



**INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA**

**CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA**

**MARCOS JOSÉ TEXEIRA**

**MANUTENÇÃO POR TERMOGRAFIA  
EM CHAVES  
SECCIONADORAS DE REDES DE  
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA  
ELÉTRICA UTILIZANDO A  
MODELAGEM MULTICRITÉRIO DE  
APOIO A DECISÃO**

**Florianópolis - SC  
2017**



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLÓGICA DE SANTA  
CATARINA CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA

MARCOS JOSÉ TEXEIRA

**MANUTENÇÃO POR TERMOGRAFIA EM CHAVES  
SECCIONADORAS DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA  
ELÉTRICA UTILIZANDO A MODELAGEM MULTICRITÉRIO DE  
APOIO A DECISÃO**

FLORIANÓPOLIS  
DEZEMBRO de 2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor

Texeira, Marcos José

MANUTENÇÃO POR TERMOGRAFIA EM CHAVES SECCIONADORAS  
DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO A  
MODELAGEM MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO / Marcos

José Texeira ; orientação de Everthon Taghori

Sica . - Florianópolis , SC, 2017 .

76 p .

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal  
de Santa Catarina , Câmpus Florianópolis .CST

em Sistemas de Energia . Departamento Acadêmico de  
Eletrotécnica .

Inclui Referências .

1. Termografia . 2 . Termogramas . 3 . Chave Seccionadora .
4. Aquecimento . 5 . Manutenção . I . Sica , Everthon  
Taghori . II . Instituto Federal de Santa Catarina . Departamento  
Acadêmico de Eletrotécnica . III . Título

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLÓGICA DE SANTA  
CATARINA CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA

MARCOS JOSÉ TEXEIRA

**MANUTENÇÃO POR TERMOGRAFIA EM CHAVES  
SECCIONADORAS DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA  
ELÉTRICA UTILIZANDO A MODELAGEM MULTICRITÉRIO DE  
APOIO A DECISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia de Santa Catarina como parte dos  
requisitos para obtenção do título de  
Tecnólogo em Sistemas de Energia.  
Professor Orientador: Everthon T. Sica, Dr.  
Eng.

FLORIANÓPOLIS  
DEZEMBRO de 2017

**MANUTENÇÃO POR TERMOGRAFIA EM CHAVES  
SECCIONADORAS DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA  
ELÉTRICA UTILIZANDO A MODELAGEM MULTICRITÉRIO DE  
APOIO A DECISÃO.**

**MARCOS JOSÉ TEXEIRA**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de "Tecnólogo em Sistemas de Energia" e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Energia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC.

**Florianópolis, 15 de DEZEMBRO, 2017.**

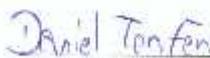
Banca Examinadora:



Prof. Orientador Faerthon L. Sica, Dr. Eng.



Prof. Edison Antonio Cardoso Aranha Neto, Dr. Eng.



Prof. Daniel Tenfen, Dr. Eng.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e sabedoria para enfrentar a difícil caminhada dessa graduação.

Agradeço a minha família, especialmente minha esposa e meu filho, pela compreensão nessa jornada de estudos.

Agradeço ao meu Prof. Dr. Everthon T. Sica pelo apoio, contribuição, profissionalismo e principalmente pelo tempo dedicado à realização desta monografia.

“ Só há duas maneiras de viver a Vida: a primeira é vivê-las como se os Milagres não existissem. A segunda é vivê-las como se tudo fosse milagre.”

- Albert Einstein-

## RESUMO

O sistema elétrico brasileiro, ao longo dos anos, tem sofrido alterações em sua regulamentação a fim de se obter uma maior confiabilidade no fornecimento de energia elétrica. Com o avanço da tecnologia e a redução de custos, a termografia se tornou uma ferramenta indispensável na detecção preventiva de possíveis avarias futuras de equipamentos elétricos. Este trabalho tem o objetivo de apresentar os benefícios da inspeção termográfica aplicada ao sistema de Distribuição de Energia Elétrica, de forma a auxiliar na melhoria dos índices de continuidade estabelecidos pelo agente regulador. Apresenta-se uma análise das variáveis envolvidas em uma inspeção termográfica, bem como, o resultado da decisão de prioridade de manutenção, quando tem-se mais de uma manutenção corretiva a ser realizada.

**Palavras-chave:** Termografia. Termograma. Chave Seccionadora (Chave-faca). Aquecimento. Manutenção. DEC. ENS. Metodologia.

## **ABSTRACT**

The Brazilian electrical system, over the years, has undergone changes in its regulation in order to obtain better reliability indexes electric power supply. With the advancement of technology and cost reduction, thermography has become an indispensable tool in the preventive detection of possible future breakdowns... This work aims to present the benefits of the thermographic inspection applied to the Electric Power Distribution system, in order to assist in improving the indicator of continuity established by the regulator. It presents an analysis of the variables involved in a thermographic inspection as well as the result of maintenance priority decision when we have more of a corrective maintenance to be performed.

**Keywords:** Thermography. Thermogram. Switch-disconnector (outdoor). Heating. Maintenance. DEC. Methodology.

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Potência e Corrente Elétrica na Seccionadora nº 2257 .....	53
Gráfico 2 - Potência e Corrente Elétrica na Seccionadora nº 1062 .....	54
Gráfico 3 - Potência e Corrente Elétrica na Seccionadora nº 1190 .....	56
Gráfico 4 - Experiência do termografista .....	59

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro Eletromagnético .....	20
Figura 2 - Termovisor Resfriado a nitrogênio líquido.....	21
Figura 3 - Termovisor resfriado Eletricamente .....	21
Figura 4 - Termovisor não Resfriado .....	21
Figura 5 – Nova Geração de Termovisores (Flir T-620).....	22
Figura 6 - Termografia de Tumor de Mama.....	25
Figura 7 - Pontos Quentes Por Agência .....	35
Figura 8 - Chave Seccionadoras Aquecidas por Agência.....	35
Figura 9 - Imagem Termográfica de Seccionadora pouco Aquecida .....	39
Figura 10 - Imagem Termográfica de Seccionadora com Aquecimento Alto 1.....	40
Figura 11 - Imagem Termográfica de Seccionadora com Aquecimento Alto 2.....	41
Figura 12 - Imagem Termográfica de Seccionadora Aquecimento Extremo.....	42
Figura 13 - Relatório Atual de Inspeção Termográfica.....	44
Figura 14 - Novo Relatório de Inspeção.....	45
Figura 15 - Diagrama Unifilar do Alimentador PLA-07 e RCO-08 .....	49
Figura 16 - Diagrama Unifilar do Alimentador TDE-08.....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice de Consistência Aleatória.....	29
Tabela 2 - Limites Admissíveis de Temperatura.....	31
Tabela 3 - Histórico de Inspeções.....	33
Tabela 4 - Aquecimento nos Equipamentos e Componentes .....	34
Tabela 5 - Custo de Troca de Chave Seccionadora .....	36
Tabela 6 - Dec Fec Padrão Aneel para os Conjuntos .....	37
Tabela 7 - Tempos Médios de Atendimentos.....	38
Tabela 8 - Dados do SICOTEN para o 1º caso .....	52
Tabela 9 - Dados do SICOTEN para o 2º caso .....	53
Tabela 10 - Dados do SICOTEN para o 3º caso .....	55
Tabela 11- Matriz de Robertz para o Critério Qualitativo.....	58
Tabela 12 – Auto-valor e coeficiente de racionalidade da Matriz de Robertz para o Critério Qualitativo .....	59
Tabela 13 – Matriz Valor Original .....	60
Tabela 14 – Matriz de comportamento indiferente .....	61
Tabela 15 - Matriz comportamento econômico.....	61
Tabela 16 - Matriz de Robertz para Importância Relativa .....	61
Tabela 17 - Auto-valor e coeficiente de racionalidade da Matriz de Robertz para a importância relativa .....	62
Tabela 18 – Matriz Valor Global.....	62
Tabela 19 - Matriz Valor Global com Taxa de Variação de 20% .....	62
Tabela 20 - Matriz Valor Global com análise de sensibilidade.....	63
Tabela 21- Componentes da Chave Seccionadora .....	71
Tabela 22 - Chave seccionadora Características Elétricas .....	71
Tabela 23 - Critérios para Avaliação da Severidade (Delta T).....	75
Tabela 24 - Critérios para Avaliação da Severidade com MTA.....	75

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina

DEC – Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

ENS – Energia Não Suprida

MTA – Máxima Temperatura Admissível

NBR – Norma Brasileira de Regulamentação

PRODIST – Procedimentos de Distribuição

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	17
1.2 OBJETIVO GERAL.....	18
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
2.1 RADIAÇÃO INFRAVERMELHA.....	20
2.2 EVOLUÇÃO DOS TERMOVISORES .....	20
2.2.1 Termografia na área elétrica.....	22
2.2.2 Termografia em outras áreas .....	24
<b>3. METODOLOGIA MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.1 Problemas multicritério .....</b>	<b>26</b>
3.1.1.1 Elaboração e aplicação das matrizes de avaliação.....	27
<b>4. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>31</b>
4.1 LIMITES ADMISSÍVEIS DE TEMPERATURA .....	31
4.2 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO.....	32
4.2.1 Histórico das Inspeções Termográficas.....	32
4.2.2 Histórico dos Aquecimentos nos Equipamentos .....	33
4.2.3 DEC e DEF dos Conjuntos por equipamentos e padrão ANEEL para os Conjuntos (Subestações) .....	37
4.2.4 Exemplo de Termogramas de Aquecimento em Chaves-Faca.....	38
4.2.4.1 Relatórios de Inspeção Termográfica.....	43
4.3 CASOS DE AQUECIMENTO EM CHAVES SECCIONADORAS .....	46
4.3.1 Casos para Análise Multicritério .....	47
4.3.1.1 Energia não suprida (ENS).....	52
4.3.1.2 Cálculo do DEC nos três casos.....	56
4.4 FERRAMENTA DE APOIO A DECISÃO .....	57
4.5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS .....	63
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>68</b>
DEFINIÇÃO DOS ENVOLVIDOS EM UMA INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA .....	68
DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DA TERMOGRAFIA .....	69
CHAVE SECCIONADORA E SEUS COMPONENTES .....	69
CARACTERÍSTICAS DAS CHAVES SECCIONADORAS .....	71
INSPEÇÃO E RELATÓRIO .....	72
PROCEDIMENTO DO TRABALHO .....	73
CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE SEVERIDADE.....	74

DEC E FEC .....	76
-----------------	----

## 1. INTRODUÇÃO

Em meados da década de 1980, a termografia estava recém introduzida das concessionárias de Energia Elétrica do Brasil, devido ao seu alto custo de aquisição que passava da R\$ 300,000 em valores atuais, a sua utilização era pontual e bem aquém das necessidades das concessionárias, sendo, restrita à apenas poucos técnicos que tinha algum conhecimento na área de radiação infravermelha. Com evolução tecnológica dos equipamentos de termografia e a crescente demanda por esse tipo de ferramenta de manutenção preditiva, bem como a necessidade de maior confiabilidade dos processos produtivos da indústria e do setor elétrico, transformaram a termografia numa ferramenta crucial e imprescindível na manutenção preditiva das empresas.

A termografia consiste na técnica de estudo da variação dos padrões de emissão de radiação infra vermelha dos corpos sob inspeção, sendo técnica não destrutiva, feita a distância e em tempo real. Quando um termografista faz uma inspeção com o termovisor, inicialmente a temperatura é uma variável secundária, a preocupação inicial está em obter uma imagem bem limpa, bem focada e sem reflexos dos meios circundantes. Esta técnica fornece informações úteis relativas às condições operacionais de um componente, equipamento ou processo.

O monitoramento constante e a detecção precoce de alterações na temperatura de um determinado componente (devido, por exemplo, à sobrecorrente ou vida útil comprometida) permitem a prevenção de falhas e consequentes perdas de produtividade, além de resultar em redução significativa nos custos com manutenção corretiva. A apresentação de imagens térmicas se tornou uma das mais valiosas ferramentas de diagnóstico de manutenção preditiva através da detecção de anomalias, muitas vezes invisíveis a olho nu, a termografia permite manutenção antes que uma falha (na maior parte das situações, bastante dispendiosa) ocorra.

As câmaras de infravermelho se transformaram em sistemas compactos, como as de vídeo normais, fáceis de usar e geram imagens de alta resolução. Com a chegada da nova geração de termovisores (Flir T-620), observou-se um grande ganho de qualidade e de confiabilidade na detecção das anomalias, tendo em vista a alta resolução desses equipamentos, e seus acessórios de comunicação, o que também dá agilidade nas tomadas de decisão, fator fundamental devido à menor tolerância da Agência Nacional de Energia Elétrica com o comprometimento dos índices de continuidade.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

A Agência Nacional de Energia Elétrica tem o intuito de proporcionar e aprimorar as resoluções em vigência, de forma a promover a modicidade tarifária, bem como garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica no máximo do tempo possível, aplicando também a extinção da concessão<sup>1</sup>.

Desta forma, as concessionárias tem que investir em processos que ajudem a garantir os índices de continuidades, como por exemplo, manutenção preventiva por inspeção termográfica, efetuada a distância, em tempo real e com segurança para o técnico de termografia.

Porém, uma vez detectado o aquecimento, deve-se ponderar e classificar o evento detectado com a finalidade de priorizar a manutenção entre as chaves seccionadoras com o maior potencial de falhas. Isto é possível por meio da ferramenta multicritério de apoio à decisão, que possibilita a hierarquização da manutenção. Desta forma, minimizam-se as punições do agente regulador no que se diz respeito à descontinuidade do sistema.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa tem por objetivo estabelecer, com a ajuda da modelagem multicritério de apoio à decisão, levando em consideração a temperatura de aquecimento obtida pelo termovisor, a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC), a corrente elétrica, a energia não-suprida, e a experiência do termografista, a ordem de prioridade de manutenção de chaves seccionadoras de redes de distribuição de energia elétrica.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) realizar o levantamento do custo da manutenção por Termovisão;
- b) quantificar a Energia Não-Suprida (ENS) pela indisponibilidade do sistema com uma possível avaria por aquecimento;
- c) avaliar o impacto negativo da avaria de uma chave seccionadora tem para a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) da concessionária;
- d) avaliar os benefícios da inspeção termográfica; e

---

<sup>1</sup> Com o decreto nº 8.461 de 2 de junho de 2015, ficou estabelecido que as concessionárias que descumprirem uma das metas anuais (financeira, Dec e Fec), por dois anos consecutivos, ou de qualquer dessas metas ao final do prazo de cinco anos, acarretará a extinção da concessão.

e) priorizar a manutenção da chave seccionadora, utilizando a modelagem multicritério de apoio à decisão.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

A descoberta da radiação infra vermelha no ano de 1800 ocorreu quando o Sir William Herschel estava testando algumas amostras de vidros de cor que permitiam reduções do brilho emitido pelo Sol, algumas amostras atenuavam o brilho do sol, já outras deixavam passar tanta radiação que corria-se o risco de ficar com lesão permanente nos olhos (Maldague e Moore, 2001).

Sabe-se hoje, que esse experimento tinha a finalidade de descobrir um material que deixasse passar toda radiação infra vermelha ou atenuasse-a totalmente. (Rogalski e Chrzanowski, 2002). Isso significa obter um material com transmissividade igual a um (1), que deixa passar toda radiação infra vermelha e com emissividade igual a zero (0), que não emita nenhuma radiação infra vermelha. Sabemos que esse material na vida real não existe, pois todos os corpos acima do zero absoluto emitem radiação infra vermelha, existe sim alguns materiais utilizáveis, porém com algum tipo de perda, tanto na emissividade quanto na transmissividade.

O material descoberto na natureza que tem as características para utilização nos sistemas operativos de termovisão era o cloreto de sódio, ou sal gema que foi descoberto em 1830, pelo cientista italiano Macedônio Melloni (1798 – 1854). Esse cristal natural foi o principal material utilizado na leitura da radiação infra vermelha até os anos de 1930, período que foi desenvolvido alguns materiais sintéticos com maior performance, como por exemplo o Germânio, utilizado até hoje nas lentes dos termovisores. (Veratti, 1984).

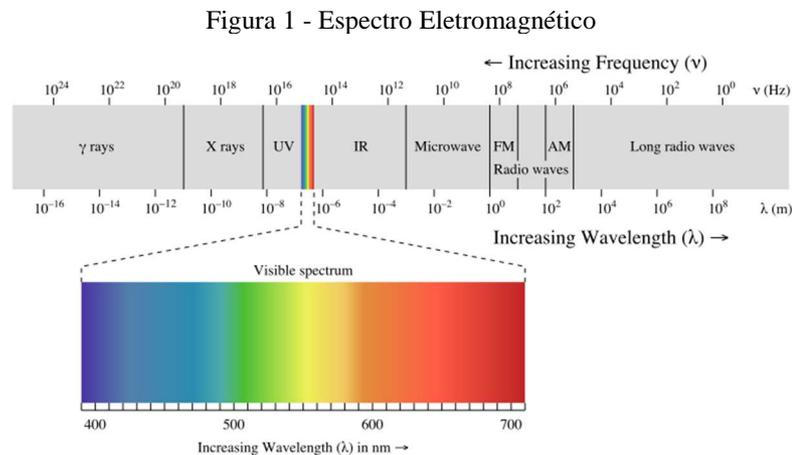
A termografia como ferramenta, começou a ser desenvolvida durante a Primeira Guerra Mundial, utilizada principalmente para missões de reconhecimento, período esse, em que a militarização da termografia tornou-a um segredo de estado, com regras de sigilo militar, proibindo a divulgação das novidades e descobertas tecnológicas à sociedade civil organizada (Holst, 2000).

Somente depois dos anos 1950, as imagens térmicas e suas tecnologias puderam ser exploradas pela indústria, porém sabe-se que até nos tempos atuais, a tecnologia disponível para a sociedade civil, está atrasada no mínimo uns 15 anos em relação a tecnologia militar.

## 2.1 RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

No espectro eletromagnético notamos que a faixa de luz visível é apenas uma pequena parte das ondas eletromagnéticas que estão inseridos em nosso meio, se propagando no espaço e transportando energia sob a forma de radiação, como o nome já diz ela possui um campo elétrico e um magnético (SANTOS, 2016). Porém existem muitas faixas no espectro eletromagnético que não são visível ao olho nu, como por exemplo, os Raios-X, os Raios Microondas e os Raios Infravermelhos.

O comprimento de onda do infravermelho no espectro eletromagnético situa-se faixa que vai de 2 a 12 $\mu$ m, não sendo detectada pelo olho humano, apenas sendo perceptível seus efeitos, como por exemplo o calor ou frio (Figura 1).



Fonte: (Dan, 2010)

A teoria da termografia diz que qualquer corpo com temperatura acima do zero absoluto ( $0\text{K} = -273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) emite uma radiação infravermelha, permitindo assim, mapear uma região com a utilização de um aparelho específico, conhecido como termógrafo ou termovisor. Utiliza-se o Termovisor para distinguir diferentes temperaturas por meio da radiação infravermelha naturalmente emitida pelos corpos, de modo que depois de feita a coleta das informações, desenvolva-se uma análise técnica das imagens obtidas pelo aparelho na faixa espectral do infravermelho.

## 2.2 EVOLUÇÃO DOS TERMOVISORES

Os primeiros termovisores começaram a chegar ao Brasil no início da década de 1970, porém a utilização deles no setor elétrico brasileiro só foi realidade a partir dos anos 1980. Eram aparelhos muito robustos, de difícil utilização e transporte, bem como logística para utilização, pois necessitavam de nitrogênio líquido para seu resfriamento, e esse insumo não era disponível em qualquer lugar (Figura 2). Eram Termovisores com sistemas de varredura

ópticos-mecânicos e a transformação das imagens térmicas e a temperatura do objeto inspecionado eram feitas através de cálculos pelo operador. Com o avanço na tecnologia foram fabricados termovisores com resfriamento elétrico (Figura 3) e detectores sem resfriamento com microprocessadores (Figura 4).

Os primeiros aparelhos de termovisão pesavam aproximadamente 40 kg, e aparelhos atuais se parecem com câmeras fotográficas pesando menos de 2 kg. As leituras dos níveis de radiação infravermelha que eram transformadas em temperatura, passaram a ser mostradas diretamente no monitor do termovisor, também possuem softwares para análise das imagens, facilitando assim, a aplicação da termografia em sistemas elétricos, diminuindo assim as chances de erros na avaliação da imagem.

Figura 2 - Termovisor Resfriado a nitrogênio líquido



Fonte: Banco de dados da Celesc Distribuição

Figura 3 - Termovisor resfriado Eletricamente



Fonte: Banco de dados da Celesc Distribuição

Figura 4 - Termovisor não Resfriado



Fonte: Banco de dados da Celesc Distribuição

A última geração de termovisores, como o Flir T-620 vêm equipadas de alguns acessórios, como por exemplo:

- a) o meter link que é a importação para câmera de dados externos como medição de corrente elétrica;
- b) o bluetooth que permite inserir comentários de voz ao arquivo de imagem;
- c) a elaboração de relatório na própria câmera no ato da inspeção;
- d) o envio de relatório ou somente imagens wi-fi; e
- e) a geolocalização do ponto da imagem.

Isto tudo promove o Flir T-620 (Figura 5), num termovisor de alto desempenho que combina uma excelente ergonomia com qualidade superior de imagem, proporcionando uma maior precisão nas medições e maior confiabilidade nas informações para os técnicos desenvolverem a manutenção corretiva do aquecimento.

Figura 5 – Nova Geração de Termovisores (Flir T-620)



Fonte: Banco de dados da Celesc Distribuição

### 2.2.1 Termografia na área elétrica

Os termovisores mais compactos e mais acessíveis do ponto de vista financeiro tornaram-se ferramentas indispensáveis do dia a dia das Concessionárias de Energia Elétrica Brasileira, com compras expressivas de termovisores para equipar suas equipes de manutenção em diversos pontos de sua área de concessão. Podemos citar aqui, como exemplo, as concessionárias CEMIG de Minas Gerais, COPEL do Paraná, CELESC de Santa Catarina, e CEEE do Rio Grande do Sul, essas no seguimento de distribuição, e ELETROSUL, CHESF, ITAIPU, FURNAS no seguimento de geração e transmissão.

Com a crescente demanda por termovisores, bem como a multiplicação dos termografistas pelas diversas áreas de aplicação dessa ferramenta, multiplicou-se também a necessidade de padronização e de critérios para avaliação na pós detecção da possível anomalia. Com isso surgiram algumas normas e artigos referentes a esse tema.

- a) E1934 – “*Standard Guide for Examining Electrical and Mechanical Equipment with Infrared Thermography*” desenvolvido pela American Society for Testing and Materials – ASTM, este guia descreve as responsabilidades do usuário final do termovisor, bem como o conteúdo necessário para documentação nas inspeções termográficas;
- b) ABNT NBR 16.292:2014 – Ensaio Não Destrutivo – Termografia – Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas. Referente a medição da temperatura aparente refletida, pois explica como medir essa temperatura aparente refletida e sua compensação sobre a temperatura do ponto em análise. Sua contribuição foi de suma importância para a avaliação do aquecimento sob questão, principalmente dos aquecimentos em equipamentos muito sensíveis ao calor e que não permitem muita variação de temperatura, pois o termovisor capta não só a radiação infravermelha que vem do ponto sob análise quanto das fontes de calor que os circundam.
- c) ABNT NBR 15.572:2013 – Ensaio Não Destrutivo – Termografia – Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos. Trata-se das definições dos envolvidos em uma inspeção termográfica, bem como das suas responsabilidades;
- d) ABNT NBR 15.866:2010 – Ensaio Não Destrutivo – Termografia – Metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos. É uma abordagem da metodologia da avaliação da temperatura nos diferentes equipamentos elétricos;

- e) ABNT NBR 15.763:2009 – Ensaio Não Destrutivo – Termografia – Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência. Trata-se do período de intervalo recomendado para inspeção no sistema elétrico de potência;

Na área acadêmica foram publicados vários artigos e estudos sobre Termografia dos quais podemos citar o “*Desenvolvimento de protocolo operacional para programas de inspeção termográfica*” Snell & Spring (1992), que trata de pontos específicos para o sucesso em uma inspeção termográfica, tais como o termovisor correto (com o comprimento de onda compatível com o que se quer medir), pessoas capacitadas para a inspeção, bem como um bom banco de dados para comparação e evolução da possível anomalia. E “*A Termografia Aplicada à Indústria Petroquímica*” Veratti (1981), relatando os critérios de temperatura para priorizar as manutenções, correlacionando-os com a corrente do circuito, importância da linha, tipo de componente e a sua tolerância.

A publicação dessas normas e artigos outros, deram subsídios para uma maior confiabilidade nas inspeções termográficas, mesmo assim a metodologia de classificação e de intervenção nos pontos quentes fica a critério de cada seguimento industrial ou concessionárias de energia. Também há de se ponderar que ainda existem casos e segmentos na área elétrica que não foram contemplados nas suas especificidades, e exatamente isso o que propõem esse trabalho de monografia.

### **2.2.2 Termografia em outras áreas**

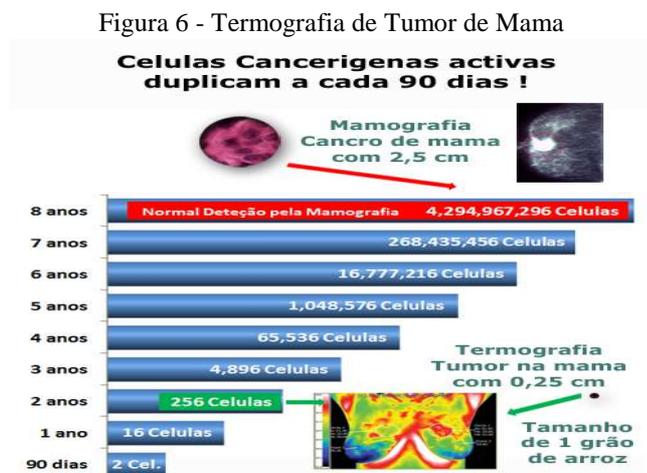
Na área mecânica, por exemplo, podemos citar inspeções nas partes giratórias e mancais de motores, que uma vez desalinhados podem ser submetidos a aquecimentos inaceitáveis, e conseqüentemente provocar a avaria do mesmo, interrompendo o ciclo produtivo (FLUKE, 2009).

A Termografia também é amplamente utilizada na construção civil, na inspeção da calafetação de casas em regiões muito frias, para diagnosticar vazamentos de água, para inspeção de umidade em telhados, danos nas estruturas causados por infiltrações, etc (FLUKE, 2009).

Na área química e petroquímica tem a finalidade basicamente igual as das áreas elétrica e mecânica que é prevenir anomalias por aquecimento em equipamentos elétricos e motores, porém com um potencial altíssimo de prevenir tragédias, devido aos insumos inflamáveis e locais de difícil deslocamentos de pessoal.

Já na área médica com objetivos muito específicos, como na prevenção e combate a células cancerígenas, que como por exemplo, pode detectar alterações suspeitas de malignidade na mama alguns anos antes de serem visíveis pelos outros métodos de diagnóstico de imagem como a mamografia e ecografia (Bezerra, 2007). A termografia é também utilizada para detecção de outras enfermidades, como artrite artrose, e também na medicina esportiva.

A Figura 6 mostra a detecção precoce de um tumor de mama antes mesmo de ser detectado pela mamografia.



Fonte:Sounatura

### 3. METODOLOGIA MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO

A Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão é uma ferramenta que auxilia o decisor nas tomadas de decisões quando mais de um critério está envolvido na abordagem do problema, dessa forma exercendo preferências de uma alternativa sobre a outra, aumentando assim a possibilidade de acerto na escolha (BELTON; STERWART, 2002). Na Metodologia multicritério tradicional existem os métodos compensatórios e os métodos não compensatórios, no primeiro como o nome já diz, compensa um baixo desempenho de umas das alternativas em um dado critério com um alto desempenho em outro critério, como por exemplo, alto valor compra de um carro com uma grande satisfação na compra do mesmo. Já no método não compensatório leva-se em consideração a importância relativa entre os critérios, fazendo assim com que a modelagem matemática decida pela melhor alternativa.

Vários são os agentes em um problema multicritério de apoio a decisão, e é de suma importância seu conhecimento para a melhor compreensão no decorrer das várias etapas da resolução do problema, Dias (2002). Onde podemos citar :

- a) atores, são pessoas interessadas ou que são afetadas diretamente pela decisão;

- b) decisores, são os que fazem as escolhas, bem como aqueles que assumem preferências;
- c) analista, é aquele que após interpretar as opiniões dos decisores, tem a tarefa de fazer a modelagem matemática para a futura decisão;
- d) alternativas, são as diferentes opções que um decisor tem para escolha tendo valores de critérios diferentes para as diferentes alternativas;
- e) modelo, è a modelagem matemática que permite chegar em um resultado quantitativo;
- f) critérios, são ferramentas de comparação que permitem a escolha de uma determinada alternativa, sendo eles podendo ser qualitativos ou quantitativo;
- g) matriz de avaliação, é o ordenamento de vários critérios com as possíveis alternativas;
- h) escalas, è a graduação de um determinado critério;
- i) valor global, é valor econômico, ou utilidade, de determinada alternativa;
- j) análise de sensibilidade, é a variação percentual no critério de maior impacto que modifica a resposta do modelo.

Os critérios quantitativos já possuem por si só uma valorização tangível, passando apenas por uma normalização, que fará com que seja maximizado ou minimizado dentro de um contexto, por exemplo, temperaturas de 100 °C, 80 °C e 50 °C podem ser consideradas quanto maior melhor ou quanto maior pior. Já critérios qualitativos, como por exemplo, experiência do termografista há a necessidade de se fazer uma avaliação semântica, transformando assim em uma escala quantitativa, através de comparações par-a-par da diferença de atratividade entre as ações potenciais (BEINAT, 1995).

### **3.1.1 Problemas multicritério**

Seria trivial e elementar tomar uma decisão considerando apenas um critério para expressar a preferência do decisor, porém quando há vários critérios para diferentes alternativas começam as dificuldades para a melhor escolha, pois é difícil existir em uma única alternativa todos os critérios melhores avaliados, (GOMES, 2014). Justamente nesses casos que a Análise de Decisão Multicritério pode auxiliar o decisor nas tomadas de decisão, e o processo consiste das seguintes etapas:

- a) definir as alternativas;
- b) definir os critérios relevantes para o problema de decisão;

- c) avaliar as alternativas em relação aos critérios; e
- d) avaliar a importância relativa de cada critério; e determinar a avaliação global de cada alternativa.

### 3.1.1.1 Elaboração e aplicação das matrizes de avaliação

A elaboração das matrizes é a parte final que apresentará o resultado da modelagem multicritério de apoio a decisão, (ENSSLIN; MONTIBELLER; NORONHA, 2001; ENSSLIN, 2002; ENSSLIN, 2010.). São elas:

- a) matriz de desempenho das alternativas, composta do valor original de cada atributo em todos os casos sob estudo, utiliza-se os máximos e mínimos dentro de cada atributo ou um benchmark, no caso de um atributo qualitativo, deve-se apresentar uma semântica;
- b) Matriz de Robertz para cada atributo, critério, qualitativo, faz-se um julgamento semântico para obter os níveis de impacto, que por sua vez é aplicado na matriz fazendo uma comparação par a par, onde é determinado o auto vetor correlacionado ao valor de cada nível de impacto, conforme Equação 1 (que é exatamente a função valor do critério qualitativo), que será aplicado a matriz comportamento econômico.

$$N_i = \frac{\beta_i - \beta_{máx}}{\beta_{máx} - \beta_{min}} \quad (1)$$

Matriz de comportamento indiferente (K), atribui-se a mesma os valores indiferentes com base na informação da matriz valor original, levando em consideração a informação de cada atributo (quanto maior pior utilizando a Equação 2 ou quanto maior melhor utilizando a Equação 3), quando o critério é qualitativo não há comportamento indiferente.

$$b_{ij} = \frac{max_{ij} - a_{ij}}{max_{ij} - min_{ij}} \quad (2)$$

$$b_{ij} = \frac{a_{ij} - min_{ij}}{max_{ij} - min_{ij}} \quad (3)$$

Onde:

- $b_{ij}$  → valor da alternativa  $i$  no critério  $j$  da matriz comportamento indiferente;  
 $max_{ij}$  → valor máximo da alternativa  $i$  do critério  $j$  na matriz de desempenho das alternativas;  
 $a_{ij}$  → valor da alternativa  $i$  no critério  $j$  da na matriz de desempenho das alternativas; e  
 $min_{ij}$  → valor mínimo da alternativa  $i$  do critério  $j$  na matriz de desempenho das alternativas.

c) matriz comportamento econômico, atribui-se a mesma os valores de comportamento com base na informação da matriz indiferença, aplicando a função valor  $[V ( . )]$  como na Equação 4 para o atributo de cada alternativa, e o seu comportamento alfa ( $\alpha$ ) em relação a cada atributo quantitativo. Já em relação ao atributo qualitativo possui o comportamento econômico determinado pelo julgamento do decisor, apresentado na Matriz de Roberts do critério qualitativo, onde seu valor  $V ( . )$  é dada pela Equação 3;

$$V ( . ) = \frac{e^{\alpha x K} - 1}{e^{\alpha} - 1} \quad (4)$$

Onde:

- $\alpha$  → o comportamento para cada atributo, (-4 muito avesso, -2 avesso, 2 propenso, muito propenso);  
 $K$  → o valor do critério  $ij$  de cada caso na Matriz comportamento indiferente; e  
 $V ( . )$  → função valor.

e) Matriz de Robertz para a importância relativa de cada critério, para chegar ao valor global com a escolha do melhor caso para realizar a manutenção, para isso é preciso fazer uma comparação par a par dos critérios. O auto vetor ( $\beta$ ) é obtido, por aproximação geométrica, através da raiz<sup>n</sup> da multiplicação dos valores das colunas na mesma linha, como por exemplo, a Equação 5 para encontrar o auto vetor ( $\beta_i$ ).

$$\beta_i = \sqrt[n]{d_{11} \times d_{12} \times d_{13} \times d_{14} \times d_{15}} \quad (5)$$

Onde:

$n$  = ordem da matriz

$d_{ij}$  = valores de preferência de um critério sobre o outro na matriz de Robertz; e

$\beta_i$  = auto vetor da linha  $i$ .

A normalização (N) da matriz de Robertz que é exatamente a importância relativa de cada atributo (*trade - off*), é obtida através da divisão do auto vetor da linha  $i$  pelo somatório dos auto vetores, como em (6).

$$N_i = \frac{\beta_i}{\sum \beta} \quad (6)$$

Onde:

$\sum \beta$  = somatório dos auto vetores;

$N_i$  = normalização (importância relativa do atributo (i)).

O auto valor máximo ( $\sigma$ ) é obtido através da soma produto do somatório de cada coluna com normalização (importância relativa de cada critério), como mostra a Equação 7.

$$\sigma = (\sum c_1 \times N_1) + (\sum c_2 \times N_2) + (\sum c_3 \times N_3) + (\sum c_4 \times N_4) + (\sum c_5 \times N_5)$$

Onde:

$\sum c_j \rightarrow$  Somatório da coluna  $j$ ; e

$\sigma \rightarrow$  Auto-valor máximo.

A etapa seguinte consiste em determinar o coeficiente de racionalidade (CR), para se certificar que os valores apresentados na matriz de Robertz esteja dentro de uma racionalidade aceitável (<10%), isso aplicando a Equação 8.

$$CR = \frac{1}{R_i} \times \left( \frac{\sigma - n}{n - 1} \right) \quad (8)$$

Onde:

$R_i$  = índice de consistência aleatória, conforme Tabela 1

Tabela 1 - Índice de Consistência Aleatória

ordem da matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_i$	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1991).

f) A próxima etapa consiste na resolução do problema multicritério com a determinação do valor global, podendo ser utilizados a função aditiva ou a função produtiva. Para auxiliar na decisão, são agregadas as avaliações locais das ações potenciais em uma única avaliação global, utilizando a fórmula de agregação aditiva (KEENEY e RAIFFA, 1993). Será utilizada a função aditiva, pois como foi utilizado o máximo e mínimo dentro dos próprios critérios, isso acarretou em alternativas com desempenho nulo em algumas alternativas, ou seja, valores zeros de mínimos, por isso utiliza-se a função aditiva, conforme Equação 9.

$$\lambda_i = (N_{11} \times C_{ij}) + (N_{12} \times C_{ij}) + (N_{13} \times C_{ij}) + (N_{14} \times C_{ij}) + (N_{15} \times C_{ij}) \quad (9)$$

Onde:

$N_{ij}$  → Importância relativa do *caso<sub>i</sub>* no *atributo<sub>j</sub>*;

$C_{ij}$  → Valor do *caso<sub>i</sub>* do atributo *j* na matriz comportamento econômico; e

$\lambda_i$  → Valor de global do *caso<sub>i</sub>*.

A próxima e última etapa consiste em fazer uma análise de sensibilidade, devido à probabilidade da existência de incertezas, por parte do decisor, na construção de um modelo multicritério, e é extremamente importante realizar essa análise, com a finalidade de testar a robustez da proposta, diante das variações de seus parâmetros. A análise de sensibilidade é uma fase importante na aplicação de qualquer proposta, porque contribui para superar a falta de precisão na determinação dos valores parametrizados, gerar conhecimento sobre o problema e também, aumentar a confiança nos resultados obtidos (DIAS; COSTA e CLIMACO, 1997). Varia-se gradualmente a taxa de substituição do atributo de maior impacto até que mude o caso escolhido, e verifica-se qual o comportamento do mesmo, devendo ser recalculado segundo Enssilin, (2001, p 272), com a Equação 10.

$$W_n^* = \frac{W_n \times (1 - W_i^*)}{(1 - W_i)} \quad (10)$$

Onde:

$W_i$  = Taxa de substituição original do atributo *i*

$W_i^*$  = Taxa de substituição modificada do atributo  $i$

$W_n$  = Taxa de substituição original do atributo  $n$

$W_n^*$  = Taxa de substituição recalculada do atributo  $n$

## 4. ESTUDO DE CASO

Os critérios para inspeção termográfica foram estabelecidos com parâmetros levando em consideração a transmissão de energia elétrica em alta tensão, isso devido à relevância dos impactos que uma falha teria no Sistema Interligado Nacional. Com isso foram estabelecidos critérios rigorosos e especificamente térmicos para a tomada de decisão da realização de uma manutenção corretiva.

Já para a Distribuição de Energia Elétrica têm características diferentes da Transmissão, porém não menos importantes, mas que deve também, avaliar o aquecimento e mais alguns parâmetros como a energia não suprida com a possível avaria, a corrente elétrica e o impacto sobre a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) da concessionária e também a experiência do termografista. O que se propõem nesse estudo é a equacionalização desses parâmetros, voltados principalmente para a área de Distribuição de Energia Elétrica em média tensão, e mais especificamente nas chaves seccionadoras de distribuição.

### 4.1 LIMITES ADMISSÍVEIS DE TEMPERATURA

A tabela 2 mostra a máxima temperatura admissível para os diferentes componentes de uma chave faca, como por exemplo, para os contatos cobre nu ou liga de cobre nu, que a temperatura máxima admissível é de 75 °C, proveniente do limite de elevação da temperatura de 35 °C mais a temperatura ambiente considerada (40 °C). A corrente nominal da seccionadora é aquela conduzida constantemente sem que sejam excedidos os limites de temperatura estabelecidos em norma.

Tabela 2 - Limites Admissíveis de Temperatura

Partes do equipamento (no ar, à pressão atmosférica)	Temperatura (°C)	Limite de elevação de temperatura para um ambiente não excedendo 40° C
<b>Contatos</b>		
cobre nu ou liga de cobre nu	75	35
prateados ou niquelados	105	65
estanhados	90	50
<b>conexões aparafusadas ou equivalentes</b>		
cobre nu, liga de cobre nu ou liga de alumínio nu	90	50
prateadas ou niqueladas	115	75
estanhadas	105	65
<b>Terminais para conexão e condutores externos através de parafusos</b>		
nus	90	50
prateados, niquelados ou estanhados	105	65

Fonte: Manual Especial E-3130013 da CELESC

## 4.2 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

A inspeção termográfica em redes de Distribuição de Energia Elétrica é feita através da termografia embarcada (viatura equipada com um termovisor portátil que segue a rede tronco do alimentador sob inspeção), à medida que se observa algum padrão térmico suspeito, para-se e faz-se uma medição mais minuciosa, para confirmar ou não uma possível anomalia. Na inspeção é utilizado o equipamento Flir T-620, equipamento portátil, de última geração e que proporcionam mais eficiência, agilidade e conforto nas inspeções. A inspeção é conduzida por um inspetor de termografia da área, preferencialmente que possua alguma certificação em termografia, sendo este auxiliado por um motorista que conduz a viatura, e interage com o inspetor durante todo o processo de inspeção.

### 4.2.1 Histórico das Inspeções Termográficas

A tabela 3 nos mostra a quilometragem e quantidade alimentadores de redes de distribuição inspecionados por Agência Regional da Celesc, bem como a quantidade de pontos quentes encontrados e o respectivo índice de pontos quentes por quilômetro, (a meta para esse índice é de 0,70, que é o benchmark estabelecido pela concessionária). Na Agência Regional de Florianópolis (FLO), Agência nº 01, foram percorridos 3290,03 km de redes, com a inspeção

de 425 alimentadores e registrados 1470 pontos quentes, resultando em um índice de 0,45 (que é a divisão do número de pontos quentes pela quilometragem percorrida). Para o desenvolvimento deste trabalho foram avaliados os históricos de termografia da CELESC dos anos de 2009 a 2014.

Tabela 3 - Histórico de Inspeções

<b>Incidência de Aquecimento por Agência Regional</b>					
<b>Agências Regionais:</b>				<b>Período</b>	<b>2009 a 2014</b>
<b>Agência</b>	<b>nº</b>	<b>km RD's percorrido</b>	<b>Alim. Insp.</b>	<b>Pontos quentes</b>	<b>Pontos / km</b>
FLO	01	3.290,03	425,00	1470	0,45
BLU	02	3.437,89	352,00	941	0,27
JVE	03	2.036,95	371,00	817	0,40
LGS	04	1.336,71	176,00	197	0,15
VID	05	884,24	115,00	98	0,11
CDA	06	867,27	92,00	103	0,12
JSL	07	883,71	131,00	294	0,33
JOA	08	1.242,83	101,00	55	0,04
CRI	10	2.149,09	230,00	549	0,26
SMO	11	1.129,28	115,00	189	0,17
TUB	13	1.067,80	115,00	171	0,16
RSL	14	1.276,67	135,00	236	0,18
MAF	15	1.311,27	151,00	297	0,23
SBS	16	1.107,84	111,00	307	0,28
ITA	17	3.979,38	450,00	603	0,15
CHA	18	1.158,52	146,00	210	0,18
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>27.159,48</b>	<b>3.216,00</b>	<b>6.537,00</b>	<b>0,24</b>

Fonte: Relatório Anual de Inspeção DPMS/DVMA

#### 4.2.2 Histórico dos Aquecimentos nos Equipamentos

A tabela 4 nos mostra o número de equipamentos aquecidos, como chave faca (seccionadora), chave fusível, para-raios, conector, emendas, mufla e outros equipamentos, bem como em qual dos seus componentes foi o aquecimento, mostra, também, o somatório desse equipamento aquecido de todas as agências regionais e o percentual de aquecimento desse equipamento sobre o total de aquecimento de todos os equipamentos. Por exemplo, no equipamento “TOTAL DE CHAVE-FACA”, correspondem aos seus componentes até o próximo equipamento. E que o total de chave faca aquecido por agência regional mostra 793 chaves aquecidas em Florianópolis (FLO), 571 em Blumenau (BLU), 510 em Joinville (JOI), 124 em Lages (LAG), assim sucessivamente.

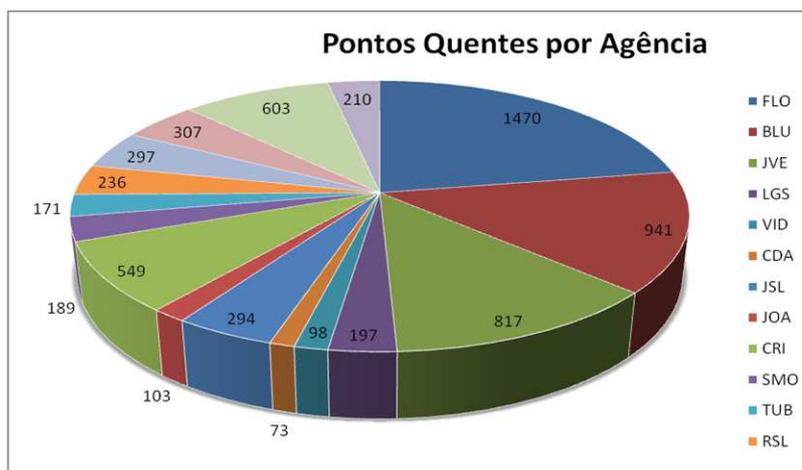
Tabela 4 - Aquecimento nos Equipamentos e Componentes

Inspeção Termográfica																			
		Agências Regionais:																2009 a 2014	
		GERAL																	
		Período:																	
Equipamento		FLO	BLU	JVE	LGS	VID	JOA	JSL	CDA	CRI	SMO	TUB	RSL	MAF	SBS	ITA	CHA	TOTAL	%
<b>TOTAL CHAVE-FACA</b>		793	571	510	124	42	40	199	58	209	114	112	146	155	216	394	160	<b>3843</b>	<b>59%</b>
COMPONENTE	Chave-faca	5	0	7	0	0	0	0	0	0	0	23	0	2	30	4	0	<b>71</b>	<b>1,7%</b>
	Terminal	250	197	164	17	17	10	90	27	60	47	3	43	46	38	21	33	<b>1063</b>	<b>26,1%</b>
	Contato Lado fonte	523	344	344	102	27	28	118	30	127	70	74	108	103	103	328	108	<b>2537</b>	<b>62,2%</b>
	Contato Lado carga	81	54	20	6	0	2	12	4	35	6	20	8	14	38	41	17	<b>358</b>	<b>8,8%</b>
	Lâmina	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	<b>2</b>	<b>0,0%</b>
	Isolador	9	8	0	2	0	1	0	0	4	3	0	1	2	2	2	14	<b>48</b>	<b>1,2%</b>
<b>TOTAL CHAVE-FUSÍVEL</b>		102	144	79	21	22	6	32	11	56	5	7	16	25	46	27	15	<b>614</b>	<b>9%</b>
COMPONENTE	Chave-fusível	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	<b>8</b>	<b>1%</b>
	Contato superior	35	50	27	6	5	0	9	4	32	1	9	2	14	17	18	0	<b>229</b>	<b>36%</b>
	Contato inferior	8	18	9	5	0	0	5	0	2	0	2	0	2	12	2	0	<b>65</b>	<b>10%</b>
	Isolador	25	52	25	7	15	5	8	6	15	4	1	9	5	0	1	13	<b>191</b>	<b>30%</b>
	Conexão inferior	23	12	18	3	2	1	5	2	7	0	0	3	4	4	1	2	<b>87</b>	<b>14%</b>
	Conexão superior	11	21	7	1	0	0	4	0	1	0	0	1	6	5	1	0	<b>58</b>	<b>9%</b>
Cartucho	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	<b>0%</b>	
<b>TOTAL PARA-RAÍOS</b>		101	62	35	7	6	8	12	0	52	8	6	7	20	8	12	6	<b>350</b>	<b>5%</b>
COMPON.	Para-raios	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8	0	0	<b>10</b>	<b>3%</b>
	Corpo	98	65	34	7	6	8	15	0	48	8	6	7	19	15	16	6	<b>358</b>	<b>94%</b>
	Conjunto terminal superior	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	<b>4</b>	<b>1%</b>
	Conjunto terminal inferior	1	2	1	0	0	0	1	0	2	0	1	0	1	0	0	0	<b>9</b>	<b>2%</b>
<b>TOTAL CONECTOR</b>		176	34	94	26	6	10	20	7	143	20	22	25	18	13	70	6	<b>690</b>	<b>11%</b>
TIPO	Conector	3	0	1	0	0	4	1	0	0	0	13	0	0	9	0	0	<b>31</b>	<b>4%</b>
	Aparafusado	51	15	1	17	0	5	1	2	46	13	4	8	8	0	2	2	<b>175</b>	<b>25%</b>
	Cunha	122	21	91	8	6	3	20	5	96	7	9	17	10	0	70	4	<b>489</b>	<b>70%</b>
<b>TOTAL EMENDAS</b>		47	39	19	5	0	0	0	0	14	3	2	2	20	2	12	1	<b>166</b>	<b>3%</b>
TIPO	Emendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	<b>2</b>	<b>1%</b>
	Pré-formada	34	20	7	5	0	0	0	0	5	3	0	1	17	2	3	1	<b>98</b>	<b>59%</b>
	Compressão	13	13	12	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	0	7	0	<b>51</b>	<b>31%</b>
	Emergência	0	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	<b>8</b>	<b>5%</b>
	Torção	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	<b>6</b>	<b>4%</b>
<b>TOTAL MUFLA</b>		107	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	<b>108</b>	<b>2%</b>
TIPO	Mufla	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>0%</b>
	Terminal	109	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	<b>110</b>	<b>96%</b>
	Corpo	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	<b>5</b>	<b>4%</b>
	Conexão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>0%</b>
<b>TOTAL OUTROS EQUIPAMENTOS</b>		144	91	80	14	22	9	31	27	74	39	22	40	59	22	88	22	<b>784</b>	<b>12%</b>
TIPO	Outros equipamentos	0	9	6	1	0	0	0	0	4	1	11	0	12	3	3	3	<b>53</b>	<b>7%</b>
	Religador	9	15	4	2	0	2	13	7	3	0	1	5	5	2	0	0	<b>68</b>	<b>9%</b>
	Regulador	29	4	8	1	7	1	2	11	6	13	0	13	17	2	19	7	<b>140</b>	<b>18%</b>
	By-pass	81	43	41	8	11	6	12	9	49	23	4	18	16	5	39	10	<b>375</b>	<b>48%</b>
	Outros	27	25	24	2	2	1	2	2	14	4	2	5	8	4	16	2	<b>140</b>	<b>18%</b>
<b>TOTAL</b>		<b>1470</b>	<b>941</b>	<b>817</b>	<b>197</b>	<b>98</b>	<b>73</b>	<b>294</b>	<b>103</b>	<b>549</b>	<b>189</b>	<b>171</b>	<b>236</b>	<b>297</b>	<b>307</b>	<b>603</b>	<b>210</b>	<b>6555</b>	
%		22,43%	14,36%	12,46%	3,01%	1,50%	1,11%	4,49%	1,57%	8,38%	2,88%	2,61%	3,60%	4,53%	4,68%	9,20%	3,20%	100,00%	

Fonte: Relatório Anual de Inspeção DPMS/DVM

A figura 7 nos mostra o gráfico da quantidade de pontos quentes totais por Agência Regional da Celesc por toda sua área de concessão, onde mostra que no período sob estudo (conforme o capítulo 4.2.1), a Agência Regional de Florianópolis foi onde se registrou mais pontos quentes num total de 1470.

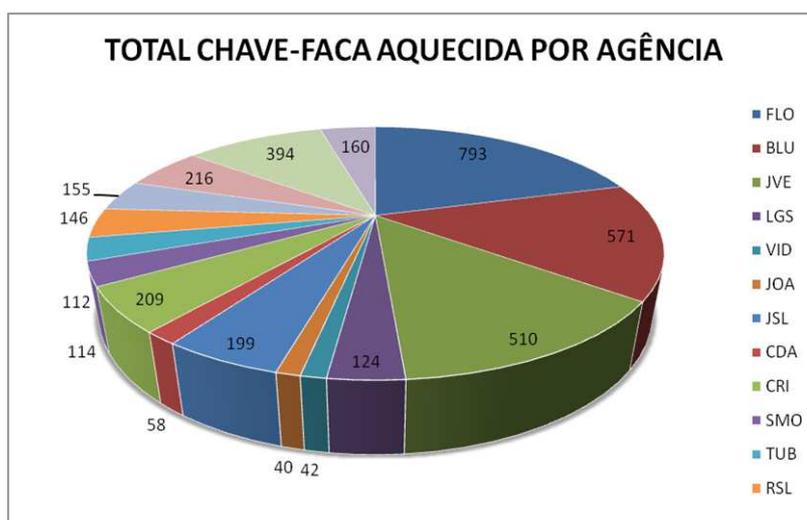
Figura 7 - Pontos Quentes Por Agência



Fonte: Relatório Anual de Inspeção DPMS/DVMA

Já a figura 8 nos mostra o gráfico da quantidade de pontos aquecidos especificamente em chaves seccionadoras por Agência Regional, também em toda sua área de concessão, onde mais uma vez se identifica que, a Agência regional de Florianópolis registra o maior número de chaves aquecidas com um total de 793.

Figura 8 - Chave Seccionadoras Aquecidas por Agência



Fonte: Relatório Anual de Inspeção DPMS/DVMA

A tabela 5 está baseada na informação da tabela 4 no que se diz respeito à quantidade de chaves-faca aquecidas, e nos mostra a quantidade das mesmas na Agência regional de Florianópolis (FLO), com um total de 793 chaves, com preço unitário de R\$ 263 e custo de mão de obra de R\$ 110,85, e que o custo para a troca de todas as 793 chaves fica na ordem de R\$ 296.463,05, correspondendo a um percentual de 20,63 % sobre o total de R\$ 1.436.705,55.

Tabela 5 - Custo de Troca de Chave Seccionadora

INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA											
CUSTO DE TROCA DE CHAVE SECCIONADORA											
AGÊNCIA REGIONAL		GERAL					PERÍODO 2009 a 2014				
EQUIPAMENTO	FLO	BLU	JVE	LGS	VID	JOA	JSL	TOTAL			
<b>TOTAL CHAVE-FACA</b>	793	571	510	124	42	40	199				
<b>CUSTO</b>	Insumo (R\$)	263	263	263	263	263	263				
	Mão de Obra (R\$)	110,85	110,85	110,85	110,85	110,85	110,85				
	Total (R\$)	296.463,05	213.468,35	190.663,50	46.357,40	15.701,70	14.954,00	74.396,15			
	% sobre o Total	20,63%	14,85%	13,27%	3,22%	1,09%	1,04%	5,18%			
INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA											
CUSTO DE TROCA DE CHAVE SECCIONADORA											
AGÊNCIA REGIONAL		GERAL					PERÍODO 2009 a 2014				
EQUIPAMENTO	CDA	CRI	SMO	TUB	RSL	MAF	SBS	ITA	CHA	TOTAL	
<b>TOTAL CHAVE-FACA</b>	58	209	114	112	146	155	216	394	160	3.843,00	
<b>CUSTO</b>	Insumo (R\$)	263	263	263	263	263	263	263	263		
	Mão de Obra (R\$)	110,85	110,85	110,85	110,85	110,85	110,85	110,85	110,85		
	Total (R\$)	21.683,30	78.134,65	42.618,90	41.871,20	54.582,10	57.946,75	80.751,60	147.296,90	59.816,00	1.436.705,55
	% sobre o Total	1,51%	5,44%	2,97%	2,91%	3,80%	4,03%	5,62%	10,25%	4,16%	100,00%

Fonte: Relatório Anual de Inspeção DPMS/DVMA

#### 4.2.3 DEC e DEF dos Conjuntos por equipamentos e padrão ANEEL para os Conjuntos (Subestações)

A tabela 6 nos mostra o DEC e FEC dos conjuntos (subestações) da Agência Regional de Florianópolis, por exemplo, a subestação nº 101 que é exatamente o conjunto de Coqueiros, onde o limite do DEC e FEC anual é 7,00, e que no acumulado do 8º mês tem que estar no máximo 4,63 para que a meta anual seja atingida. Logo em seguida está o número total de unidades consumidoras desse conjunto (subestação) que é de quarenta e cinco mil e cento e dezanove unidades consumidoras (45.119), após temos o DEC e FEC real realizado até o mês oito corrente e em seguida temos o nível de qualidade desses indicadores para esse conjunto (subestação), que está bom tanto para o DEC quanto para o FEC.

Tabela 6 - Dec Fec Padrão Aneel para os Conjuntos

PADRÃO ANEEL											
AG. REG	CONJUNTOS	ANUAL		ACUMULADO 8º MÊS		CONSUMIDOR	REALIZADO		Nível de Qualidade		
		DEC	FEC	DEC hora	FEC núm.		DEC hora	FEC núm.	DEC hora	FEC núm.	
ARFLO	101	COQUEIROS	7,00	7,00	4,63	4,63	45.119	4,08	3,18	BOM	BOM
ARFLO	102	ROÇADO	9,00	7,00	5,95	4,63	88.691	10,40	8,71	VIOLADO	VIOLADO
ARFLO	103	USINA GARCIA	27,00	21,00	17,85	13,88	3.402	32,37	19,18	VIOLADO	PRECÁRIO
ARFLO	105	TIJUCAS	14,00	12,00	9,25	7,93	43.096	17,85	12,03	VIOLADO	VIOLADO
ARFLO	106	TRINDADE	8,00	7,00	5,29	4,63	41.533	8,83	5,44	VIOLADO	PRECÁRIO
ARFLO	107	ILHA NORTE	9,00	8,00	5,95	5,29	67.207	9,69	5,38	VIOLADO	PRECÁRIO
ARFLO	109	BIGUAÇÚ QUINTINO BOCAIUVA	12,00	10,00	7,93	6,61	34.745	10,72	6,29	PRECÁRIO	BOM
ARFLO	111	ILHA CENTRO	8,00	7,00	5,29	4,63	14.713	3,66	2,77	BOM	BOM
ARFLO	112	PALHOÇA	15,00	13,00	9,92	8,59	84.840	12,58	8,37	PRECÁRIO	BOM
ARFLO	114	ILHA SUL	9,00	8,00	5,95	5,29	37.233	8,90	7,10	PRECÁRIO	PRECÁRIO
ARFLO	115	PINHEIRA	17,00	13,00	11,24	8,59	9.007	18,89	12,01	VIOLADO	PRECÁRIO
ARFLO	116	FLORIANÓPOLIS AGRONÔMICA	8,00	8,00	5,29	5,29	30.443	4,97	2,97	BOM	BOM
ARFLO	122	GOVERNADOR CELSO RAMOS	18,00	11,00	11,90	7,27	2.252	13,98	8,75	PRECÁRIO	PRECÁRIO

Fonte: Relatório Anual de Inspeção DPMS/DVMA

A tabela 7 indica o tempo médio de atendimento da concessionária, que é a soma do TMD+TME+TMP, isso dado em minutos. Os valores mensais dos indicadores NIE (número de ocorrências emergenciais com interrupção de energia elétrica) e NUMOCORR (número de ocorrências emergenciais) são obtidos pela soma dos valores informados para cada conjunto em um dado mês, enquanto que os valores mensais dos indicadores TMD (tempo médio de deslocamento), TME (tempo médio de execução) e TMP (tempo médio de preparação) são

obtidos das médias ponderadas desses indicadores pelo número de ocorrências (NUMOCORR), O mesmo procedimento foi adotado para os valores anuais mostrados para a distribuidora.

Tabela 7 - Tempos Médios de Atendimentos

<b>CELESC-DIS - Mensal / 2014</b>					
MÊS	NIE	NUMOCORR	TMD	TME	TMP
Janeiro	17423	34778	35,59	94,73	203,70
Fevereiro	9706	21749	34,10	64,34	121,93
Março	7109	18286	32,58	51,85	81,10
Abril	5825	15605	32,59	41,70	74,02
Mai	7574	19224	33,09	42,49	122,06
Junho	6932	18724	31,72	49,77	94,99
Julho	8637	22092	34,09	55,87	115,49
Agosto	6387	17096	34,15	45,26	92,66
<b>CELESC-DIS - ANUAL / 2015</b>					
ANO	NIE	NUMOCORR	TMD	TME	TMP
2015	69593	167554	33,72	59,98	123,15

Fonte: Site ANEEL

A média em horas do atendimento de emergência da Celesc é 3,61. O banco de dados das Concessionárias de Energia Elétrica, e mais especificamente o banco de dados da Celesc Distribuição S.A, contam com uma gama de informações inerentes a:

- quantidade de unidades consumidoras (UC) ligadas a uma determinada chave;
- corrente (A) do Alimentador onde essa chave fica está ligada;
- quanto que essa chave fica desligada por um determinado tempo contribui negativamente para o DEC Global e para o DEC do conjunto; e
- se o DEC de um determinado conjunto (subestação) no qual está ligado um determinado alimentador, já apresenta-se comprometido.

No presente estudo leva-se em consideração somente o indicador “DEC”, pois o mesmo está norteado pelo o equipamento “chave seccionadora”, que quando avariado contribui expressivamente para o “DEC”, e sem expressividade para o indicador “FEC”.

#### 4.2.4 Exemplo de Termogramas de Aquecimento em Chaves-Faca

A figura 9 mostra um exemplo de aquecimento relativamente baixo em uma chave seccionadora de redes de distribuição. O aquecimento encontra-se especificamente no terminal parafusado da chave, com uma temperatura máxima de 75 °C na temperatura ambiente de 12 °C, tendo assim uma variação de aquecimento de 63 °C. Esta figura mostra ainda a data e hora

da inspeção, bem como a emissividade a qual o termovisor está calibrado, e as imagens são apresentadas no espectro infravermelho e visual.

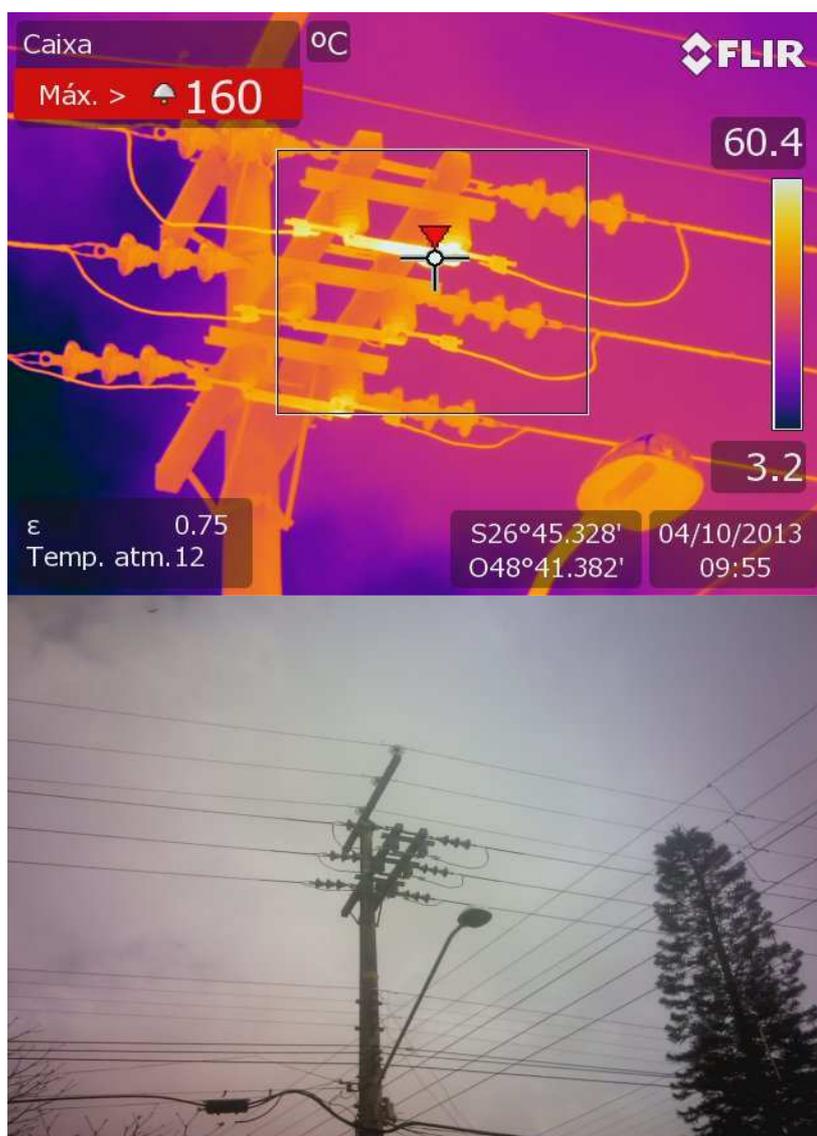
Figura 9 - Imagem Termográfica de Seccionadora pouco Aquecida



Fonte: Banco de Dados de Inspeção Termográfica DPMS/DVMA

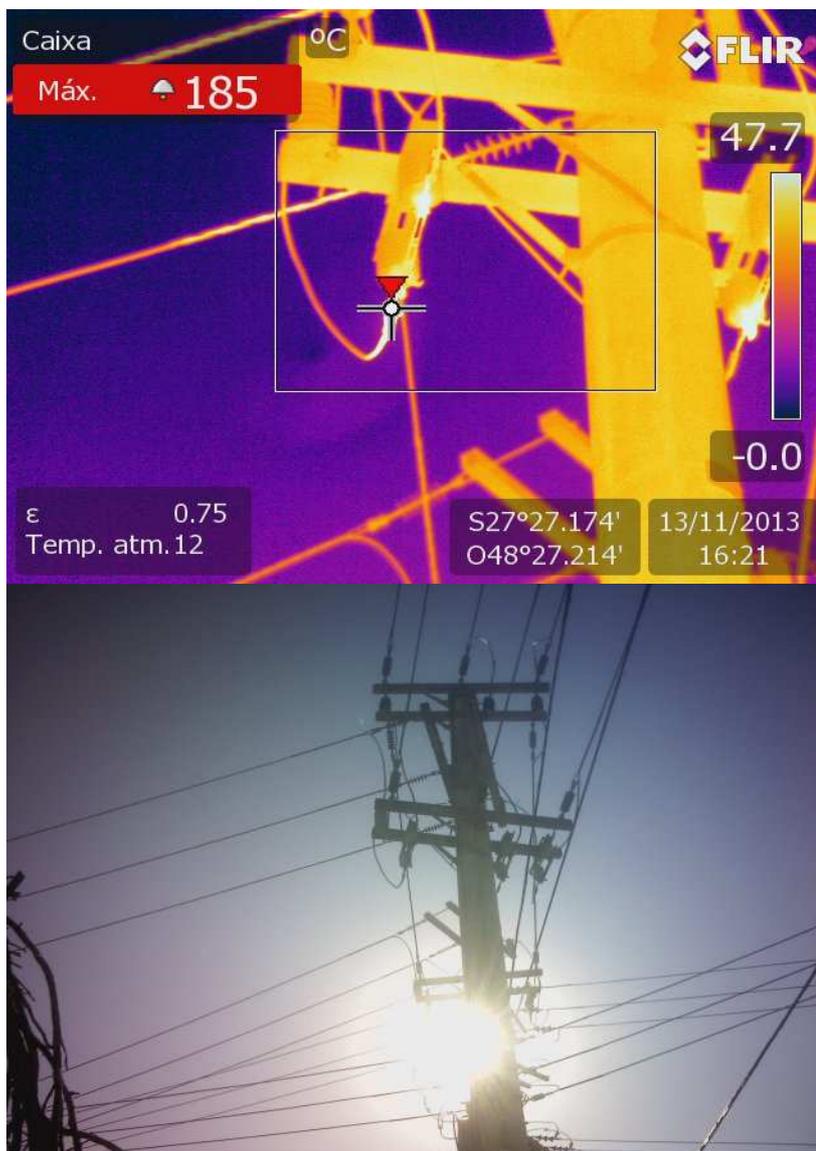
Na Figura 10 e 11 verifica-se um aquecimento elevado para os padrões da concessionária, com aquecimento de 160 °C e 185 °C na mesma temperatura ambiente de 12 °C, respectivamente. porém na Figura 10 o aquecimento está no contato móvel do lado da fonte, enquanto na Figura 11 o aquecimento é no conector cunha do jumper da chave-faca.

Figura 10 - Imagem Termográfica de Seccionadora com Aquecimento Alto 1



Fonte: Banco de Dados de Inspeção Termográfica DPMS/DVMA

Figura 11 - Imagem Termográfica de Seccionadora com Aquecimento Alto 2



Fonte: Banco de Dados de Inspeção Termográfica DPMS/DVMA

A figura 12 mostra um aquecimento considerado extremo, mesmo com uma temperatura ambiente maior de 28 °C, com aquecimento pontual nos terminais da chave-faca.

Figura 12 - Imagem Termográfica de Seccionadora Aquecimento Extremo



Fonte: Banco de Dados de Inspeção Termográfica DPMS/DVMA

O ponto indicado por uma seta vermelha dentro da caixa nas imagens térmicas das Figuras 9, 10, 11, 12, 13 e 14, refere-se a maior temperatura dentro da área dessa caixa, representado pela cor mais clara, no canto esquerdo superior identifica-se o valor da máxima temperatura em °C, no canto inferior esquerdo tem-se a emissividade e a temperatura atmosférica, ao lado o geolocalização e a direita data e hora de inspeção.

#### **4.2.4.1 Relatórios de Inspeção Termográfica**

O relatório de inspeção termográfica é um documento onde relata-se as condições térmicas da chave seccionadora, localização e parâmetros térmicos, que irão nortear as equipes de manutenção nas agências regionais em todo território Catarinense

A Figura 13 mostra como é o relatório atual de inspeção termográfica, apresentando no seu cabeçalho: o número do relatório, o inspetor responsável, a Agência regional a qual foi realizado a inspeção, o alimentador inspecionado e o número da chave com aquecimento. A esquerda da imagem térmica mostra os parâmetros da medição e geolocalização, abaixo da imagem visual está descrita a localização detalhada, o local de instalação do equipamento (nº do equipamento), é descrito qual o problema dessa chave do ponto de vista térmico e a classificação da manutenção levando em consideração o aspecto quantitativo.

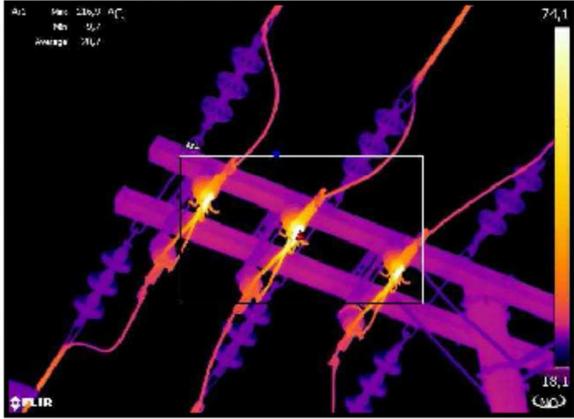
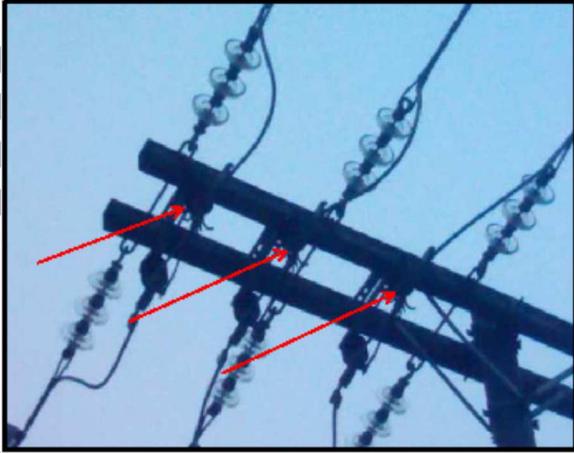
Figura 13 - Relatório Atual de Inspeção Termográfica



Fonte: Banco de Dados de Inspeção Termográfica DPMS/DVMA

Já na Figura 14 temos um novo tipo de relatório, com informações mais simples e visíveis sobre temperatura com a classificação da manutenção destacada. Uma nova informação foi adicionada ao lado da imagem visual, trata-se dos parâmetros sobre o “DEC”, com informação de quantas unidades consumidoras seriam afetadas se a chave-faca aquecida sofresse uma avaria, bem como a quantidade total de unidades consumidoras do conjunto, o limite de seu “DEC”, o “DEC” atual do conjunto, e a situação do “DEC”, se ele está ótimo, bom, precário ou violado.

Figura 14 - Novo Relatório de Inspeção

		FORMULÁRIO : 170-15 AGÊNCIA REGIONAL DE FLORIANÓPOLIS ALIMENTADOR : INE-04 EQUIPAMENTO: CD-1790	INSPECTOR: MARCOS
TEMPERATURA AMBIENTE °C	25		
TEMPERATURA DO OBJETO °C	116,9		
DELTA "T" °C	91,9		
CLASSIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO	<b>IMEDIATA</b>		
<b>INFORMAÇÕES SOBRE CONTINUIDADE</b>			
UC POSSÍVEIS AFETADAS	3.611		
UC DO CONJUNTO	67.340		
LIMITE DEC DO CONJUNTO (hs)	9,00		
DEC ATUAL DO CONJUNTO (hs)	11,90		
CONTRIBUIÇÃO PARA O DEC DO CONJUNTO	0,194		
CONTRIBUIÇÃO PARA O DEC DO GLOBAL	0,005		
SITUAÇÃO DO DEC DO CONJUNTO	<b>VIOLADO</b>		
DATA	10/11/15		
LOCALIZAÇÃO	FLORIANÓPOLIS-CANASVIEIRAS, R MADRE MARIA VILLAC		
LOCAL DE INSTALAÇÃO	CHAVE SECCIONADORA Nº 1790		
DESCRIÇÃO DA IMAGEM	CONTATO LADO FONTE DAS TRÊS FASES		
DIRETORIA DE DISTRIBUIÇÃO DEPARTAMENTO DE MANUTENÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO DIVISÃO DE MANUTENÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO			

Fonte: Banco de Dados de Inspeção Termográfica DPMS/DVMA

### 4.3 CASOS DE AQUECIMENTO EM CHAVES SECCIONADORAS

O estudo de caso exemplifica três casos distintos de aquecimento de chaves seccionadoras instaladas ao longo da rede de distribuição de energia elétrica, quantificando a corrente elétrica na hora da inspeção, a temperatura de aquecimento da chave, qual o alimentador pertence essa chave, qual o conjunto pertence esse alimentador e o total de unidades consumidoras desse conjunto, quantas unidades consumidoras poderão ficar sem energia se essa chave sofrer uma avaria e qual o DEC equivalente desse avaria. Como a sobre corrente de uma seccionadora é função da elevação da temperatura sofrida pelo equipamento (Tabela 2), é necessário, então, se estabelecer os limites admissíveis de temperatura suportável, de sorte que não provoquem modificações temporárias ou permanentes das características técnicas de quaisquer de seus componentes. Admitindo-se, por exemplo, um aquecimento exagerado nos componentes condutores de cobre, estes podem chegar ao ponto de recozimento, com drástica redução de suas propriedades mecânicas.

A norma estabelece que a máxima temperatura ambiente admitida para seccionadoras é de 40 °C. Caso essas chaves operem em temperaturas inferiores à temperatura ambiente, é admissível uma sobrecarga contínua de conformidade com a (10). Ressalta-se que o limite de elevação de temperatura é estabelecido para o componente da seccionadora que primeiro atingir a sua temperatura máxima de operação, (Tabela 2), (MAMEDE, 2005).

$$I_{sc} = I_n \times \sqrt{\frac{T_m - T_a}{T_m - 40}} \quad (10)$$

Onde:

$I_{sc}$  → corrente de sobrecarga admissível na temperatura ambiente considerada, em A;

$I_n$  → corrente nominal da seccionadora referida à temperatura ambiente de 40 °C;

$T_m$  → temperatura permissível no ponto mais quente da seccionadora que normalmente se localiza nos contatos, conexões e terminais e que, pode ser obtida através da Tabela 2;

$T_a$  → temperatura ambiente, em °C.

Logo, o fator de sobrecarga pode ser determinado pela (11):

$$F_s = \frac{I_{sc}}{I_n} \quad (11)$$

Onde:

$I_{sc}$  → corrente de sobrecarga admissível na temperatura ambiente considerada; a

$I_n$  → corrente nominal da seccionadora referida à temperatura ambiente de 40 °C; e a

$F_s$  → Fator de carga.

#### 4.3.1 Casos para Análise Multicritério

Os valores dos critérios quantitativos que serão utilizados na modelagem multicritério derivam das informações especificadas em cada caso sob estudo. Utiliza-se valores diretamente extraídos das informações dos casos sob estudo para os critérios de aquecimento e corrente, e indiretamente utilizando as quantidades de Unidades Consumidoras (UC) para determinação do critério DEC via (12), e através do software SICOTEN com a utilização do número da chave seccionadora para determinar do “critério energia não suprida” (ENS), numa avaria da mesma.

Os valores qualitativos do critério denominado experiência do termografista origina-se da avaliação semântica do critério sobre os três casos sob estudo, diferenciando tipos de chaves (padrão ou não), local de instalação, vida útil da chave, nível de dependência da energia de instalação entre outros.

Os casos sob estudo e que serão parte da modelagem multicritério de apoio à decisão estão descritos a seguir:

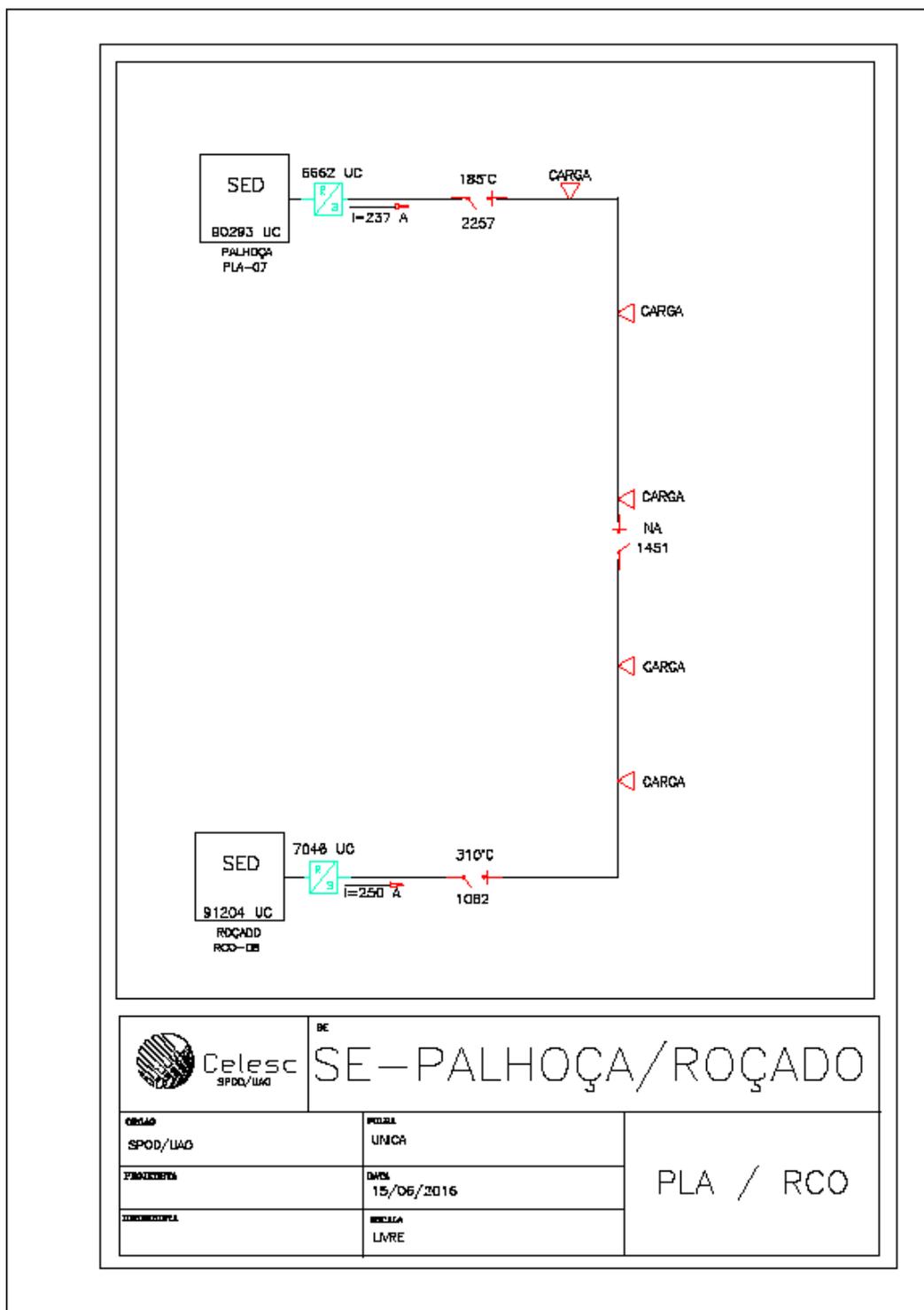
- a) O 1º caso, tem-se a chave seccionadora de número operacional 2257 da figura 11 com uma corrente elétrica de inspeção verificada em 308,55 A, às 13:00 horas, instalado em um alimentador com carga de 13350 kVA de uma carga total do alimentador de 14257 kVA, e com temperatura de aquecimento de 185 °C. Neste caso, uma possível avaria, deixaria sem energia elétrica 6662 unidades consumidoras, pertencente ao conjunto da subestação Palhoça que têm em sua totalidade 90293 unidades consumidoras. Esse alimentador é denominado como PLA-07, a chave com aquecimento é padrão e relativamente nova.
- b) No 2º caso, tem-se a chave seccionadora com o número operacional 1062 da Figura 12 com uma corrente elétrica de inspeção verificada em de 410,44 A, às 13:00 horas, instalado em um alimentador com carga de 21043 kVA de uma carga total do alimentador de 21338 kVA, e com temperatura de aquecimento de 310 °C. Nesse caso uma possível avaria deixaria sem energia elétrica 7046

unidades consumidoras, pertencente ao conjunto da subestação Roçado que têm em sua totalidade 91204 unidades consumidoras. Esse alimentador é denominado como RCO-08, a chave com aquecimento está fora de padrão, é relativamente antiga e instalada em um alimentador com cliente cadastrado como energia de suporte a vida.

Ressalta-se nesses dois primeiros casos, que os alimentadores PLA-07 e RCO-08 têm uma chave normalmente aberta “NA” entre eles, para uma possível manobra, possibilitando assim, um alimentador assumir a carga do outro, limitado pela capacidade máxima de corrente do cabo e da curva de desligamento do religador de saída do alimentador, que nesses caso é de 500 A, com isso se somaria as correntes e as unidades consumidoras dos dois alimentadores.

A figura 15 mostra o diagrama unifilar envolvendo o primeiro e o segundo casos do estudo sobre aquecimento em chaves seccionadoras. Lembrando que se for feita a manutenção em tempo hábil, não há a necessidade de desligamento do alimentador, pois a manutenção é feita com equipe de linha viva que trabalha ao contato com equipamentos isolados.

Figura 15 - Diagrama Unifilar do Alimentador PLA-07 e RCO-08

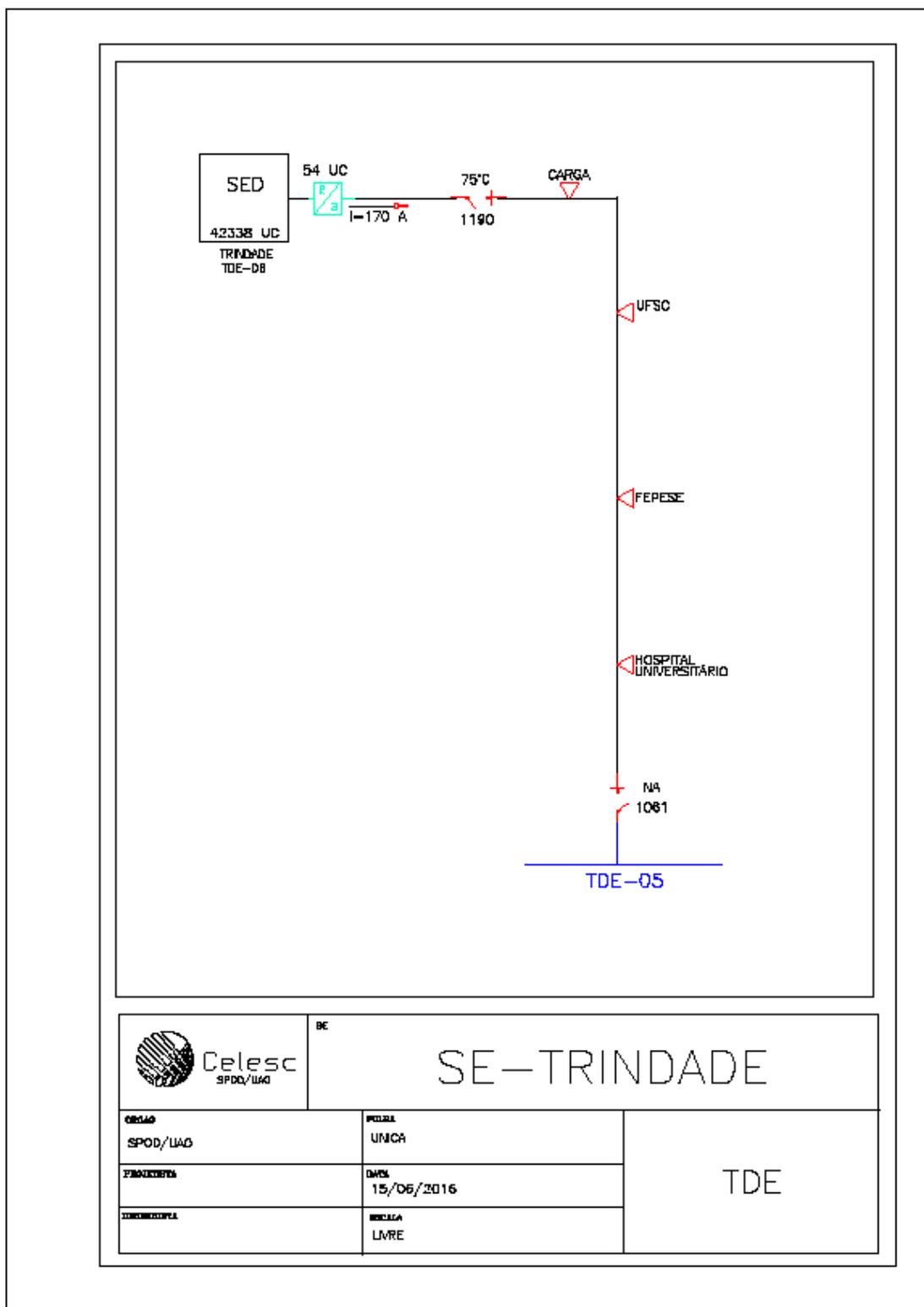


Fonte: Desenho do Autor

- c) No 3º caso tem-se a chave seccionadora de número operacional 1190 da Figura 9, com uma corrente elétrica de inspeção verificada em 315,33 A, às 13:00 horas, instalada em um alimentador com carga de 9619 kVA de uma carga total do alimentador de 9619 kVA e com temperatura de aquecimento de 75 °C. Nesse

caso, uma possível avaria deixaria sem energia elétrica 54 unidades consumidoras, pertencente ao conjunto da subestação Trindade que tem em sua totalidade 42338 unidades consumidoras. Esse alimentador é denominado como TDE-06 e apesar de ter poucas unidades consumidoras, têm cargas importantes como Universidade Federal de Santa Catarina e o Hospital Universitário. A chave com aquecimento está fora do padrão, é bem antiga, com histórico de aquecimento, e instalada em um alimentador com cliente cadastrado como energia de suporte a vida. A figura 16 mostra o diagrama unifilar envolvendo o terceiro caso do estudo sobre aquecimento em chaves seccionadoras.

Figura 16 - Diagrama Unifilar do Alimentador TDE-08



Fonte: Desenho do Autor

#### 4.3.1.1 Energia não suprida (ENS)

A da energia não suprida (ENS) foi obtida nos três casos a partir do software SICOTEN<sup>2</sup>, que é baseada em medição (memória de massa) e curvas típicas, onde são consideradas as classes de consumo (residencial, comercial, rural, outros), as faixas de demanda, de demanda/consumo e dias típicos (útil, sábado e domingo).

No SICOTEN é possível a realização de estudos de carregamento e queda de tensão, manobra e remanejamentos de carga, regulação de tensão e compensação de reativos, ligação de novos consumidores, planejamento de curto-prazo, estudos de proteção, subsídio para cálculo da tensão de contrato (PRODIST), dentre outros, para os alimentadores da Celesc.

A tabela 8 mostra os resultados do 1º caso, com os dados do SICOTEN para a chave seccionadora nº 2257 num determinado período do ano, com dados das 24 horas do dia, medindo corrente e tensão de fase, e calculado a potência trifásica. A tabela 8 apresenta, também, ainda a hora da simulação da falha, com o Tempo Médio de Atendimento de Emergência (TMAE), a Energia Não Suprida (ENS) em cada hora ou fração no período de falha, e a Energia Não Suprida (ENS) total.

Tabela 8 - Dados do SICOTEN para o 1º caso

CHAVE Nº 2257														
Grand.	unid.	Hora												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
I	A	224,15	204,36	194,52	186,62	181,34	185,02	178,02	192,60	239,55	273,42	290,31	306,92	
V	kV	7,85	7,86	7,82	7,82	7,84	7,83	7,92	7,87	7,80	7,79	7,77	7,80	
P3f	KW/h	5277,46	4817,51	4563,44	4375,35	4262,42	4347,30	4228,08	4544,95	5607,63	6387,41	6769,67	7181,08	
Grand.	unid.	Hora												
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
I	A	283,92	308,55	326,41	317,44	305,05	289,92	272,33	304,06	305,56	301,19	290,67	269,41	
V	kV	7,84	7,77	7,76	7,81	7,83	7,81	7,86	7,78	7,80	7,82	7,85	7,87	
P3f	KW/h	6679,48	7193,27	7602,77	7437,55	7163,86	6789,42	6419,02	7092,27	7148,29	7069,63	6847,12	6359,96	
SIMULAÇÃO DA FALHA AS 13:00 HORAS														
TMAE (horas)													3,61	
Energia/hora(KWh)		7193,27	7602,77	7437,55	4369,957									
Total ENS (kwh)													26603,54	

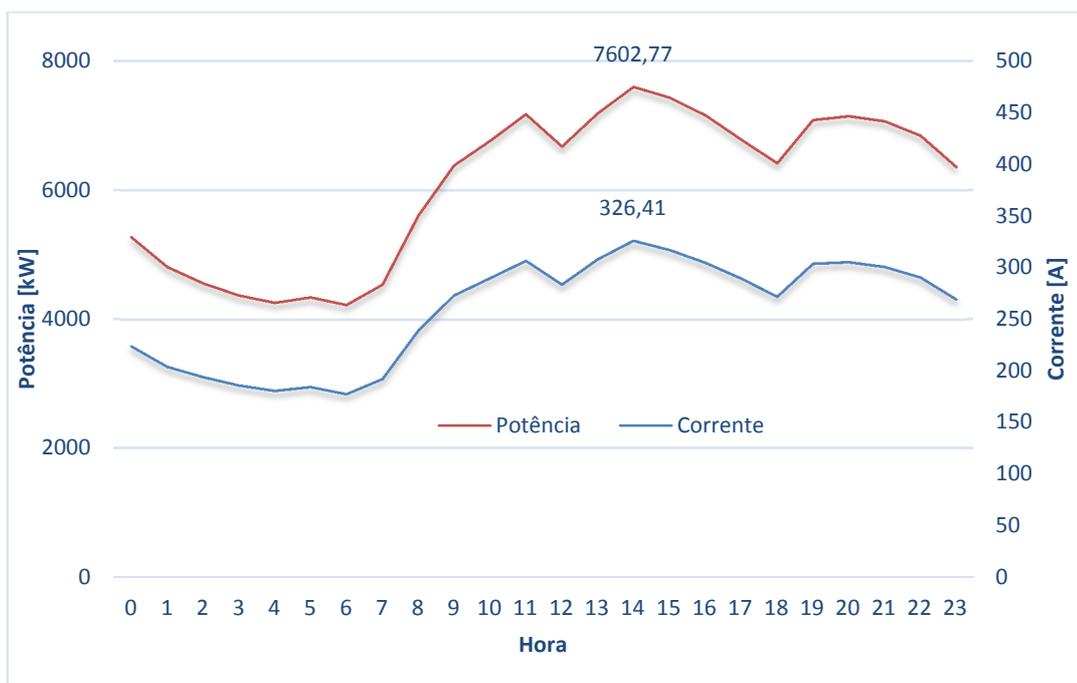
Fonte: Banco de Dados Celesc ( Software Sicoten)

O gráfico 1 mostra o comportamento da Potência e Corrente Elétrica em função do tempo no primeiro caso, com um pico de corrente de 326,41 A às 14:00 horas e

<sup>2</sup> O SICOTEN foi desenvolvido a partir de um projeto P&D com a PUC-RS, ciclo 2004/2005, com o objetivo de coordenação de controle de tensão em alimentadores de distribuição. O SICOTEN roda sobre a plataforma PSL®DMS, a qual possui ferramentas de simulação e análise de fluxo de potência em redes de Distribuição de Energia Elétrica. Devida a grande potencialidade do PSL®DMS, a Celesc optou em adquirir a ferramenta e implantar de forma corporativa.

automaticamente também com um pico de potência de 7602,77 kW no mesmo horário. O horário da simulação da falha foi escolhido exatamente no período de maior demanda de carga, isso para simular o maior impacto na possível avaria da chave seccionadora aquecida, e que não recebeu a devida manutenção.

Gráfico 1 - Potência e Corrente Elétrica na Seccionadora nº 2257



Fonte: Do Próprio Autor

A tabela 9 mostra os resultados do 2º caso, com os dados do SICOTEN para a chave seccionadora nº 1062 num determinado período do ano, com dados das 24 horas do dia, medindo corrente e tensão de fase, e calculado a potência trifásica. A tabela 9 apresenta, também, a hora da simulação da falha, com o Tempo Médio de Atendimento de Emergência (TMAE), a Energia Não Suprida (ENS) em cada hora ou fração no período de falha, e a Energia Não Suprida (ENS) total.

Tabela 9 - Dados do SICOTEN para o 2º caso

CHAVE Nº 1062													
Grand.	unid.	Hora											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	A	293,90	271,11	255,16	245,81	235,93	228,79	218,24	247,38	320,60	363,50	382,88	405,19
V	kV	7,83	7,84	7,89	7,80	7,82	7,82	7,85	7,83	7,81	7,84	7,77	7,79
P3f	KW/h	6904,55	6377,30	6036,67	5748,24	5537,63	5368,86	5136,84	5813,88	7512,67	8547,34	8929,41	9464,52

Grand.	unid.	Hora											
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
I	A	396,43	410,44	422,71	416,85	404,02	373,14	306,57	320,40	332,34	334,16	353,94	342,32
V	kV	7,80	7,80	7,81	7,82	7,80	7,82	7,83	7,83	7,86	7,82	7,82	7,81
P3f	KW/h	9270,45	9601,76	9897,66	9773,00	9447,91	8756,13	7205,08	7523,29	7832,57	7843,43	8301,21	8021,58

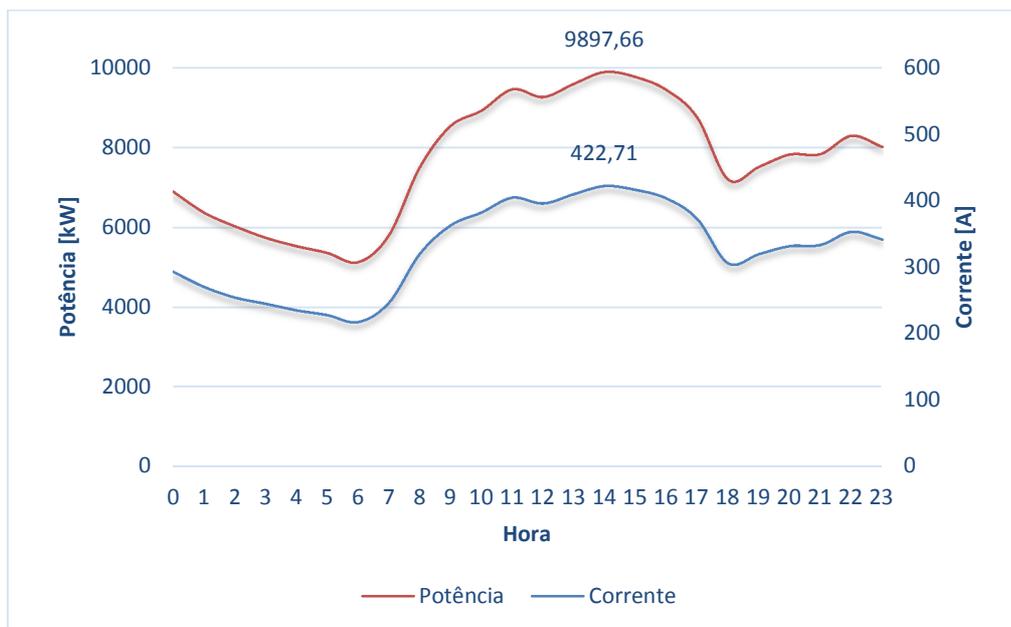
  

SIMULAÇÃO DA FALHA AS 13:00 HORAS	
TMAE (horas)	3,61
Energia/hora(KWh)	9601,76 9897,66 9773,00 5763,228
Total ENS (kwh)	35035,65

Fonte: Banco de Dados Celesc ( Software Sicoten)

O gráfico 2 mostra o comportamento da Potência e da Corrente Elétrica em função do tempo no segundo caso, com um pico de corrente de 422,71 A às 14:00 horas e automaticamente também com um pico de potência de 9897,66 kW no mesmo horário. O horário da simulação da falha foi escolhido exatamente no período de maior demanda de carga, isso para simular o maior impacto na possível avaria da chave seccionadora aquecida, e que não recebeu a devida manutenção.

Gráfico 2 - Potência e Corrente Elétrica na Seccionadora nº 1062



Fonte: Do Próprio Autor

A tabela 10 mostra os resultados do 3º caso com os dados do SICOTEN para a chave seccionadora nº 1190 num determinado período do ano, com dados das 24 horas do dia,

medindo corrente e tensão de fase, e calculado a potência trifásica. A tabela 9 apresenta, também, a hora da simulação da falha, com o Tempo Médio de Atendimento de Emergência (TMAE), a Energia Não Suprida (ENS) em cada hora ou fração no período de falha, e a Energia Não Suprida (ENS) total.

Tabela 10 - Dados do SICOTEN para o 3° caso

Grand.	unid.	Hora											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	A	120,27	116,18	112,80	108,46	107,77	109,80	124,82	171,30	252,46	291,21	310,49	304,98
V	kV	7,81	7,86	7,87	7,87	7,88	7,85	7,82	7,79	7,74	7,69	7,73	7,72
P3f	KW/h	2817,16	2739,80	2663,98	2562,02	2546,16	2587,20	2929,75	4003,23	5860,49	6714,60	7197,56	7058,67

Grand.	unid.	Hora											
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
I	A	287,59	315,33	346,58	342,07	313,95	264,66	223,83	195,47	172,62	149,54	130,32	121,22
V	kV	7,70	7,68	7,66	7,71	7,67	7,74	7,77	7,81	7,79	7,81	7,83	7,83
P3f	KW/h	6638,95	7266,24	7962,33	7911,99	7227,78	6147,06	5217,50	4580,52	4035,61	3501,36	3059,19	2845,59

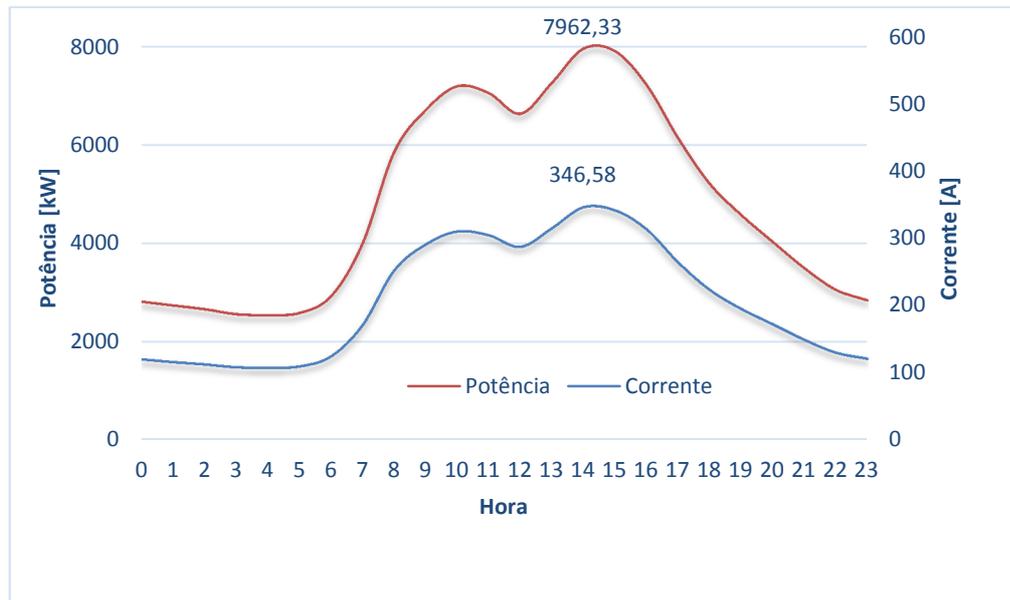
SIMULAÇÃO DA FALHA AS 13:00 HORAS

TMAE (horas)														3,61
Energia/hora(KWh)		7266,24	7962,33	7911,99	4408,946									
Total ENS (kwh)														27549,50

Fonte: Banco de Dados Celesc ( Software Sicoten)

O gráfico 3 mostra o comportamento Potência e da Corrente Elétrica em função do tempo do terceiro caso, com um pico de corrente de 346,58 A às 14:00 horas e automaticamente também com um pico de potência de 7962,33 kW no mesmo horário. O horário da simulação da falha foi escolhido exatamente no período de maior demanda de carga, isso para simular o maior impacto na possível avaria da chave seccionadora aquecida, e que não recebeu a devida manutenção.

Gráfico 3 - Potência e Corrente Elétrica na Seccionadora nº 1190



Fonte: Do Próprio Autor

#### 4.3.1.2 Cálculo do DEC nos três casos

Determinação do DEC em uma eventual falha da chave seccionadora será calculado segundo Equação 12:

$$DEC_{cd} = \frac{U_{c_{cd}} \times TMAE}{U_{c_{cj}}} \quad (12)$$

Onde:

$DEC_{cd}$  → duração equivalente de Interrupção por Consumidor, expresso em horas e centésimos de hora na falha da chave seccionadora;

$U_{c_{cd}}$  → quantidade de unidades consumidoras sem energia pela falha da chave seccionadora;

$TMAE$  → tempo médio de atendimento de emergência (igual a 3,61 para a CELESC); e

$U_{c_{cj}}$  → número de consumidores do conjunto (subestação) no qual a chave seccionadora está instalada.

Primeiro caso: Utilizando a Equação 12

$$DEC_{1^{o}caso} = \frac{6662 \times 3,61}{90293}$$

$$DEC_{1^{\text{º}} \text{ caso}} = 0,266$$

Segundo caso: Utilizando a Equação 12

$$DEC_{2^{\text{º}} \text{ caso}} = \frac{7046 \times 3,61}{91204}$$

$$DEC_{2^{\text{º}} \text{ caso}} = 0,279$$

Terceiro caso: Utilizando a Equação 12

$$DEC_{3^{\text{º}} \text{ caso}} = \frac{54 \times 3,61}{42338}$$

$$DEC_{3^{\text{º}} \text{ caso}} = 0,005$$

#### 4.4 FERRAMENTA DE APOIO A DECISÃO

Como citado no capítulo 3 a modelagem multicritério segue uma sequência lógica para determinação do apoio à decisão, passando pela escolha coerente dos critérios quantitativos e qualitativos, determinando seus valores na matriz valor original, matriz indiferença, matriz comportamento, matriz de Robertz para determinação da importância relativa de cada critério, chegando ao valor global da melhor escolha até a análise de sensibilidade para certificar se a escolha do melhor caso foi robusta.

Os critérios que serão avaliados pela análise multicritério de apoio à decisão nos três casos sob estudo são:

- a) aquecimento ↑- quanto maior melhor para a manutenção;
- b) DEC ↑- quanto maior melhor para a manutenção;
- c) corrente elétrica ↑ - quanto maior melhor para a manutenção;
- d) ENS ↑ - quanto maior melhor para a manutenção; e
- e) experiência do termografista ↑- quanto maior melhor para a manutenção.

No critério “experiência do termografista”, a avaliação semântica resultou em oito níveis de impactos:

- a) N1 - Equipamento instalado em alimentador que atende à hospital, UC cadastrada como "energia elétrica para suporte a vida"; Equipamento com histórico relevante de aquecimento ou instalado em local de grande Salinidade; Equipamento fora do padrão ou em operação a mais tempo do que seu ciclo de vida.
- b) N2 - Equipamento instalado em alimentador com UC cadastrada como "energia elétrica para suporte a vida; Equipamento com histórico relevante de aquecimento ou instalado em local de grande Salinidade;
- c) N3 - Equipamento instalado em alimentador com UC cadastrada como "energia elétrica para suporte a vida; Equipamento fora do padrão ou em operação a mais tempo do que seu ciclo de vida.
- d) N4 - Equipamento com histórico relevante de aquecimento ou instalado em local de grande Salinidade; Equipamento fora do padrão ou em operação a mais tempo do que seu ciclo de vida.
- e) N5 - Equipamento instalado em alimentador com UC cadastrada como "energia elétrica para suporte a vida"
- f) N6 - Equipamento com histórico relevante de aquecimento ou instalado em local de grande Salinidade.
- g) N7 - Equipamento fora do padrão ou em operação a mais tempo do que seu ciclo de vida.
- h) N8 - Equipamento em condições usuais.

Dessa forma aplicamos a matriz de Robertz para obter o valor do desempenho de cada caso neste critério qualitativo, conforme tabela 11.

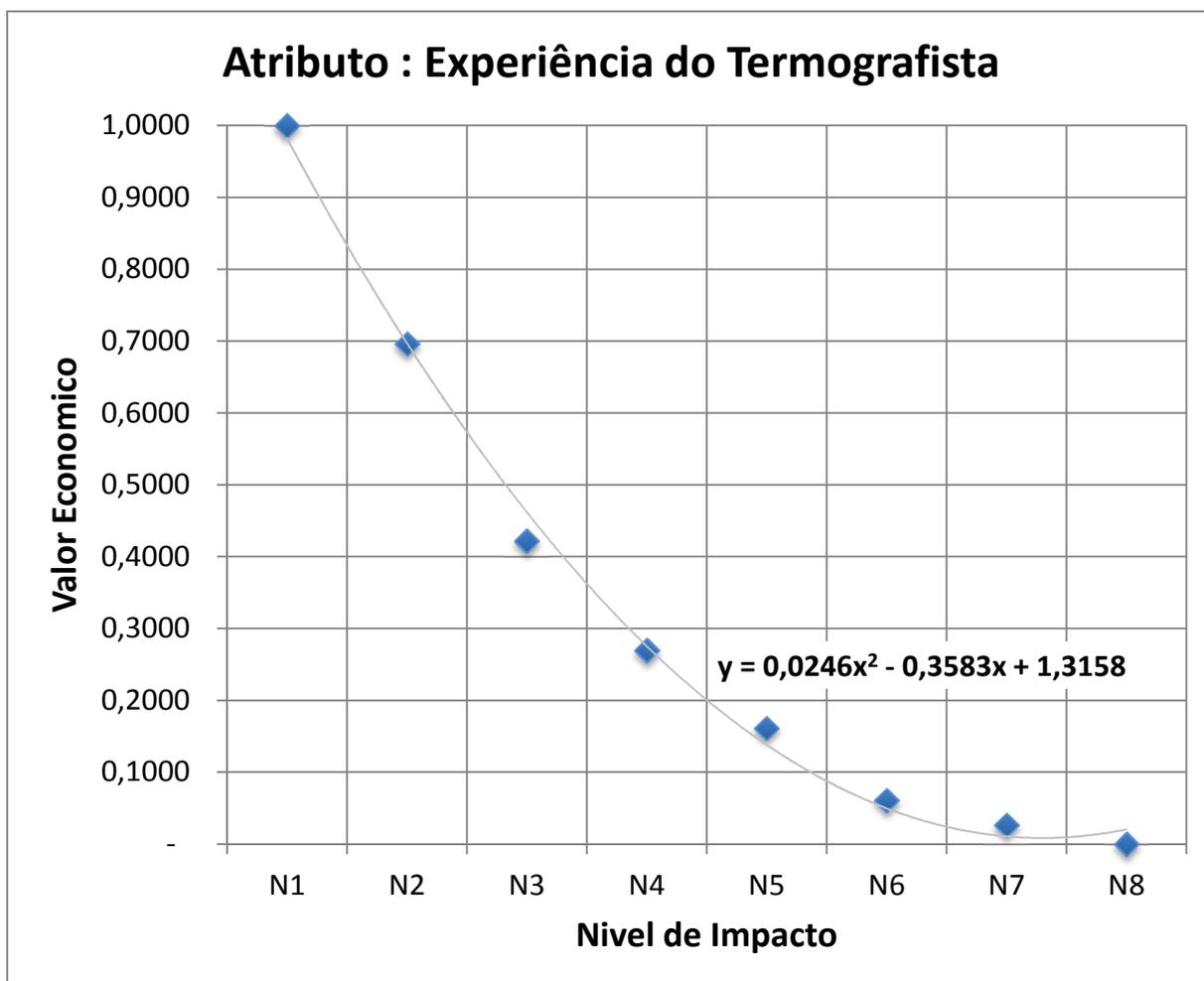
Tabela 11- Matriz de Robertz para o Critério Qualitativo

	Experiência do Termografista								Auto-Vetor e Normalização		V ( . )
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8			
N1	1,00	3,00	3,00	5,00	5,00	7,00	7,00	9,00	4,21	34,15%	1,0000
N2	0,33	1,00	3,00	3,00	5,00	7,00	7,00	9,00	3,00	24,34%	0,6962
N3	0,33	0,33	1,00	3,00	3,00	5,00	5,00	7,00	1,91	15,46%	0,4211
N4	0,20	0,33	0,33	1,00	3,00	5,00	5,00	5,00	1,30	10,57%	0,2695
N5	0,20	0,20	0,33	0,33	1,00	3,00	5,00	5,00	0,87	7,07%	0,1611
N6	0,14	0,14	0,20	0,20	0,33	1,00	3,00	3,00	0,47	3,82%	0,0607
N7	0,14	0,14	0,20	0,20	0,20	0,33	1,00	3,00	0,34	2,73%	0,0267
N8	0,11	0,11	0,14	0,20	0,20	0,33	0,33	1,00	0,23	1,86%	-

Fonte: Do próprio autor

O gráfico 4 mostra o comportamento econômico do critério qualitativo “experiência do termografista” com tendência de propensão e discreto, com o melhor nível de impacto sendo “N1”, pois o decisor é mais afetado em melhorar de um nível de impacto para outro do que piorar.

Gráfico 4 - Experiência do termografista



Fonte: Do próprio autor

A Tabela 12 nos mostra os valores do auto-valor e do coeficiente de racionalidade conforme a Equação 7 e Equação 8.

Tabela 12 – Auto-valor e coeficiente de racionalidade da Matriz de Robertz para o Critério Qualitativo

Auto-Valor	8,79910
Coef. de Racionalidade (CR)	8,0962%

Fonte: Do próprio autor

Os níveis de Impactos relacionados com aos três casos sob estudo foram N8, N3 e N1, respectivamente.

A tabela – 13 mostra os respectivos valores na matriz de desempenho das alternativas dos quatro critérios quantitativos avaliados para os três casos e a semântica relacionado para cada caso no critério qualitativo denominado “experiência do termografista”.

Tabela 13 – Matriz Valor Original

Estudo de Caso					
Matriz de Desempenho das Alternativas					
Aletrnativa Atributo	Aquecimento ↑	DEC ↑	Corrente elétrica ↑	ENS ↑	Experiência do Termografista ↑
CASO 1	185,000	0,266	326,410	26603,540	Equipamento em condições usuais.
CASO 2	310,000	0,279	422,710	35035,650	Equipamento instalado em alimentador com UC cadastrada como "energia elétrica para suporte a vida; Equipamento fora do padrão ou em operação a mais tempo do que seu ciclo de vida.
CASO 3	75,000	0,005	346,580	27549,500	Equipamento instalado em alimentador que atende a hospital; alimentador com UC cadastrada como "energia elétrica para suporte a vida"; Equipamento com histórico relevante de aquecimento ou instalado em local de grande Salinidade; Equipamento fora do padrão ou em operação a mais tempo do que seu ciclo de vida.
mínimo	75,000	0,005	326,410	26603,540	
máximo	310,000	0,279	422,710	35035,650	

Fonte: do próprio Autor

A tabela – 14 mostra os valores da tabela 13 aplicados a matriz indiferença e utilizando a Equação 3 para os critérios quantitativos. O critério qualitativo não tem comportamento indiferente, portanto atribui-se a essa tabela nesse critério os níveis de impacto correspondente para cada caso.

Tabela 14 – Matriz de comportamento indiferente

Matriz de Comportamento Indiferente (K)					
Aletrnativa Atributo	Aquecimento	DEC	Corrente elétrica	ENS	Experiência do Termografista
CASO 1	0,468	0,953	0,000	0,000	N8
CASO 2	1,000	1,000	1,000	1,000	N3
CASO 3	0,000	0,000	0,209	0,112	N1

Fonte: do próprio Autor

A tabela – 15 nos mostra os valores da tabela 14 aplicados a matriz comportamento econômico e utilizando a função valor para os critérios quantitativos, conforme a Equação 4. Já o critério qualitativo denominado “experiência do termografista” possui o comportamento econômico determinado pelo julgamento do decisor, apresentado na Matriz de Roberts.

Tabela 15 - Matriz comportamento econômico

Matriz de Comportamento Econômico					
Aletrnativa Atributo	Aquecimento	DEC	Corrente elétrica	ENS	Experiência do Termografista
Alfa	2	2	2	0	---
CASO 1	0,243	0,895	0,000	0,000	0,000
CASO 2	1,000	1,000	1,000	1,000	0,421
CASO 3	0,000	0,000	0,081	0,112	1,000

Fonte: Do Próprio Autor

A tabela – 16 nos mostra a matriz de Robertz, que obtemos o nível de importância relativa de cada critério, e é aplicado a Equação 5, Equação 6. O trade-off é a normalização em números percentuais.

Tabela 16 - Matriz de Robertz para Importância Relativa

Importância Relativa								
	Aquecimento	DEC	Corrente elétrica	ENS	Experiência do Termografista	Autor-vetor	Normalização	Trade-off
Aquecimento	1,00	3,00	3,00	5,00	0,14	1,45085	0,17441	17,441%
DEC	0,33	1,00	1,00	3,00	0,14	0,67761	0,08146	8,146%
Corrente elétrica	0,33	1,00	1,00	3,00	0,11	0,64439	0,07746	7,746%
ENS	0,20	0,33	0,33	1,00	0,11	0,30096	0,03618	3,618%
Experiência do Termografista	7,00	7,00	9,00	9,00	1,00	5,24489	0,63049	63,049%

Fonte: Do próprio Autor

A Tabela 17 nos mostra os valores do auto-valor e do coeficiente de racionalidade da matriz de Robertz para a importância relativa, conforme a Equação 7 e Equação 8.

Tabela 17 - Auto-valor e coeficiente de racionalidade da Matriz de Robertz para a importância relativa

Auto-Valor	5,37185
Coef. de Racionalidade (CR)	8,3003%

Fonte: Do próprio Autor

A tabela - 18 mostra o resultado de cada caso sob estudo aplicado a matriz valor global, para isso utiliza-se a Equação 9.

Tabela 18 – Matriz Valor Global

Valor Global das Alternativas	
CASO 1	0,115245321
CASO 2	0,634995827
CASO 3	<b>0,640860258</b>

Fonte: Do próprio Autor

A tabela -19 mostra o teste de sensibilidade com a taxa de variação aplicada ao critério de maior impacto, alterando o valor da taxa até modificar o resultado do valor global aplicando a Equação 10, neste caso em -1% sobre o critério experiência do termografista.

Tabela 19 - Matriz Valor Global com Taxa de Variação de 20%

Análise de Sensibilidade					
Taxa de Variação sobre o Atributo de Maior Impacto				-1,000%	
Atributo	Aquecimento	DEC	Corrente elétrica	ENS	Experiência do Termografista
Trade-Off (Original)	17,441%	8,146%	7,746%	3,618%	63,049%
Trade-Off (Modificado)	17,738%	8,285%	7,879%	3,680%	62,419%

Fonte: Do próprio Autor

A tabela – 20 mostra o valor global original e modificado mudando o resultado do caso 3 para o caso 2.

Tabela 20 - Matriz Valor Global com análise de sensibilidade

<b>Valor Global das Alternativas sob Análise de Sensibilidade</b>		
Alternativa	Original	Modificado
CASO 1	0,115245321	0,11721176
CASO 2	0,634995827	<b>0,63864587</b>
CASO 3	<b>0,640860258</b>	0,63473222

Fonte: Do próprio Autor

#### 4.5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

O resultado da avaliação do critério qualitativo denominado “experiência do termografista”, obteve através na matriz de Robertz os níveis de impacto  $N8 = 0,23$ ,  $N3 = 1,91$  e  $N1 = 4,21$  para os casos 1, 2 e 3, respectivamente, que por sua vez a plicado a Equação 3 (quanto maior melhor) assume os valores de 0; 0,421 e 1. Com todos os valores determinados tanto nos critérios quantitativos como no critério qualitativo chegamos ao valor global para os três casos sob estudo. Obtiveram-se os valores de 0,115245321; 0,634995827; e 0,640860258 para os casos 1, 2 e 3, respectivamente.

Com os resultados estabelecidos no valor global fez-se uma análise de sensibilidade, variando percentualmente o critério de maior impacto até modificar o valor global original, nesse caso o valor percentual que modificou o resultado original foi de -1 %. Com essa modificação chegamos nos valores de 0,11721176; 0,63864587 e 0,63473222, respectivamente para os casos 1, 2 e 3, modificando o resultado escolhido do 3 para o 2.

## 5. CONCLUSÃO

Com o decorrer do trabalho de conclusão de curso (TCC), com as teorias e casos práticos descritos no mesmo, chegamos a uma conclusão que já tínhamos intuitivamente, com a prática dos mais de dez (10) anos de termografista, em que a temperatura de aquecimento é um fator muito relevante na decisão da prioridade de manutenção das chaves seccionadoras.

Essa afirmação é verdade quando há uma grande diferença de temperatura de aquecimento entre as chaves seccionadoras a serem avaliadas, porém não seria nada fácil avaliar quando não há essa grande diferença de temperatura. Porém agora, não é somente o aquecimento que é avaliado para a decisão da prioridade de manutenção, temos outros critérios sob avaliação, como corrente elétrica, energia não suprida (ENS), DEC e o critério qualitativo

denominado “experiência do termografista”, esse último com a maior importância relativa entre os critérios.

Depois do presente estudo, temos a comprovação científica pela modelagem multicritério de apoio a decisão que determina a prioridade de manutenção das chaves seccionadoras. Essa metodologia nos proporcionará cientificamente decidir naqueles casos onde não há uma grande diferença de temperatura de aquecimento entre as chaves seccionadoras sob avaliação e também nos demais casos, fazendo com que o nível de importância relativa dos critérios quantitativos DEC, Corrente Elétrica e Energia Não Suprida (ENS), e do critério qualitativo denominado experiência do termografista, pondere e decida pela prioridade de manutenção corretiva da mesma.

A escolha feita pela ferramenta multicritério de apoio à decisão que chegou ao valor global, indicando assim o terceiro caso como a melhor escolha, é robusta até a variação de -1% sob o critério de maior impacto, isso após a análise de sensibilidade. Porém após esse percentual ocorre a mudança da escolha da prioridade de manutenção do caso 3 para o caso 2.

Pela experiência em termografia, fica muito razoável e coerente a escolha do caso , uma vez que a temperatura de aquecimento da chave seccionadora do caso 3 não é muito alta, a intervenção preventiva e prioritária nela, acarretaria na manutenção de sua vida útil, pois a mesma não perderia, com esse aquecimento, suas características elétricas. Mas o fator crucial para essa afirmação é que há uma grande responsabilidade e dependência da energia elétrica no alimentador ao qual está instalada essa chave seccionadora do caso 3, pois tem um hospital como UC desse alimentador. Dessa forma é prudente que se minimize riscos de indisponibilidade de energia, pela avaria de um equipamento com aquecimento, podendo deixar muitas vidas em risco.

A importância de se conhecer os valores máximos admissíveis de aquecimento, principalmente nos contatos e terminais da chave seccionadora e os custos de troca e manutenção das mesmas, dá-se pelo fato que, se há a disponibilidade de equipes para realização da manutenção corretiva, isso pode acarretar em economia para a concessionária. Uma vez que não atingindo os limites máximos de temperatura, não há a necessidade de substituição da chave seccionadora.

Concluimos também que um estudo como esse engrandece, aprimora e refina os conceitos que um bom termografista deve ter para execução de seus trabalhos, isto para que o mesmo não cometa equívoco em suas avaliações, não onerando dessa forma, antecipadamente, o custo de uma manutenção que poderia ser feito mais tarde, ou ainda priorizando erradamente a manutenção em uma chave seccionadora, ao invés da manutenção em outra.

## 6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tempos Médios de Atendimentos.**

Disponível em: <  
[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Tempos\\_medios\\_de\\_atendimento/resultado.cfm](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Tempos_medios_de_atendimento/resultado.cfm)> Acesso em: 13 nov. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Prodist Módulo-8.** Disponível em: <

[http://ww2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Módulo8\\_Revisão\\_6\\_Retificação\\_1.pdf](http://ww2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Módulo8_Revisão_6_Retificação_1.pdf)> Acesso em: 15 mar. 2015.

ALTROCK, C. V. Fuzzy Logic and Neurofuzzy - Applications in Business and Finance.

Prentice Hall: USA, 1995

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520:** Informação e documentação – Citações em Documentos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15572:2013** Informação e documentação – Citações em Documentos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15763:2009** Informação e documentação – Citações em Documentos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15866:2010** Informação e documentação – Citações em Documentos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16292:2014** Informação e documentação – Citações em Documentos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2014.

BEINAT, E. Multiattribute Value Functions for Environmental Management. Amsterdam: Timbergen Institute Research Series, 1995.

Bezerra, Luciete Alves/Usos de Imagens Térmicas em tumores mamários para validação de simulação computacional.

BRASIL. **Decreto nº 8.461**, de 2 de junho de 2015. Regulamenta a prorrogação das concessões de distribuição de energia elétrica. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2015-2018/2015/Decreto/D8461.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Decreto/D8461.htm)>. Acesso em: 19 out.2015.

BRASIL. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Considerações sobre métodos de decisão multicritério. Disponível em: < <http://www.bibl.ita.br/xiencita/Artigos/Mec03.pdf>>. Acesso em: 26 abr.2017

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 32**: Segurança e Saúde no Trabalho em Estabelecimentos de Saúde do MET. 18 nov. 2008. Disponível em: <[http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812C1CBDF2012C224C4E9B5\\_D70/nr\\_32.pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812C1CBDF2012C224C4E9B5_D70/nr_32.pdf)>. Acesso em: 8 ago.2011.

CHRZANOWSKI, K.; “Non-Contact Thermometry – Measurement errors” , SPIE PL, Research and development Treaties, Vol, 7, Warsaw, 2001.

DIAS, L.C.; COSTA, J.P.; CLIMACO, J.N.; Conflicting Criteria, Cooperating Processors – Some experiments on implementing decision support method on a parallel computer. Computers & Operations Research, 1997.

DIVISÃO DE OPERAÇÃO DA MANUTENÇÃO. **Conjunto de Consumidores**. Disponível em: < <http://celnet-antiga/novell/dpop/Dvod/CONJUNTO-DE-CNS-2015.htm>> Acesso em: 10 out. 2015.

DOCUMENTOS. Chaves Seccionadoras de Facas Unipolares. Disponível em: < <http://celnet3/portal/index.php/pesquisa-documentos/documentos-normativos>>

ENSSLIN, LEONARDO; MONTIBELLER-NETO, Gilberto; NORONHA, Sandro M.; 2001. Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas. 1a Edição. Florianópolis: Editora Insular.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER, G. N.; NORONHA, S. M. Apoio à Decisão: Metodologias para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas. Florianópolis: Ed. Insular, p. 187 e 241, 2001.

ENSSLIN, L.; GIFFHORN, E.; ENSSLIN, S. R.; PETRI, S. M.; VIANNA, W. B. Avaliação do desempenho de empresas terceirizadas com o uso da metodologia multicritério de apoio à decisão- construtivista. Revista Pesquisa Operacional, V.30, No. 1, p. 125 – 152, Janeiro a Abril de 2010. Versão impressa ISSN 0101-7438 / versão online ISSN 1678-5142.

FLUKE. Introdução aos princípios da termografia. Ed. ATP, 2009.

GOMES, Carlos Francisco Simões; GOMES, Luiz Flavio Autran Monteiro. Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério. Ed. Atlas. 5º Edição. Rio de Janeiro, 2014.

HERCH MOYSÉS NUSSENZVEIG (1996). Curso de Física Básica. Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor 2 3ª ed. Edgard Blücher [S.l].

HOLST, Gerald C. Common Sense approach to thermal imaging. Winter Park (FL): JCD Publishing, 2000. 377p.

KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. Decision with Multiple Objectives, Preferences and Value Tradeoffs. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

LURDES & JÚLIA LTDA. Sounatura medicina natura e integrativa. Disponível em: <<http://www.sounatura.com/web//index.php?/termografia>>. Acesso em: 20 nov. 2015.

MALDAGUE, XAVIER P.V.; Moore,Patrick./Infrared and Thermal Testing, ASNT, v. 3 2001

Manual do utilizador Série Flir Ex - Minipa.

Disponível em <<http://www.minipa.com.br/Content/Manuais/e4.pdf>>. Acesso em: 7 nov. 2015.

SNELL, J.; SPRING, R. W.; “Developing Operational Protocol for Thermographic Inspection Programs”; SPIE Vol. 1682 1992.

ROY, B. Multicriteria methodology for decision aiding. Netherland: Kluwer Academic Publishers, 1996.

SANTOS, Marco Aurélio da Silva. "Radiação Eletromagnética"; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/radiacao-eletromagnetica.htm>>. Acesso em 15 de novembro de 2017.

Veratti, A. B.; "A Termografia Aplicada à Indústria Petroquímica"; Revista C&I, Pág. 2 a 6, 1981.

## ANEXOS

### DEFINIÇÃO DOS ENVOLVIDOS EM UMA INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA

Para a utilização da termografia nas mais diversas áreas, bem como na área elétrica é necessário o conhecimentos de algumas teorias e conhecimento das funções das funções interna de um termovisor, bem como a busca pela qualificação nos órgãos certificadores, como a ABENDI e INFRA RED TRAINING CENTER. Com tudo, a norma ABNT NBR 15572:13 dá a definição dos envolvidos em uma inspeção termográfica, e dos parâmetros da termografia, onde segue:

- a) 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 obedecem as práticas e normas de segurança (NR 10) e da empresa;
- b) assistente qualificado, pessoa que tem conhecimento sobre a operação do equipamento a ser inspecionado e sobre os requisitos de segurança; e
- c) usuário final, pessoa que assume a responsabilidade por consequências provenientes de ações tomadas, como os resultados obtidos da inspeção e designe um assistente qualificado para acompanhar o termografista.

## DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DA TERMOGRAFIA

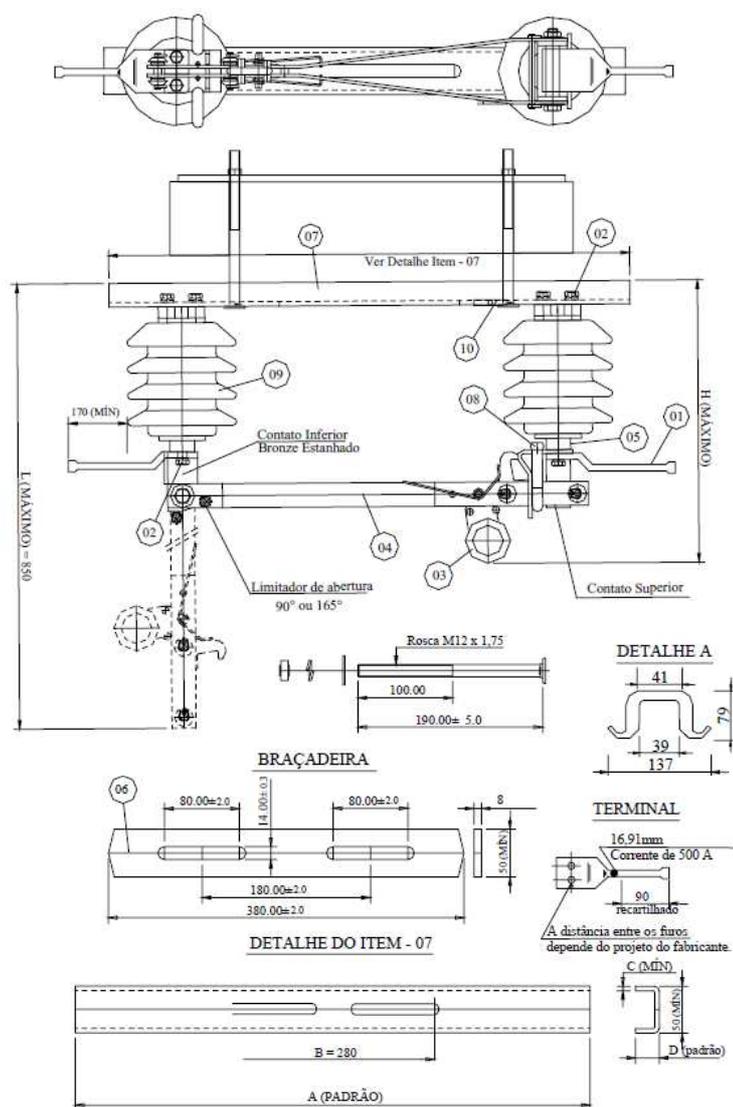
- a) termovisor, Equipamento que transforma em imagem térmica os diferentes níveis de radiação infravermelhos;
- b) emissividade, capacidade que um corpo tem de emitir radiação infravermelha, a uma dada temperatura e comprimento de onda;
- c) corpo negro, Equipamento feito em laboratório que exprime a característica do copo ideal, onde emite toda radiação por ele produzida, emissividade igual a um ( $\epsilon=1$ );
- d) corpo real, na prática a emissividade varia com o comprimento de onda, então seria difícil medir a radiação infravermelha, pois não saberíamos qual valor de emissividade estabelecer, então no corpo real não conseguimos definir exatamente sua emissividade, sabemos que existe porém não mensurável.
- e) corpo cinza, um corpo cinza tem emissividade constante inferior a um ( $\epsilon<1$ ), seria a média da emissividade de um corpo real. Podemos sempre tratar um corpo real como se ele fosse um corpo cinza assim como é feito nos cálculos de temperatura da câmera;
- f) calor, calor é a transferência de energia de uma região para outra, como resultado de uma diferença de temperatura entre elas. Essa energia se origina da agitação das moléculas das quais a matéria é constituída e sua transferência se processa da região mais quente para a mais fria (Holst, 2000);
- g) temperatura, “existe uma grandeza escalar chamada de temperatura, que é uma propriedade de todos os sistemas termodinâmicos em equilíbrio térmico” (Nussenzveig,1996). Ainda nessa mesma linha de considerações, a quantidade que informa quão quente ou frio é um objeto em relação a algum padrão é chamada de temperatura, e uma vez que corpos estejam em equilíbrio térmico (mesma temperatura), sua temperatura não se altera mais, a menos que seja perturbado por um meio externo (HALLIDAY; KRANE; RESNICK, 1996; FLUKE, 2009; OLIVEIRA, 2005).

## CHAVE SECCIONADORA E SEUS COMPONENTES

Conforme a norma NBR 6935, a chave seccionadora é um dispositivo mecânico de manobra capaz de abrir e fechar um circuito elétrico quando uma corrente de intensidade desprezível é interrompida ou restabelecida. Também é capaz de conduzir correntes sob condições normais do circuito e, durante um tempo especificado, correntes sob condições anormais, como curto-circuito.

Devido o estudo de caso ser especificamente em cima de chaves seccionadoras faz-se necessário o conhecimento das partes que representam uma chave seccionadora de redes de distribuição de energia elétrica, conforme figura 7.

A figura-7 mostra em detalhes as partes que compõem uma chave seccionadora.



Fonte: Manual Especial da CELESC E-31300.13

A tabela 22 apresenta a legenda referente aos itens da figura-7, bem como o material empregado em sua fabricação, principalmente nas partes móveis que conduzem a corrente elétrica, fato esse muito relevante para se ponderar o possível aquecimento dos mesmos.

Tabela 21- Componentes da Chave Seccionadora

ITEM	DENOMINAÇÃO	QTD	MATERIAL	OBS
01	Terminais	2	Liga de “cu”	Estanhado
02	Parafusos e Arruelas	8	Zincado	
03	Gatilho da Chave	1	Bronze	
04	Lâmina de Cobre Unipolar	1	“cu” Eletrolítico	
05	Ferragem de Fixação na Porcelana	4	“fe” Fundido Galv.	
06	Braçadeira	1	Aço	Galv. a quente
07	Base (chassi unipolar)	1	Aço	
08	Gancho para Abertura Sob Carga	1	Metal não Ferroso	Galv. a quente
09	Isolador cor Cinza	2	Porcelana/Polimérico	
10	Placa de Identificação	1	Alumínio	Anodizado

Fonte: Manual Especial da CELESC e-31300.13

A Tabela 22 apresenta principalmente a tensão de trabalho da chave seccionadora, como também sua capacidade de condução de corrente elétrica.

Tabela 22 - Chave seccionadora Características Elétricas

Item	Tensão Máx de operação (kV)	Corrente Nominal (A)	Tensão Suportável de impulso atmosférico (crista kV)		Tensão suportável à frequência industrial 1 min (kV)		Corrente suportável nominal de curta duração (kA/s)	Código Celesc
			À terra e entre polos	Entre contatos abertos	À terra e entre polos	Entre contatos abertos		
A	24,2	500	125	140	50	55	12,5	7716
B	36,2	500	150	165	70	77	12,5	7717

Fonte: Manual Especial da CELESC e-31300.13

## CARACTERÍSTICAS DAS CHAVES SECCIONADORAS

As chaves devem ser adequadas para montagem em cruzetas, operáveis por vara de manobra com ou sem equipamento auxiliar para abertura em carga, e devem ser projetadas para trabalhar sob as seguintes condições normais de serviço (Manual Especial, E-31300.13):

- Altitude não superior a 1000 m;
- Temperatura máxima do ar ambiente de 40°C e o valor médio obtido num período de 24 horas, não superior a 35°C;
- Temperatura mínima do ar ambiente não inferior a -5°C; e
- Pressão do vento não superior a 700 Pa (70 daN/m<sup>2</sup>).

## SUAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DEVEM OBEDECER AOS ITENS A SEGUIR:

- a) Lâminas, devem ser de cobre eletrolítico, e quando em lâmina dupla devem ser rigidamente fixadas uma em relação à outra e convenientemente dimensionadas para resistir aos esforços eletromecânicos;
- b) Contatos, devem ser de cobre ou material de características eletromecânicas superiores, com os contatos feitos por pontos ou linhas, de modo a garantir uma alta pressão, autolimpeza, sendo que a ação de varredura não deve provocar abrasão ou arranhadura na superfície dos mesmos. As molas para manter a pressão nos contatos devem ser de bronze-fosforoso ou aço inoxidável. O fabricante deve informar a área do contato principal (lâmina) da chave a ser certificada.
- c) Terminais, devem ser do tipo espada, próprios para conectores cunha, em cobre ou liga de cobre, com formato cilíndrico, estanhados, com espessura mínima de 8 micra para qualquer amostra e 12 micra para a média das amostras. Os terminais espada deverão atender a capacidade de corrente da chave (500A) e ter a mesma bitola do CABO 336,4 CA ( $\varnothing 16,91 \pm 0,3$  mm).

## INSPEÇÃO E RELATÓRIO

Para o desenvolvimento de um relatório e inspeção termográfica, faz-se necessária a observação de alguns itens, desde o conhecimento acadêmico e aplicação das normas existentes, até o desenvolvimento final do produto (relatório de anomalias). Para o desenvolvimento desse relatório, devemos ter como ponto de partida a aplicação das normas brasileiras e, se necessário, as normas internacionais. Como já citadas no item 2.2.1

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

- a) Conhecimentos básicos para a realização da inspeção;
- b) Tipos de termografia; e
- c) Requisitos e formação – A equipe deve ser formada por profissionais com treinamentos específicos e reconhecimento formal por um organismo de

certificações (item 4, ABNT NBR 15572:2013). Além disso, os profissionais envolvidos deverão possuir treinamento em NR 10 Básico e Sistema Elétrico de Potência, conforme determina o Ministério do Trabalho e Emprego.

Para que se tenha uma maior confiabilidade na inspeção, bem como no relatório, é indispensável o conhecimento sobre alguns parâmetros que afetam a medição da temperatura de aquecimento, tais como:

- a) Distância;
- b) Foco;
- c) Faixa de temperatura (Range);
- d) Emissividade – parâmetro adimensional que estabelece a relação entre a quantidade de energia irradiada por um corpo em estudo e a que seria emitida por um corpo negro, à mesma temperatura e comprimento de onda. A emissividade varia entre 0 a 1 (ABNT NBR 15424:2006);
- e) Transmissividade – porção de energia incidente sobre um corpo, que é transmitida por este, em um dado comprimento de onda. Para um corpo opaco, a transmissividade é igual a 0. Materiais transparentes possuem valores de transmissividade entre 0 e 1 (ABNT NBR 15424:2006);
- f) Reflexibilidade – porção de energia incidente sobre uma superfície, que é refletida por esta, em dado comprimento de onda. Para um espelho perfeito, a refletividade é 1, e para um corpo negro é 0 (ABNT NBR 15424:2006);
- g) Temperatura ambiente – temperatura do meio circundante ao objeto (ABNT NBR 15424:2006);
- h) umidade do ar; e
- i) clima.

Dentre esses fatores, o item que mais se destaca é a importância da utilização do valor correto da emissividade.

## PROCEDIMENTO DO TRABALHO

De acordo com a NBR 15572:2013, item 9, em que descreve diversos procedimentos para serem seguidos pelo envolvidos na inspeção, podemos citar (ABNT, 2013):

- a) Preparação dos equipamentos e materiais: câmera termográfica calibrada, termohigroanômetro calibrado, alicate amperímetro, entre outros;
- b) 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; e
- c) Práticas de segurança: observar EPI e zona livre para posicionamento do termografista, realizar uma inspeção visual verificando possíveis anomalias.

## CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE SEVERIDADE

A norma 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:

- a) Um valor estabelecido pelo fabricante nas condições nominais (MTA); Máxima Temperatura Admissível. O objetivo da inspeção termográfica é a detecção de pontos quentes, sobreaquecimento em equipamento que normalmente não apresenta essa diferença de temperatura quando comparados em 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;
- b) Um elemento similar adjacente (DELTA T);
- c) Um valor estabelecido pelo usuário final com base no histórico operacional; e
- d) Critérios definidos pelo responsável técnico da análise termográfica.

A tabela 22 mostra a prioridade com a ação recomendada para o determinado Delta “T” de aquecimento do equipamento, que é a temperatura indicada pelo termovisor menos a temperatura ambiente no momento da inspeção.

Tabela 23 - Critérios para Avaliação da Severidade (Delta T)

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.

A tabela 243 mostra a prioridade com a ação recomendada para a determinada máxima temperatura admissível de um determinado componente de um equipamento. Por exemplo, na linha 2 mostra uma prioridade nível quatro (4), quando a temperatura de uma parte de um determinado equipamento estiver entre 60 a 70 % da máxima temperatura admissível para o mesmo, e mostra a ação recomendada.

Tabela 24 - Critérios para Avaliação da Severidade com MTA

Prioridade	MTA	recomendada
4	> 60% da temperatura máxima até 70%	Medidas corretivas devem ser tomadas na próxima manutenção periódica. As temperaturas obtidas e as condições de serviço do equipamento não colocam em risco a instalação.
3	> 70% da temperatura máxima até 80%	Medidas corretivas necessárias. As temperaturas obtidas e as condições de serviço do equipamento já recomendam alguma atenção.
2	> 80% da temperatura máxima até 100%	Medidas corretivas necessárias o mais rápido possível. As temperaturas obtidas e as condições de serviço do equipamento colocam sérios riscos de incidente a um curto prazo.
1	> temperatura máxima	Medidas corretivas necessárias imediatamente. As temperaturas obtidas e o estado do equipamento indicam risco a qualquer momento.

Fonte: Ensaios termográficos, prof. Gabriel Rodrigues de Souza.

## DEC E FEC

São indicadores de continuidade estabelecidos pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) afim de avaliar constantemente a qualidade do serviço prestado pelas Distribuidoras de Energia Elétrica, bem como definir as multas pela violação dos conjuntos.

“Visando manter a qualidade na prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica, a ANEEL exige que as concessionárias mantenham um padrão de continuidade e, para tal, edita limites para os indicadores coletivos de continuidade, DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), (Prodist, 2015).”

Qualquer interrupção de fornecimento de energia elétrica a consumidores, superior a 3 (três) minutos, deverá ser computada para o cálculo dos indicadores DEC e FEC, excluindo-se apenas as falhas internas às instalações de consumidores e que não provocam interrupções em outros consumidores. Um fato que ocorreu no ano de 2015, tornou ainda mais importante a inspeção termográfica nas redes de distribuição de energia elétrica, trata-se das novas regras de prorrogação da concessão do serviço público de distribuição.

O contrato atual de concessão da CELESC Distribuição e de outras 32 Distribuidoras venceram em 07 de julho de 2015, e as novas regras para prorrogação trazem metas de melhoria dos parâmetros desafiadoras e progressivas. Dois desses parâmetros a serem avaliados e que o estudo desse trabalho pode contribuir em alcançar as novas metas estabelecidas pelo órgão regulador são o DEC e FEC. A importância em alcançar as metas dá-se pelo motivo que violados esses parâmetros dois anos consecutivos, ou ainda qualquer um deles no último ano, ocorre o processo de extinção da concessão de Distribuição de Energia Elétrica. Como explica a Nota Técnica nº 0175/2015-SCT-SFE-SFF-SRD-SRM/ANEEL.