás/UM-Rio. Rio de Janeiro. 2004.

NÓBREGA, P. R. L.; **COMPRESSORES: MANUTENÇÃO DE COMPRESSORES ALTERNATIVOS E CENTRÍGUFOS**. Rio de Janeiro: Synergia, IBP. 2011.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. **A PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL NA BUSCA DA EXCELÊNCIA OU CLASSE MUNDIAL**. Revista Gestão Industrial, v.4, n.2, p. 1-16, 2008. Disponível em: <<http://www.pg.cefetpr.br/depog/periodicos/index.php/revistagi/article/view/16/13>>. Acesso em: 11 fev. 2010.

SANTOS, L.; **TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA EM SUBESTAÇÕES DE ALTA TENSÃO**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá. 2016.

SANTOS, L.; **CLASSIFICAÇÃO DE MODELAGEM DE FATORES DE INFLUÊNCIA SOBRE INSPEÇÕES TERMOGRÁFICAS**. Dissertação. Doutorado em Ciências em Engenharia Elétrica. 2012.

SEGUNDO, M.C.C. **SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE INSPEÇÕES TERMOGRÁFICAS EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS**. Monografia (Graduação em Engenharia da Computação) - UFRGN. Centro de Tecnologia, 2009. Disponível em: < <http://www.engcomp.ufrn.br/publicacoes/ECC-2009-2-1.pdf>>. Acesso em: 4 dez. 2010.

SOBCZAK JUNIOR, A.; **ESTUDO DA TERMOGRAFIA COMO FERRAMENTA COMPLEMENTAR PARA A ANÁLISE DE COMPRESSORES ALTERNATIVOS**. Monografia de Especialização. UTFPR. Ponta Grossa. 2012.

SOUZA, R. D.; **ANÁLISE DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO: ESTUDO DE CASO**. MRS Logística, Juiz de Fora (MG). Universidade Federal de Juiz de Fora, 2008.

TARPANI, J. R.; **INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA DE DANOS POR IMPACTO EM LAMINADOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORÇADOS POR FIBRAS DE CARBONO**. **POLÍMEROS: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 4, p. 318-328, 2009.

VERATTI, B. A.; **Termografia: princípios aplicações e qualidade**. São Paulo: ICON Tecnologia e Serviços LTDA, 1992.

WIREBSK, J. **MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL. UM MODELO ADAPTADO**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.