



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**CESAR AUGUSTO PIMENTEL DE ABREU**

**DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO NA PLATAFORMA LABVIEW  
PARA AQUISIÇÃO DE DADOS E CONTROLE DE CÂMERA DE  
INFRAVERMELHO FLIR S-45**

**Recife, 2009**

**CESAR AUGUSTO PIMENTEL DE ABREU**

**DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO NA PLATAFORMA LABVIEW  
PARA AQUISIÇÃO DE DADOS E CONTROLE DE CÂMERA DE  
INFRAVERMELHO FLIR S-45**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA  
À UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
PERNAMBUCO PARA OBTENÇÃO  
DO GRAU DE MESTRE EM  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**Orientadora: Rita de Cássia Fernandes de Lima**

**Co-Orientador: Fábio Santana Magnani**

**Recife, 2009**

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

- A162a Abreu, Cesar Augusto Pimentel de.  
Desenvolvimento de aplicativo na plataforma LABVIEW para aquisição de dados e controle de câmera de infravermelho FLIR S-45 / Cesar Augusto Pimentel de Abreu - Recife: O Autor, 2009.  
96 folhas, il., gráfs., tabs.
- Orientador: Profa. Dra. Rita de Cássia Fernandes de Lima.  
Coorientador: Prof. Dr. Fábio Santana Magnani.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2009.  
Inclui Referências e Glossário.
1. Engenharia Mecânica. 2. Termografia. 3. Infravermelho. 4. Imagem RAW. 5. Imagem digital. 6. LABVIEW®. I. Lima, Rita de Cássia Fernandes de. (Orientadora). II. Magnani, Fábio Santana. (Coorientador). III. Título.
- UFPE  
621 CDD (22. ed.) BCTG/2015-230

**“DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO NA PLATAFORMA LABVIEW  
PARA AQUISIÇÃO DE DADOS E CONTROLE DE CÂMERA DE  
INFRAVERMELHO FLIR”**

**CESAR AUGUSTO PIMENTEL DE ABREU**

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROCESSOS E SISTEMAS TÉRMICOS  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA/CTG/EEP/UFPE**

APROVADO em  
05/03/2009

---

Profa. Dra. RITA DE CÁSSIA FERNANDES DE LIMA  
ORIENTADORA/PRESIDENTE

---

Prof. Dr. FÁBIO SANTANA MAGNANI  
CO-ORIENTADOR

---

Prof. Dr. SEVERINO LEOPOLDINO URTIGA FILHO  
COORDENADOR DO CURSO

BANCA EXAMINADORA:

---

Profa. Dra. RITA DE CÁSSIA FERNANDES DE LIMA (UFPE)

---

Prof. Dr. FÁBIO SANTANA MAGNANI (UFPE)

---

Prof. Dr. PAULO ROBERTO MACIEL LYRA (UFPE)

---

Profa. Dra. AURA CONCI (UFF)

**A todas as pessoas que contribuem diretamente para meu desenvolvimento e formação como ser humano e como profissional.**

## **AGRADECIMENTOS**

**À minha família que tem me dado motivação e incentivo durante toda minha vida, especialmente aos meus pais Cesar e Marfalda que desde que me ensinaram os primeiros passos e a dizer as primeiras palavras nunca deixaram de me apoiar mesmo nos momentos mais difíceis, à minha esposa Mônica.**

**À professora Rita de Cássia Fernandes de Lima pelo incentivo e confiança quando me aceitou como seu orientando e pelo convite para fazer parte do GET.**

**A Eliane pelo convívio e pela solicitude nos assuntos administrativos.**

**Aos professores e funcionários do DEMEC/UFPE, pelo convívio.**

**Ao professor Fábio Santana Magnani, pela paciência e apoio que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho, indicando os caminhos a seguir durante este percurso de desenvolvimento e elaboração desta dissertação.**

**A todos os professores, companheiros de sala de aula, funcionários e amigos, no departamento de Engenharia Mecânica da UFPE, nos estágios, pela contribuição com uma parcela muito importante para que este trabalho fosse realizado, pois não atuaram apenas na formação do estudante, e do profissional, mas principalmente na formação do homem, do ser humano que sou.**

**À FINEP, pela aquisição da câmera de infravermelho.**

## RESUMO

A busca contínua por melhores técnicas de ensaios não-destrutivos aliado ao desenvolvimento de sensores de radiação infravermelha permitiu o avanço de métodos de diagnóstico de maneira menos invasiva auxiliando no diagnóstico preditivo, por meio de câmeras infravermelhas e análise das imagens por ela geradas. Resultados mais precisos com exames não-invasivos levam à redução de tempo e custo na obtenção de diagnósticos. Os avanços no sensoriamento remoto do espectro infravermelho iniciaram-se em meados do Século 19 e foram tímidos até o início do Século 20, quando o advento da Primeira Guerra Mundial permitiu o surgimento de aplicações militares como o uso de armas com sensores a radiação infravermelha. Estas aplicações consistiam em sistemas para sensoriamento remoto de temperatura, detecção e intrusão de inimigos. Na época um sistema de busca no infravermelho tinha uma sensibilidade da ordem de 1,5 km. Posteriormente por ocasião da Segunda Guerra Mundial, a sensibilidade de sistemas infravermelhos melhorou drasticamente permitindo a evolução de conversores de imagens com possibilidade de 'enxergar' no escuro, em faixas do espectro próximo ao infravermelho. Com o passar do tempo estas técnicas foram liberadas para uso civil. A termografia possui uma gama variada de aplicações que vai do diagnóstico de doenças por meio de imagens infravermelhas, possibilitando tratamentos preditivos mais precisos e não-invasivos até aplicações industriais tais como a inspeção de instalações elétricas com intuito de encontrar possíveis pontos de falha evidenciados por diferença de temperatura nas instalações, permitindo realizações de manutenções preditivas evitando falhas ou paradas acidentais. A proposta deste trabalho é desenvolver um aplicativo na plataforma LABVIEW® que permita o gerenciamento da câmera, analisar imagens termográficas já adquiridas e gerar arquivos que contenham os dados de temperatura em cada *pixel* da imagem. As medidas obtidas serão apresentadas através de um sistema que consiga reunir de forma coerente, dados tais como emissividade e temperatura para cálculo posterior de transferência de calor no objeto exibido pela imagem radiométrica. O aplicativo também permite que algumas características possam ser ajustadas pelo usuário do sistema.

**Palavras-chave:** Termografia. Infravermelho. Imagem RAW. Imagem digital. LABVIEW®.

## ABSTRACT

The continuous search for better techniques for nondestructive testing coupled with the development of infrared sensors has enabled the advancement of diagnostic methods in a less invasive way in aiding predictive diagnosis by means of infrared cameras and image analysis it generates. More accurate results with noninvasive tests led to the reduction of time and cost in obtaining diagnoses. Advances in remote sensing infrared spectrum began in the mid 19th century and was modest until the early 20th century, when the advent of World War I allowed the emergence of military applications such as the use of weapons with sensors infrared radiation. These applications consisted of systems for remote temperature sensing, detection and intrusion of enemies. Then an infrared search system had sensitivity of the order of 1.5 km. Later during World War II, the sensitivity of infrared systems has improved dramatically allowing for development of converters images with the possibility of ' seeing ' in the dark, in the near infrared spectrum bands. Over time these techniques were released for civilian use. Thermography has a wide range of applications that will the diagnosis of diseases through infrared images , enabling more accurate and predictive non-invasive treatments to industrial applications such as the inspection of electrical installations in order to find possible points of failure evidenced by difference temperature on the premises , allowing achievement of predictive maintenance avoiding failures or accidental stops . The purpose of this work is to develop an application in LABVIEW ® platform that enables management of the camera, analyzing thermographic images already acquired and generate files containing temperature data in each pixel of the image. The measurements will be presented through a system that can consistently gather data such as emissivity and temperature for subsequent calculation of heat transfer in object displayed by radiometric image. The application also allows some characteristics can be adjusted by the user of the system.

**Keywords:** Thermography. Infrared. RAW image. Digital image. LABVIEW®.

## LISTA DE FIGURAS

|             |   |
|-------------|---|
| Figura 2.1  | Emitância espectral radiante de um corpo negro de acordo com a Lei de Planck. Valores absolutos de temperaturas exibidos. (1) Emitância radiante espectral ( $W/cm^2 \times 10^3(\mu m)$ ). (2) Comprimento de onda ( $\mu m$ ). (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 <i>User’s manual</i> , 2006”). |
| Figura 2.2  | Representação esquemática da câmera FLIR® S-45 (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 <i>User’s manual</i> , 2006”).   |
| Figura 2.3  | Representação esquemática da câmera FLIR® S-45 (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 <i>User’s manual</i> , 2006”).   |
| Figura 2.4  | Representação esquemática da câmera FLIR® S-45 (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 <i>User’s manual</i> , 2006”).   |
| Figura 2.5  | Representação esquemática da câmera FLIR® S-45 (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 <i>User’s manual</i> , 2006”).   |
| Figura 2.6  | Representação esquemática do visor externo da câmera FLIR® S-45 (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 <i>User’s manual</i> , 2006”).  |
| Figura 2.7  | Imagem do visor câmera FLIR® S-45 com exibição de imagens armazenadas no cartão de memória.   |
| Figura 2.8  | Exemplo de imagem infravermelha capturada pela câmera FLIR® S-45 (visualização de uma mão humana).  |
| Figura 2.9  | Exemplo de imagem infravermelha capturada pela câmera FLIR® S-45 (montagem experimental – UFPE).  |
| Figura 2.10 | Exemplo de imagem infravermelha capturada pela câmera FLIR® S-45 (visualização de aparelho de ar-condicionado – UFPE).  |
| Figura 2.11 | Imagem com aplicação de termografia infravermelha para detecção de pontos quentes na rede elétrica básica de distribuição (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 <i>User’s manual</i> , 2006”).  |
| Figura 2.12 | Imagem com aplicação de termografia infravermelha para detecção de pontos quentes em disjuntores (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 <i>User’s manual</i> , 2006”).   |
| Figura 2.13 | Detalhe de imagem com representação de área destacada por ferramenta retângulo e com exibição de dados de temperatura (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 <i>User’s manual</i> , 2006”).  |
| Figura 2.14 | Detalhe de imagem com representação de área por ferramenta ponto de intensidade com exibição de dados de temperatura (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 <i>User’s manual</i> , 2006”).   |

|             |  |
|-------------|--|
| Figura 3.1  | Interface de entrada para o <i>software</i> LABVIEW®.  |
| Figura 3.2  | Imagem da associação entre dois instrumentos virtuais na interface lógica Diagrama de Blocos.  |
| Figura 3.3  | Exemplo de aplicação na interface gráfica: Painel Frontal.   |
| Figura 3.4  | Exemplo de aplicação na interface lógica: Diagrama de Blocos.  |
| Figura 3.5  | Exemplo de conjunto de ferramentas: Painel de Controle.  |
| Figura 3.6  | THERMOVISION TOOLKIT®: Conjunto de Ferramentas para conexão com a câmera.  |
| Figura 3.7  | Conjunto de sistemas utilizados no desenvolvimento do aplicativo.  |
| Figura 3.8  | Passos gerais para criar uma aplicação no LABVIEW®.  |
| Figura 3.9  | Descrição de processos para aquisição e tratamento de imagem.  |
| Figura 3.10 | Exemplo de instrumento virtual com conector para análise de imagem (Adaptado de “National Instruments® LABVIEW® <i>User manual</i> , 2003”).       |
| Figura 3.11 | Exemplo de instrumento virtual com conector para máscaras de imagem (Adaptado de “National Instruments® LABVIEW® <i>User manual</i> , 2003”).      |
| Figura 3.12 | Exemplo de instrumento virtual com conector para preenchimento de imagem (Adaptado de “National Instruments® LABVIEW® <i>User manual</i> , 2003”). |
| Figura 3.13 | Exemplo de instrumento virtual com conector para processamento de imagem (Adaptado de “National Instruments® LABVIEW® <i>User manual</i> , 2003”). |
| Figura 3.14 | Exemplo de instrumento virtual com conector processamento de imagem (Adaptado de “National Instruments® LABVIEW® <i>User manual</i> , 2003”).      |
| Figura 4.1  | Divisão funcional do aplicativo agrupado por funcionalidades.  |
| Figura 4.2  | Fluxograma de informações para funcionamento do módulo de exibição de imagens do aplicativo desenvolvido em LABVIEW®.                              |
| Figura 4.3  | Fluxograma de informações para funcionamento do módulo de recuperação de imagens do aplicativo desenvolvido em LABVIEW®.                           |
| Figura 4.4  | Exemplo de processamento para uma função polimórfica.  |
| Figura 5.1  | Amostra de madeira utilizada no experimento.   |
| Figura 5.2  | Amostra de isopor utilizada no experimento.  |
| Figura 5.3  | Amostra de cerâmica utilizada no experimento.  |
| Figura 5.4  | Detalhes dos equipamentos utilizados nas medições de temperatura.  |

|             |   |
|-------------|---|
| Figura 5.5  | Detalhes dos equipamentos utilizados nas medições de temperatura.                               |
| Figura 5.6  | Visão geral dos equipamentos e ferramentas utilizados nas medições.                             |
| Figura 5.7  | Gerador de corpo negro Omega BB701.   |
| Figura 5.8  | Interface de configuração dos parâmetros na câmera FLIR® S-45.                                  |
| Figura 5.9  | Imagem termográfica do gerador de corpo negro. Temperatura de referência 50°C.                  |
| Figura 5.10 | Amostra de isopor e fita tipo 01.   |
| Figura 5.11 | Amostra de isopor e fita tipo 03.   |
| Figura 5.12 | Interface de ajuste de parâmetros do objeto na câmera FLIR® S-45.                               |
| Figura 5.13 | Interface de ajuste de emissividade na câmera FLIR® S-45.                                       |
| Figura 5.14 | Interface de ajuste de parâmetros do ambiente na câmera FLIR® S-45.                             |
| Figura 5.15 | Tela da interface gráfica do usuário (módulo de exibição de imagens).                           |
| Figura 5.16 | Tela da interface de associação lógica (módulo de exibição de imagens).                         |
| Figura 5.17 | Tela da interface gráfica do usuário (módulo de recuperação de imagens).                        |
| Figura 5.18 | Tela da interface de associação lógica (módulo de recuperação de imagens).                      |
| Figura 5.19 | Matriz de temperaturas encontrada de imagem do gerador (aplicativo em LABVIEW®).                |
| Figura 5.20 | Matriz de temperaturas encontrada de imagem do gerador (software FLIR® <i>QuickReport</i> 1.2). |
| Figura 5.21 | Gráfico de imagem termográfica com o aplicativo desenvolvido.                                   |
| Figura 5.22 | Gráfico de imagem termográfica com o <i>software</i> FLIR® <i>QuickReport</i> 1.2.              |
| Figura 5.23 | Análise de imagem termográfica com o <i>software</i> FLIR® <i>QuickReport</i> 1.2.              |
| Figura 5.24 | Imagem termográfica com linhas de temperatura ( <i>software</i> FLIR® <i>QuickReport</i> 1.2).  |
| Figura 5.25 | Gráfico de imagem termográfica com o <i>software</i> FLIR® <i>QuickReport</i> 1.2.              |
| Figura 5.26 | Gráfico de imagem termográfica com o <i>software</i> FLIR® <i>QuickReport</i> 1.2.              |
| Figura 5.27 | Análise de imagem termográfica (aplicativo em LABVIEW®).  |
| Figura 5.28 | Instruções de funcionamento do aplicativo em LABVIEW®.  |
| Figura 5.29 | Detalhe de caminho para salvamento do arquivo de matriz de temperaturas.                        |

|             |   |
|-------------|---|
| Figura 5.30 | Matriz de temperaturas gerada pelo aplicativo LABVIEW®. |
| Figura 5.31 | Matriz gerada com o aplicativo desenvolvido (detalhe).  |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|             |  |
|-------------|--|
| Bi          | Número de Biot   |
| C           | Calor específico (J/kg. K)   |
| $C_{pf}$    | Calor específico do fluido de trabalho (J/kg. K)   |
| c           | Velocidade da luz (m/s)  |
| $\lambda$   | Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )  |
| $c_0$       | Velocidade da luz no vácuo ( $\text{m/s}^2$ )  |
| n           | Índice de refração do meio onde a luz se propaga   |
| $E_\lambda$ | Poder emissivo espectral de um corpo negro ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{m}$ ).            |
| T           | Temperatura absoluta do corpo (K)  |
| h           | Constante de Planck ( $6,6 \times 10^{-34}$ J.s)   |
| E           | Emissão total do corpo negro (W)   |
| $\sigma$    | Constante de Stefan - Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8}$ $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ). |
| T           | Temperatura absoluta (K)   |
| A           | Área superfície externa do objeto ( $\text{m}^2$ )                                       |
| E           | Energia de um fóton (J)  |

## SUMÁRIO

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>15</b> |
| <b>1.1</b>   | <b>MOTIVAÇÃO .....</b>   | <b>15</b> |
| <b>1.2</b>   | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>   | <b>16</b> |
| <b>1.3</b>   | <b>JUSTIFICATIVA.....</b>  | <b>21</b> |
| <b>1.4</b>   | <b>OBJETIVOS.....</b>  | <b>21</b> |
| <b>2</b>     | <b>TEORIA DO INFRAVERMELHO .....</b>   | <b>22</b> |
| <b>2.1</b>   | <b>TEORIA DA RADIAÇÃO.....</b>   | <b>22</b> |
| <b>2.2</b>   | <b>TEORIA DA RADIAÇÃO INFRAVERMELHA.....</b>   | <b>24</b> |
| <b>2.3</b>   | <b>DESCRIÇÃO DA CÂMERA DE INFRAVERMELHO.....</b>   | <b>28</b> |
| <b>2.4</b>   | <b>IMAGENS TERMOGRÁFICAS .....</b>   | <b>33</b> |
| <b>2.5</b>   | <b>APLICAÇÕES USUAIS .....</b>   | <b>37</b> |
| <b>2.6</b>   | <b>INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES .....</b>  | <b>38</b> |
| <b>3</b>     | <b>LABVIEW E SUAS CARACTERÍSTICAS.....</b>   | <b>40</b> |
| <b>3.1</b>   | <b>DESCRIÇÃO GERAL DO APLICATIVO DESENVOLVIDO .....</b>  | <b>40</b> |
| <b>3.2</b>   | <b>USO DO LABVIEW® NA GERAÇÃO DE IMAGENS .....</b>   | <b>43</b> |
| <b>3.3</b>   | <b>USO DO LABVIEW® COM IMAGENS INFRAVERMELHAS.....</b>   | <b>46</b> |
| <b>4</b>     | <b>DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL EM PLATAFORMA<br/>LABVIEW® .....</b>  | <b>54</b> |
| <b>4.1</b>   | <b>DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA.....</b>  | <b>54</b> |
| <b>4.1.1</b> | <b>MÓDULO EXIBIÇÃO DE IMAGENS – INSTRUMENTOS VIRTUAIS UTILIZADOS..</b>   | <b>55</b> |
| <b>4.1.2</b> | <b>MÓDULO EXIBIÇÃO DE IMAGENS – FLUXO DE INFORMAÇÕES.....</b>  | <b>57</b> |
| <b>4.1.3</b> | <b>MÓDULO EXIBIÇÃO DE IMAGENS – DETALHAMENTO .....</b>   | <b>58</b> |
| <b>4.1.4</b> | <b>MÓDULO RECUPERAÇÃO DE IMAGENS - INSTRUMENTOS VIRTUAIS<br/>UTILIZADOS.....</b>   | <b>59</b> |
| <b>4.1.5</b> | <b>MÓDULO RECUPERAÇÃO DE IMAGENS – FLUXO DE INFORMAÇÕES.....</b>   | <b>61</b> |
| <b>4.1.6</b> | <b>MÓDULO RECUPERAÇÃO DE IMAGENS – DETALHAMENTO.....</b>   | <b>62</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>LINGUAGEM UTILIZADA.....</b>  | <b>63</b> |
| <b>5</b>     | <b>APLICAÇÃO EXPERIMENTAL DO APLICATIVO E SEUS RESULTADOS .....</b>  | <b>65</b> |
| <b>5.1</b>   | <b>METODOLOGIA DESENVOLVIDA .....</b>  | <b>65</b> |
| <b>5.2</b>   | <b>SELEÇÃO DE PARÂMETROS NA CÂMERA DE INFRAVERMELHO .....</b>  | <b>73</b> |
| <b>5.3</b>   | <b>ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO<br/>SOFTWARE FLIR® QUICKREPORT 1.2 VERSUS APLICATIVO DESENVOLVIDO NO<br/>LABVIEW® .....</b> | <b>75</b> |
| <b>5.3.1</b> | <b>ANÁLISE DAS IMAGENS TERMOGRÁFICAS DO GERADOR DE RADIAÇÃO .....</b>  | <b>79</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>5.3.2 RESULTADOS OBTIDOS COM APLICATIVO DESENVOLVIDO EM APLICAÇÕES NA ÁREA MÉDICA .....</b> | <b>83</b> |
| <b>6 CONCLUSÕES .....</b>  | <b>91</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>93</b> |
| <b>GLOSSÁRIO SOBRE TERMOGRAFIA .....</b>   | <b>95</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Como o olho humano consegue perceber radiações emitidas por corpos apenas quando estes possuem temperaturas acima de 650°C, a captura e visualização de imagens térmicas de objetos tornou-se uma ferramenta importante na detecção precoce de falhas. Existem dois tipos de termografia: a ativa e a passiva. Na ativa o objeto a ser estudado é aquecido artificialmente e os termogramas são realizados no período de resfriamento do objeto. É possível, desta forma, analisar o comportamento térmico do objeto durante o resfriamento a partir da aquisição de distribuições de temperatura da superfície e identificar a presença de anomalias existentes, caso sejam detectadas perturbações nessas distribuições. Devido às características de baixa precisão e de grande sensibilidade as imagens térmicas são geralmente usadas em análises qualitativas.

O Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC) da UFPE possui uma câmera de infravermelho da FLIR® *Systems* modelo S-45, adquirida em janeiro de 2005 através do Edital FINEP CT-Infra/2003. É curioso observar que por causa de restrições relacionadas a aplicações militares, a aquisição de equipamentos que utilizam imagens térmicas necessita de autorização da secretaria de defesa do governo norte-americano.

No DEMEC/UFPE a termografia tem sido utilizada em trabalhos realizados em indústrias, como, por exemplo, na simulação e na análise energética de um forno de reaquecimento de tarugos da Gerdau S.A. O desenvolvimento dos trabalhos do Grupo de Engenharia Térmica (GET) do DEMEC vem fazendo uso da termografia na análise energética quantitativa no setor industrial da região (Magnani et al. , 2005), ampliando assim o campo de aplicação que antes estava concentrado em manutenção preditiva de instalações elétricas. A técnica também está sendo usada em projeto em desenvolvimento no Ambulatório de Mastologia do Hospital das Clínicas da UFPE, que tem como objetivo analisar a viabilidade do uso desta tecnologia na detecção do câncer de mama em clima tropical (Lima et al., 2005). Além disto, os termogramas adquiridos assim estão sendo usados no momento presente para validar valores de temperaturas calculadas através de simulação computacional. Num futuro breve, as imagens serão usadas também para reconstrução da geometria tridimensional das mamas e, esta forma real passará a ser usada nas simulações numéricas (Guimarães et al. 2003).

A câmera de infravermelho utiliza *softwares* próprios para aquisição, exibição e análise de imagens geradas a partir do equipamento. Esses *softwares* são distribuídos pelos fabricantes do dispositivo citado.

Normalmente estes *softwares* possuem interface gráfica, com inclusão de funcionalidades básicas de captura e análise de dados. Porém não fornecem ao usuário flexibilidade para modificação de parâmetros que permitam uma análise mais apurada da imagem infravermelha. Também não oferecem possibilidade de qualquer desenvolvimento adicional, como incremento de funcionalidades e de suporte. Além da dificuldade e da limitação de operação com *softwares* comerciais de código-fonte fechado, cita-se como obstáculo adicional o fato de que qualquer manipulação de imagem infravermelha, que não seja através do *software* fornecido pelo fabricante, implica em perda de dados referentes à temperatura. Tal fato inviabiliza manipulação posterior, mesmo que os padrões de compressão das imagens geradas sejam os usuais da indústria de *software*.

Para contornar as dificuldades mencionadas, optou-se em desenvolver um aplicativo na plataforma LABVIEW® (<http://www.ni.com/>), que é um *software* para instrumentação virtual produzido pela NATIONAL INSTRUMENTS®. Este *software* constitui-se em uma plataforma de desenvolvimento, com aplicações em diversas áreas do conhecimento, desde que os dados a serem analisados possam ser quantificados e sistematizados.

Junto com a compra da câmera foi fornecido um conjunto de ferramentas computacionais de autoria do próprio fabricante do equipamento, FLIR® e com base no pacote computacional LABVIEW® denominado THERMOVISION TOOLKIT® contendo ferramentas denominadas Instrumentos Virtuais (*Vis* ou *Virtual Instruments*) e que permitem a visualização e o recolhimento de dados intrínsecos às imagens geradas pela câmera de infravermelho (NATIONAL INSTRUMENTS®, 2003) (NATIONAL INSTRUMENTS®, 2005) (NATIONAL INSTRUMENTS®, 2006).

Ferramentas nativas adicionais do *software* LABVIEW®, tais como os módulos IMAQ (*Image Acquisition*) e Vision® permitem também estabelecer conexão com o equipamento, bem como recuperar imagens para análises qualitativas posteriores. Dentro do estudo desenvolvido no âmbito do GET, procurou-se validar os dados obtidos com auxílio do LABVIEW® através de resultados obtidos com auxílio de medidas efetuadas em aplicações práticas. Um dos *softwares* fornecidos com o equipamento é aquele denominado *ThermaCAM QuickView*®, que permite visualização das imagens em formato infravermelho, preservando as informações de temperatura e emissividade geradas na câmera infravermelho. Com auxílio de ferramentas intrínsecas, tais como a *ROI (Region of Interest)* é possível a visualização de dados referentes à temperatura, numa área da figura selecionada pelo usuário.

## 1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A bibliografia acerca da termografia e de suas aplicações, é bastante restrita. Aplicações com uso de geração de imagens termográficas podem também ser descritas como técnicas de análise não-destrutivas. Considerando as atuais técnicas clássicas e térmicas não destrutivas a termografia é inovadora neste campo do conhecimento (Omar et al., 2006).

É possível citar a utilização de técnicas não destrutivas para inspeção de danos em revestimentos e detecção de laminações, podendo também ser utilizada em inspeções para predição de defeitos de geometrias e de locação em juntas adesivas soldadas pontualmente. Porém pelo fato de ser uma técnica nova, muitos trabalhos experimentais são efetuados em diversos campos, como medição da distribuição de temperatura em moldes plásticos após a abertura dos mesmos. A técnica ajuda a explicar o que acontece durante a fase de resfriamento e a sua correlação com a qualidade final dos produtos gerados. Por causa da incerteza apresentada pelos coeficientes utilizados na representação dos mecanismos de transferência de calor, a termografia infravermelha se apresenta como uma técnica capaz de efetuar o mapeamento térmico histórico de partes moldadas preenchidas, durante os diferentes estágios do processo de resfriamento.

A medição de temperatura através de uma câmera de infravermelho (AGEMA ThermaCam SC2000) é uma técnica de amostragem sem contato (Gonzalez et al., 2005). Logo a temperatura obtida através de medidas não é afetada por esta técnica. É possível observar o nível de temperatura e sua distribuição na superfície em estudo. Os dados obtidos são armazenados em um disco rígido, com as seguintes características técnicas: 68 linhas x 272 colunas e frequência de 30hz. Antes de medir a distribuição de temperatura no interior da cavidade do molde, com auxílio da câmera de infravermelho, a área interna de interesse foi pintada com uma textura preta de alta emissividade, de maneira a aumentar a emissividade do molde. Os resultados mostraram o potencial da termografia infravermelha para detectar características dos materiais e falhas no processo. A distribuição de temperatura pode localizar os pequenos intervalos correspondentes aos limites de partes (temperatura mínima) e posteriormente indicar onde o resfriamento do molde é ineficiente (Bendada et al., 2005).

Outros exemplos de aplicações das técnicas termográficas não destrutivas podem ser experimentados em campos como a indústria ferroviária (Clark et al., 2002) como melhor método de investigação para trilhos de ferrovias. O principal experimento foi a comparação

de resultados obtidos com auxílio de imagens termográficas entre dois trilhos, sendo que um deles aquecido previamente. A maioria dos materiais existentes absorve radiação infravermelha em um espectro abrangente, causando um aumento de temperatura. Uma imagem térmica pode ser utilizada para converter padrões de radiação produzidos por emissão infravermelha, que é invisível a olho nu em uma imagem visual (Avdelidis et al., 2003).

A termografia constitui-se em um excelente método para determinação qualitativa de temperaturas superficiais, porém medidas de temperatura absoluta podem ser inexatas (Clark et al., 2002). É possível citar também como a termografia infravermelha pode ser uma técnica valiosa em casos onde a fonte de calor na superfície está disponível. Os métodos utilizados são não-destrutivos e não-invasivos podendo apresentar um excelente custo - benefício. (Clark et al., 2002) explora uma gama grande de aplicações e de maneira particular, as investigações estruturais. Além do fato de ser não invasiva e não destrutiva a técnica da termografia possui como vantagem ser aplicada sem a necessidade de intervenção direta da área ou desligamento do equipamento objeto da inspeção e análise, influenciando assim na determinação de custo. Adicionalmente, não basta apenas ao engenheiro que se dedique à análise e ao manuseio correto do equipamento utilizado na termografia. É necessário que possua conhecimento dos tipos de materiais a serem inspecionados, bem como fatores relacionados com o meio ambiente. Existem situações que podem atuar como fator limitante para aplicações termográficas (FLIR® THERMACAM® S-45 *USER'S MANUAL*, 2006) tais como ventos fortes, que podem reduzir a eficiência da análise, devido aos efeitos de quedas abruptas de temperaturas superficiais. Como todos os corpos emitem radiação eletromagnética acima do zero absoluto, a termografia analisa radiação na parte térmica do espectro infravermelho, 3-5  $\mu\text{m}$  e 8-14  $\mu\text{m}$  (Ziegler et al., 2002).

A seguir são apresentadas três condições para que a termografia tenha real utilidade:

1. Fonte de calor (ou de resfriamento) - quando um determinado objeto em sua profundidade possui uma região mais quente ou mais fria do que em sua superfície;
2. Gradiente Térmico - caso exista um gradiente térmico estável através de um elemento de uma estrutura, não havendo variação significativa na condutividade térmica dos elementos, então a temperatura da superfície aquecida deve ser constante e de maneira similar para a face resfriada. Omissões sobre o tipo de material ou danos no material examinado levam à variação na condutividade que são denotadas por flutuações de temperatura de superfície;
3. Aquecimento Induzido - Aplicação de uma fonte de calor (quente ou fria), em um corpo provocará aquecimento a diferentes taxas e para diferenciar as temperaturas de superfície de acordo com a resistência térmica. A possibilidade de defeitos existentes no interior pode ser investigada.

Com a ajuda de *softwares* apropriados e parâmetros fornecidos tais como temperatura ambiente, umidade, distância do alvo e emissividade, os aparelhos modernos podem detectar as variações de temperatura de maneira qualitativa e quantitativa. Quando a superfície está em exposição direta à luz solar com comprimentos de onda pequenos é possível a obtenção de resultados satisfatórios. Apesar de algumas publicações frisarem a necessidade de condições ambiente estabelecidas estritamente de forma a evitar falseamento de resultados, alguém com relativa prática, podem conseguir resultados satisfatórios, desconsiderando os aspectos citados, tais como a exposição à luz solar. O uso da termografia para obtenção de resistências térmicas em estruturas não é recomendado, como resultado de uma soma de fatores que interferem, tais como janelas, portas, bem como condições atmosféricas adversas. Porém a obtenção de imagens por meio de câmeras térmicas pode ser útil para detectar variações de

diferença de potencial ou experimentos de conservação de energia. Como exemplo prático de aplicação da termografia é possível citar a inspeção para verificação de danos estruturais em um duto. A inspeção tradicional poderia ser mais cara e perigosa, e através da termografia é possível localizar com precisão um ponto de falha e/ou vazamento diminuindo o tamanho de uma possível intervenção para reparo.

Apesar de a obtenção de imagens através da termografia serem um evento relativamente fácil, é preciso experiência para poder interpretar de maneira correta as informações contidas nas imagens geradas pelas câmeras termográficas. (Titman et al. 2001).

No domínio de geração de imagens infravermelhas é possível citar trabalhos como a reconstrução e o espectro de desempenho em sistemas de geração de imagens da FLIR® Systems. A restauração de imagens oriundas de equipamentos infravermelhos tem a possibilidade de melhorar significativamente a qualidade do material em pauta. Este trabalho descreve técnicas para derivar pequenos filtros cujos *kernels* (máscara que define o filtro) efetuam trabalho de reconstrução e otimização das citadas imagens. Estes filtros tentam manter a originalidade das imagens, considerando um intervalo de frequências mais restrito.

Em sistemas FLIR (*Image restoration of forward-looking infrared*) (Reichenbach et al., 1997) o desempenho está ligado à aquisição da imagem desejada, incluindo detecção, classificação, reconhecimento e identificação pelo olho humano ou por dispositivo de reconhecimento automático. A distância entre o alvo e observador da imagem é fundamental para uma medida correta. Porém a aquisição de imagens leva a degradações. O objetivo da restauração é recuperar a imagem adquirida originalmente com a remoção de tais degradações. Sabe-se que imagem obtida a partir de sistemas FLIR (Reichenbach et al., 1997) sofre com interferências oriundas da atmosfera, lentes e detectores de calor (FLIR® THERMACAM® S-45 *USER'S MANUAL*, 2006). Mais recentemente descobriu-se que amostragem e reconstrução têm importância fundamental na qualidade da imagem final adquirida para sistemas digitais devendo ser efetuada por métodos de restauração. O número de pontos a serem determinados para análise de uma imagem é um dos critérios mais difíceis de serem dimensionados. Em um determinado sistema de imagens para configuração tal número é inversamente proporcional ao intervalo de frequências considerado. Para um determinado campo de visão disponível a densidade da amostra é determinada pela tecnologia e pelo custo disponível.

O processo digital de geração de imagens consiste em três fases:

1. Aquisição de Imagens - o dispositivo para aquisição de imagens digitais converte o campo de radiação contínua associado com uma cena que é identificada e quantificada;
2. Processamento Digital - um filtro digital é aplicado à imagem para gerar uma imagem modificada;
3. Reconstrução Pós-Filtragem - o processamento analógico e/ou digital corresponde a uma representação espacial contínua.

O filtro citado é elaborado por uma convolução discreta em que entrada e saída do filtro são imagens digitais. O filtro restaura a imagem através de correções sistêmicas de degradações e efetua interpolações entre pixels. Esses valores auxiliam na reconstrução da imagem. Em um sistema típico, o efeito visual consegue aumento a nitidez e claridade. O vínculo existente entre as imperfeições de uma imagem e o reconhecimento eficaz de um determinado alvo ainda não é bem conhecido. Uma forma alternativa eficiente de filtragem é medir sua eficiência em recuperar a chamada imagem 'ideal'. O filtro ideal não apenas reconstrói valores como busca reconstruir a imagem ideal no espaço contínuo. Um filtro tido como 'perfeito' vai render uma projeção ideal da cena para o observador humano. Para avaliar

um determinado filtro, é necessário comparar a saída com o campo de radiação da imagem. O alcance é a principal característica que define a qualidade de uma imagem. A identificação tende a ser mais fácil e precisa à medida que o alcance é pequeno. Adicionalmente imagens capturadas a pequena distância se aproximam mais do ideal, devido a uma menor influência de borramento e interferência no nível do pixel.

Basicamente as aplicações estão divididas em duas grandes áreas do conhecimento: aplicações ligadas à Engenharia e aplicações na Medicina.

As aplicações de engenharia envolvendo imagens térmicas podem ser utilizadas em processo onde é necessário um acompanhamento do aquecimento ou resfriamento de processos e/ou equipamentos. Também podem ser utilizadas para analisar a integridade de isolamentos térmicos de tubulações. Normalmente, em países de clima temperado a termografia pode ser utilizada para detectar infiltrações em edificações com condicionamento de ar por causa da grande diferença de temperaturas entre o interior (24°C) e o exterior (< 5°C). Porém em países tropicais essa diferença pode ser pequena e pode não justificar o uso da termografia para tal fim. (Magnani et al., 2005) apresentaram uma imagem térmica de uma câmara frigorífica com uma fresta quase invisível entre uma porta e uma parede. Apesar de a câmara estar num país tropical, o termograma do equipamento permitiu a visualização da entrada de calor através da fresta, porque a diferença de temperatura entre o ambiente interior e o exterior é grande.

Em instalações elétricas, um dispositivo desgastado ou com problemas no funcionamento pode provocar a interrupção do circuito de uma instalação. O início do processo de desgaste é marcado pelo aumento de temperatura do dispositivo. A realização de imagens térmicas periódicas em instalações elétricas pode fazer parte de programas de manutenção preditiva e preventiva evitando paradas não programadas de circuitos elétricos.

(Da Silva et al. 2006) apresentaram um exemplo de ensaio não-destrutivo para identificar pontos aquecidos anormalmente. O dispositivo com anomalia deve ter sua troca programada, porque apresenta uma temperatura mais elevada do que os demais. Essa aplicação da termografia é bastante utilizada no Brasil por empresas geradoras e distribuidoras de energia elétrica e em instalações onde uma parada inesperada pode causar grandes prejuízos financeiros. É usada também como elemento redutor de valores de seguro em instalações de grandes empresas, uma vez que é capaz de detectar defeitos precocemente, diminuindo riscos de sinistros. Inspeções termográficas em instalações industriais podem muito úteis na detecção precoce de avarias. A partir de imagens térmicas podem ser detectados problemas em dispositivos e em equipamentos através de um aquecimento anormal dos mesmos. (Magnani et al., 2006) apresentaram um relatório de inspeção termográfica de uma caldeira.

Na medicina, a termografia também pode ser utilizada para medir a distribuição de temperatura na pele de um paciente. A vantagem de sua utilização na área médica é de ser uma análise não invasiva e de não usar radiações ionizantes para a identificação de algumas doenças e um estudo acerca da possibilidade de detecção de diferentes patologias através de imagens térmicas. O organismo humano controla a transferência de calor para o ambiente através de termo regulação, contraindo ou dilatando vasos que alteram a irrigação da pele. Esse órgão tem a sua circulação dependente do sistema nervoso autônomo. Alterações na temperatura corporal têm forte relação com doenças. Enquanto exames como raios-x ou ultrassom fazem uma análise da anatomia de determinada região do organismo, a termografia permite uma análise fisiológica. Doenças vasculares, distúrbios da tireoide, tendinites e nódulos mamários são patologias que alteram a perfusão sanguínea de uma região da pele e podem ser detectadas através de termogramas. Na UFPE, uma equipe multidisciplinar, envolvendo, pesquisadores do DEMEC-UFPE e médicos do Hospital das Clínicas – UFPE segue desenvolvendo projeto relacionado com a temática descrita. Foram realizados vários

termogramas que mostraram as regiões do equipamento com aquecimento anormal. Comparando-se uma imagem térmica e uma imagem óptica percebe-se que não é possível identificar nenhuma anomalia superficial indicando problemas nesta última.

Alguns cuidados devem ser tomados quando da realização de inspeção termográfica numa indústria:

- Verificação de horários de funcionamento dos equipamentos que serão inspecionados;
- Conhecimento do processo a ser analisado;
- Ajuste da faixa de temperatura da câmera infravermelho para os níveis esperados.

Quanto maior for o número de informações, mais precisas serão as temperaturas informadas pela câmera de infravermelho e maior será o conhecimento das condições do ambiente que envolve o equipamento estudado. O desenvolvimento de aplicações para termografia é bastante recente e os principais avanços neste campo do conhecimento têm sido proporcionados em grande parte por fabricantes de equipamentos que utilizam sensores infravermelhos. Equipamentos que dispõem desta tecnologia possuem tecnologia sofisticada e com custo alto. Além disso, há restrições legais e exigências burocráticas de países que abrigam os maiores fabricantes de equipamentos do setor com intuito a restringir ainda mais o acesso a este tipo de tecnologia, devido à sua possível utilização para fins militares. Como consequência, os *softwares* para controle de equipamentos e análises de imagens são em quase sua totalidade proprietários e possuem código-fonte fechado, dificultando bastante a popularização e o surgimento de iniciativas para aprimoramento deste tipo de tecnologia.

Apesar de as imagens geradas por tais equipamentos serem denotadas com extensões de formato de imagens padrão aos existentes no mercado (Ex: *JPEG, RAW, TIFF, BMP...*) as interfaces gráficas na camada de aplicação ao usuário, ora possuem funcionalidades básicas superficiais comuns não atendendo à necessidade de análises qualitativas mais apuradas, ora não permitem ou restringem severamente a quantidade de informação liberada para manipulação junto com a imagem termográfica. Tais *softwares* não permitem uma análise posterior mais detalhada ou diferenciada da imagem termográfica adquirida.

Outro fator importante a se destacar, se refere ao custo envolvido para iniciar qualquer atividade de pesquisa com auxílio de equipamento com tecnologia infravermelho, pois além do elevado custo de aquisição do equipamento a ser utilizado, computando custos de importação, é preciso levar em conta despesas com manutenção de licenças de *software* e consequente suporte para tecnologia proprietária, caso haja suporte do respectivo fabricante do equipamento. Nesse sentido iniciativas vêm sendo empreendidas no sentido de padronizar uma linguagem para plataforma LABVIEW®, um *software* base para desenvolvimento de aplicações com interface gráfica e controle de equipamentos. A linguagem proposta para padronização é chamada provisoriamente *G* e a comunidade virtual intitulada tem o intuito de criar regras para padronização de *scripts* de programação atualmente utilizados com a plataforma LABVIEW® e que possam ser utilizados em qualquer desenvolvimento que utilize como base o referido *software*. Mais informações podem conseguidas através de endereço na internet denominado *SourceForge* ([www.sourceforge.net](http://www.sourceforge.net)) (acessado em 14-01-2008) ou no seguinte endereço: *OpenG.org* ([www.openg.org](http://www.openg.org)).

Especificamente, no caso de aplicações para equipamentos de geração de imagens em infravermelho, a disponibilidade de produtos finais prontos, assim como implementações de funcionalidades, e até mesmo manuais com exemplos de códigos para melhorias determinadas conhecidas como componentização, são praticamente inexistentes.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento desta aplicação advém da necessidade de serem obtidos dados de temperatura precisos para apoio em análises qualitativas das imagens capturadas pela câmera de infravermelho. Cada fabricante de equipamento com tecnologia infravermelha em geração de imagens busca desenvolver *softwares* proprietários, mesmo que atendendo a padrões internacionais em relação às questões sobre arquivos de imagens gerados pelo equipamento. Por esta razão, sempre que se necessita uma funcionalidade determinada para auxílio na análise de imagens infravermelhas, é necessário se recorrer à utilização do *software* fornecido pelo fabricante. A maior dificuldade é a limitação do *software* proprietário. O programa tem defeitos intrínsecos, tal como, as informações contidas na imagem infravermelha normalmente não podem ser visualizadas em outro *software*. Este tipo de relação leva a uma dependência grande, pois como usuário de plataforma determinada recorre-se ao pagamento para renovação periódica de licenças, muitas vezes sem oportunidade de escolha para melhorias futuras. Esta abordagem não se revela interessante do ponto de vista econômico e técnico, e justifica-se assim o desenvolvimento de aplicativo com base na plataforma de instrumentação virtual LABVIEW® e um conjunto de ferramentas para conexão com a câmera de tecnologia infravermelho denominado THERMOVISION TOOLKIT®. A plataforma e seu conjunto de ferramentas sendo descritos no Capítulo 3 deste texto.

### 1.4 OBJETIVOS

O principal objetivo do presente trabalho foi o de desenvolver uma ferramenta com base na plataforma LABVIEW® de modo a ser possível captar imagens e efetuar análise qualitativa dos dados capturados pela câmera de infravermelho FLIR® modelo S-45.

No módulo de aquisição de imagens, a principal funcionalidade desenvolvida foi a possibilidade de gravação das imagens capturadas pela câmera em formato usual para abertura das imagens em *softwares* comerciais.

No módulo de recuperação de imagens, as principais funcionalidades desenvolvidas foram: exibição da imagem, em tamanho original, na interface gráfica do usuário; exibição da matriz de temperaturas associada à imagem em duas dimensões (i, j), originalmente em valor absoluto Kelvin podendo ser convertida para escalas Celsius e ou Fahrenheit.

Outras funcionalidades desenvolvidas foram:

- Exibição em formato de gráfico histograma e perfil tipo linha da intensidade original em pixels, posteriormente, convertido em dados de temperatura com auxílio de instrumentos virtuais disponibilizados pelo LABVIEW®;
- Definição de área sem auxílio de forma geométrica, com ajuda de ferramentas disponibilizadas pela propriedade ROI (*Region of Interest*);
- Gravação da imagem resultante determinada em unidade de armazenamento para posterior recuperação.

## 2 TEORIA DO INFRAVERMELHO

### 2.1 TEORIA DA RADIAÇÃO

Para a compreensão dos fenômenos que descrevem o conceito de radiação eletromagnética é necessário considerar que a sua definição tem relação com radiação térmica, sendo esta a taxa de energia emitida pela matéria em função de sua temperatura não nula. Em gases e sólidos semitransparentes como o vidro e cristais de sais à temperaturas elevadas, a emissão é um fenômeno volumétrico. A radiação emerge de um volume finito de matéria correspondente ao efeito integrado da emissão local ao longo de todo o volume. Na maioria dos sólidos e líquidos a radiação emitida pelas moléculas localizadas no interior do volume é em grande parte absorvida pelas moléculas a elas adjacentes. Adicionalmente cita-se o mecanismo de emissão como relacionado à energia liberada e ao resultado de oscilações ou transições de muitos elétrons que constituem a matéria. Estas oscilações por sua vez são sustentadas pela energia interna, portanto pela temperatura da matéria. É possível vincular a emissão de radiação térmica à existência de condições excitadas termicamente no interior da matéria. A energia radiante é transportada por ondas eletromagnéticas (Sparrow, 1978). Existe uma distribuição de energia entre esses fótons. A energia associada a cada fóton é dada por  $h\gamma$ , onde a  $h$  é a constante de Planck e  $\gamma$  é a frequência de radiação. Cada fóton também possui um momento  $h\gamma/c$ , onde  $c$  é a velocidade da luz no meio no qual ela viaja. Três parâmetros devem ser empregados para caracterizar radiação, são eles: frequência, comprimento de onda e a velocidade da onda ou fóton, sendo que apenas dois destes parâmetros são independentes, sendo relacionados por:

$$c = \lambda\nu, \quad (2.1)$$

onde “ $c$ ” é a velocidade da luz, fornecida por uma medida relacionada com a velocidade da luz no vácuo, dada por  $c_0$  por:

$$c = c_0 / n \quad (2.2)$$

sendo  $n$ , o índice de refração do meio.

O fenômeno eletromagnético engloba vários tipos de radiação, desde pequenos comprimentos de onda como raios-X até grandes comprimentos de onda como nas ondas de rádio. Cada classificação corresponde a fins específicos pelo qual a radiação é produzida. A radiação térmica é definida como energia radiante emitida em um meio e que é devida somente à temperatura do meio, que governa a emissão de radiação. O espectro de frequência abordado pela radiação térmica é de aproximadamente  $0,3 \mu\text{m}$  a  $50 \mu\text{m}$  (Sparrow, 1978). Por sua vez este espectro é composto de três subintervalos: ultravioleta, luz visível e infravermelha.

Outras leis podem auxiliar em definições, tais como a lei de Stefan-Boltzman que define o poder emissivo total do corpo negro denotada por  $E_b$ , que representa a energia emitida por unidade de tempo e área em um corpo negro para todas as frequências (ou comprimentos de onda). Um conceito a destacar consiste na intensidade de radiação que pode ser caracterizada como a quantidade de energia radiante que sai de uma superfície através de um determinado caminho. A quantidade de energia que passa em uma dada direção é descrita em termos de intensidade de radiação denotada por  $I$ . A intensidade de radiação pode ser definida como a energia radiante que sai de uma superfície por unidade de área normal ao feixe de raios por unidade de ângulo sólido e por unidade de tempo, onde o ângulo sendo diferencial é denotado  $d\Omega$ .

Outro conceito que pode ser considerado é o de radiação de superfície que é a potência de emissão monocromática de uma superfície real que é denotada por  $E_\lambda$ , (Sparrow, 1978). As superfícies reais absorvem uma parte da energia que incide nelas. Esta deve ser expressa em termos de potência emissiva de um corpo negro:

$$E_\lambda = C_1 / \lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1) \quad (2.3)$$

onde:

$E_\lambda$  = potência emissiva de um corpo negro ( $W/m^2 - \mu m$ )

T = temperatura absoluta do corpo (K)

$\lambda$  = comprimento de onda ( $\mu m$ )

$C_1 = 3,74 \times 10^8 W - \mu m^4/m^2$

$C_2 = 1,44 \times 10^4 \mu m - K$

Em um determinado meio, enquanto em gases a absorção e emissão de radiação térmica são associadas com transições entre os níveis de energia dos átomos ou moléculas que constituem o gás, estas transições são classificadas limite – limite, limite – livre, livre – livre. Transição Limite – Limite – ocorre quando um fóton é absorvido ou emitido por uma molécula de gás de forma que a mudança resultante de nível de energia da molécula é associada com estados de energia eletrônicos, vibracionais e rotacionais. Para gases monoatômicos a transição envolve somente estados de energia eletrônicos e para gases moleculares, os três estados denotados necessitam estar envolvidos. Transições eletrônicas envolvem altas frequências e isto fornece linhas de absorção-emissão no espectro ultravioleta, luz visível e próxima do infravermelho. Transições vibracionais e rotacionais estão associadas com o infravermelho. Entretanto transições rotacionais devem ocorrer simultaneamente com transições vibracionais resultando em uma perturbação rotacional na frequência básica vibracional. Como consequência um número de linhas rotacionais estará presente nas redondezas da frequência vibracional sendo denominado como banda de “vibração-rotação”. Quando a absorção de um fóton produz um elétron e um íon o processo é designado como uma transição limite-livre. Desde que o elétron esteja inicialmente em uma situação limite enquanto após a ionização é livre para obter qualquer valor para energia cinética - a absorção limite-livre é uma função contínua da frequência (Sparrow, 1978).

No processo reverso, a emissão é também contínua e resulta em uma recombinação de elétrons livres e íons para produzir um fóton. Desde que transições limite-livre ocorram somente quando o gás é ionizado, a absorção da radiação e origem da emissão a partir destes processos, é geralmente importante somente em aplicações em altas temperaturas. Um segundo tipo de transição envolvendo um gás ionizado ocorre quando um fóton é absorvido ou emitido por um elétron livre. Se o elétron possui qualquer valor de energia cinética antes e depois da transição, isto é chamado de transição livre-livre. Os processos de emissão e absorção são funções contínuas da frequência. A absorção no meio deve também espalhar fótons (Sparrow, 1978).

Espalhamento é definido como qualquer mudança na direção de propagação de fótons. Este processo é fisicamente devido a não uniformidade do meio e tais não uniformidades resultam de partículas sólidas suspensas ou bolhas líquidas com o gás. Em adição, o espalhamento do gás pode ser também produzido pelas moléculas de gás. Quando a energia radiante é espalhada sem mudança de frequência, o espalhamento é referido como espalhamento coerente. Se o espalhamento de radiação for com um gás é estritamente espalhamento molecular e designado espalhamento Rayleigh. A Teoria de Rayleigh prediz que a intensidade espectral da radiação espalhada irá variar como a quarta força da frequência.

As propriedades de radiação em superfícies existem por causa da troca de energia radiante entre superfícies sendo necessário conhecer sua emissão, reflexão e absorção. Se as superfícies são corpos negros, as propriedades de radiação estão bem estabelecidas. Porém em situações reais é necessário o estabelecimento de condições para mensurar radiações em corpos não negros. Características tais como emitância, absorvância e refletividade – que é a capacidade de um determinado corpo em refletir como um espelho. Para a transmissão de substâncias também é necessário especificar a fração de radiação incidente que passa através da espessura do material. Detalhes necessários para especificar propriedades radiativas dependem da natureza da aplicação relacionada. Caso seja necessário calcular a energia radiante emitida no espaço hemisférico da superfície considerada é preciso considerar a emitância hemisférica (Özişik, 1985). Para determinar a radiação emitida de um elemento em uma direção em particular a emitância direcional (angular) é considerada. Propriedades tais como magnitude, distribuição angular e radiação dependente do comprimento de onda são propriedades muito sensíveis às condições de superfície. Em materiais dielétricos a estrutura de grão do material pode também afetar as propriedades de radiação. A radiação monocromática é a energia radiante que é emitida pela superfície de um elemento a uma determinada temperatura. Entre as propriedades direcionais de radiação é possível destacar intensidade radiante e propriedades direcionais que caracterizem a radiação viajando em direções angulares específicas. Radiação difusa é a propriedade que compreende a mais elementar das características direcionais. O termo difuso denota uniformidade direcional. Em particular a intensidade da radiação de uma superfície refletora de maneira difusa para emissão é uniforme em todas as direções angulares. De maneira similar radiação que chega com intensidade uniforme em uma superfície é distribuída de maneira difusa. Em uma superfície refletora de maneira difusa, a intensidade da radiação refletida é distribuída de maneira uniforme a despeito da natureza da radiação incidente. A principal função de uma superfície refletora e difusa é o de apagar a história recente da radiação incidente. Se todas as superfícies existentes em um dado sistema físico são refletores difusos, não existe necessidade de acompanhar raios individuais à medida que eles refletem, pois sua trajetória é alterada a cada superfície que ele entra em contato. É possível também citar a emitância direcional e absorvância definida como a taxa de intensidade emitida em uma direção particular para a intensidade de radiação de um corpo negro. De uma maneira geral para uma superfície em condições arbitrárias a distribuição de uma intensidade emitida  $i$  depende de dois ângulos ( $\theta$ ) e ( $\varphi$ ) (Özişik, 1985).

## 2.2 TEORIA DA RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

Com o desenvolvimento de câmeras termográficas para obtenção de imagens no espectro infravermelho, um número cada vez maior de aplicações está disponível para usar esta técnica de inspeção não destrutiva. Com uma ampla gama de aplicações na engenharia e na medicina, a utilização de imagens termográficas no espectro infravermelho auxilia em aspectos de redução de custos para inspeções de manutenção preditiva, e na realização de exames para diagnóstico de doenças em seres humanos. Esta técnica não invasiva complementar é a cada vez mais aplicada a diferentes áreas da medicina. A termografia infravermelha constitui-se em uma técnica valiosa em casos onde uma fonte de calor na superfície pode ser medida. Os métodos utilizados podem apresentar um excelente custo – benefício (Titman, 2001). Para compreensão efetiva dos mecanismos e informações contidas em imagens geradas por câmeras termográficas, torna-se útil o estudo dos fenômenos físicos – estudo da radiação eletromagnética – que regem a geração das imagens obtidas, bem como detalhamento das correlações utilizadas pelos instrumentos infravermelhos para geração de imagens cruas (*RAW*) e sua manipulação em sistemas computacionais.

O fenômeno da radiação emitida por um sólido ou um líquido tem sua origem nas moléculas que se encontram na distância de aproximadamente  $1 \mu\text{m}$  de sua superfície exposta. Por esta razão que a emissão a partir de um sólido ou um líquido para o interior de um gás a ele adjacente ou para o vácuo, é vista como sendo um fenômeno superficial. A radiação surge da emissão pela matéria e tal radiação não exige a presença desta última para ser transportada. A radiação pode ser vista como a propagação de um conjunto de partículas conhecidas por fótons ou quanta ou de maneira alternativa como a propagação de ondas eletromagnéticas. No espectro eletromagnético encontram-se raios gama, raios-X e radiação ultravioleta (UV) possuindo pequenos comprimentos de onda. Microondas e ondas de rádio possuem comprimentos de onda maiores. A fração intermediária do espectro inclui uma fração da região UV e todo espectro visível e infravermelho (IV), mais conhecido por radiação térmica. A radiação emitida é formada por uma distribuição contínua e não uniforme de componentes monocromáticos. A relação da radiação eletromagnética com a emissão está no fato de que a intensidade da radiação está relacionada com vários fluxos radiantes importantes. A emissão ocorre a partir de qualquer superfície que esteja a uma temperatura não nula.

O corpo negro é definido como o absorvedor e o emissor perfeitos. O mesmo serve como um padrão em relação a qual as propriedades radiantes de superfícies reais podem ser comparadas. É importante observar que nenhuma superfície real possui exatamente as propriedades de um corpo negro. O corpo negro é um emissor ideal no sentido de que nenhuma superfície pode emitir mais radiação que um corpo negro na mesma temperatura. É conveniente considerar o corpo negro como referência ao se descrever a emissão de uma superfície real (Özişik, 1985). A emissividade pode ser definida como a razão entre a radiação emitida pela superfície e a radiação emitida por um corpo negro à mesma temperatura. A emissividade pode assumir valor diferente de acordo com o comprimento de onda ou em uma dada direção. A emissividade em superfícies metálicas é geralmente pequena para superfícies altamente polidas, tais como as compostas de ouro e prata. A presença de camadas de óxidos pode aumentar significativamente a emissividade de superfícies metálicas. Em materiais não condutores a emissividade é comparativamente elevada. Para materiais condutores esta propriedade aumenta com a temperatura, porém deve-se notar que em materiais não condutores, ela tanto pode aumentar como diminuir com o aumento da temperatura. A emissividade depende fortemente da natureza da superfície que pode ser influenciada pelo método de fabricação, pelo ciclo térmico e pelas reações químicas com o ambiente.

Propriedades tais como absorção e reflexão em uma superfície são responsáveis pela percepção das cores. A menos que a superfície esteja a uma temperatura elevada ou incandescente, a cor em nenhuma hipótese é devida à emissão. A mesma se encontra concentrada na região do infravermelho e é imperceptível ao olho humano. A cor se deve à reflexão e absorção seletiva da porção visível da radiação incidente da luz do sol ou de uma fonte de luz artificial. Para uma dada irradiação, a cor de uma superfície pode não indicar a sua capacidade global como absorvedora e refletora, uma vez que grande parte da irradiação pode estar na região infravermelha.

Absortividade pode ser determinada como a fração de irradiação que é absorvida por uma superfície. A sua determinação pode ser complicada, pois pode ser caracterizada tanto pela dependência direcional como por uma dependência espectral. Refletividade determina a fração da radiação incidente que é refletida por uma superfície. Sendo uma propriedade dita bidirecional, ou seja, além da radiação incidente ela também depende da direção da radiação refletida. A reflexão difusa ocorre se independentemente da direção da radiação incidente e a intensidade da radiação refletida é independente do ângulo de reflexão. Ao contrário, se toda a reflexão se encontrar na direção que é igual ao ângulo de incidência diz-se ocorrer uma reflexão especular, embora nenhuma superfície seja inteiramente difusa ou especular, a segunda condição é aproximada por superfícies polidas que parecem espelhos enquanto a primeira condição é aproximada por superfícies rugosas.

Transmissividade representa a fração da radiação incidente transmitida pela matéria. Radiação ambiental pode ser denotada para uma superfície horizontal localizada fora da atmosfera terrestre. A radiação solar comporta-se como, feixes de raios paralelos, que formam um ângulo  $\theta$ , o ângulo de zênite, com a normal à superfície. A irradiação solar extraterrestre depende da latitude geográfica bem como da hora e do dia do ano. A distribuição espectral da radiação solar é significativamente diferente daquela associada à emissão das superfícies envolvidas nos problemas de engenharia. A radiação está concentrada nos pequenos comprimentos de onda do espectro térmico. À medida que a radiação atravessa a atmosfera terrestre sua magnitude e suas distribuições, espectral e direcional, sofrem uma mudança significativa, devido à absorção e ao espalhamento da radiação entre os componentes da atmosfera. Por exemplo, a absorção ao ozônio é mais forte na região ultravioleta, com uma considerável atenuação aos comprimentos de onda maiores. O espalhamento dos raios solares proporciona um redirecionamento e ocorre de duas formas distintas, denominado como espalhamento de Rayleigh e Mie (Kreider, 1977). O espalhamento de Rayleigh é provocado por moléculas de gases com espalhamento uniforme de radiação em todas as direções, ou seja, metade da radiação reflete para o espaço e a outra metade é direcionada para a terra. Em qualquer ponto sobre essa superfície, a radiação espalhada a partir deste ponto incide em todas as direções. O espalhamento de Mie é provocado pela poeira e partículas de aerossóis, está concentrada em direções próximas a dos raios incidentes, atingindo a terra em direções que estão próximas as dos raios solares. A radiação solar total que atinge a superfície terrestre é a soma das radiações direta e difusa. A contribuição difusa pode variar de aproximadamente 10% da radiação solar total até praticamente 100% em um dia completamente encoberto.

A lei de Planck descreveu a distribuição espectral de radiação a partir de um corpo negro, através de fórmula. Quando a energia radiante é descrita em termos de fótons, a relação entre frequência e energia é dada por:

$$E = h\nu \quad (2.4)$$

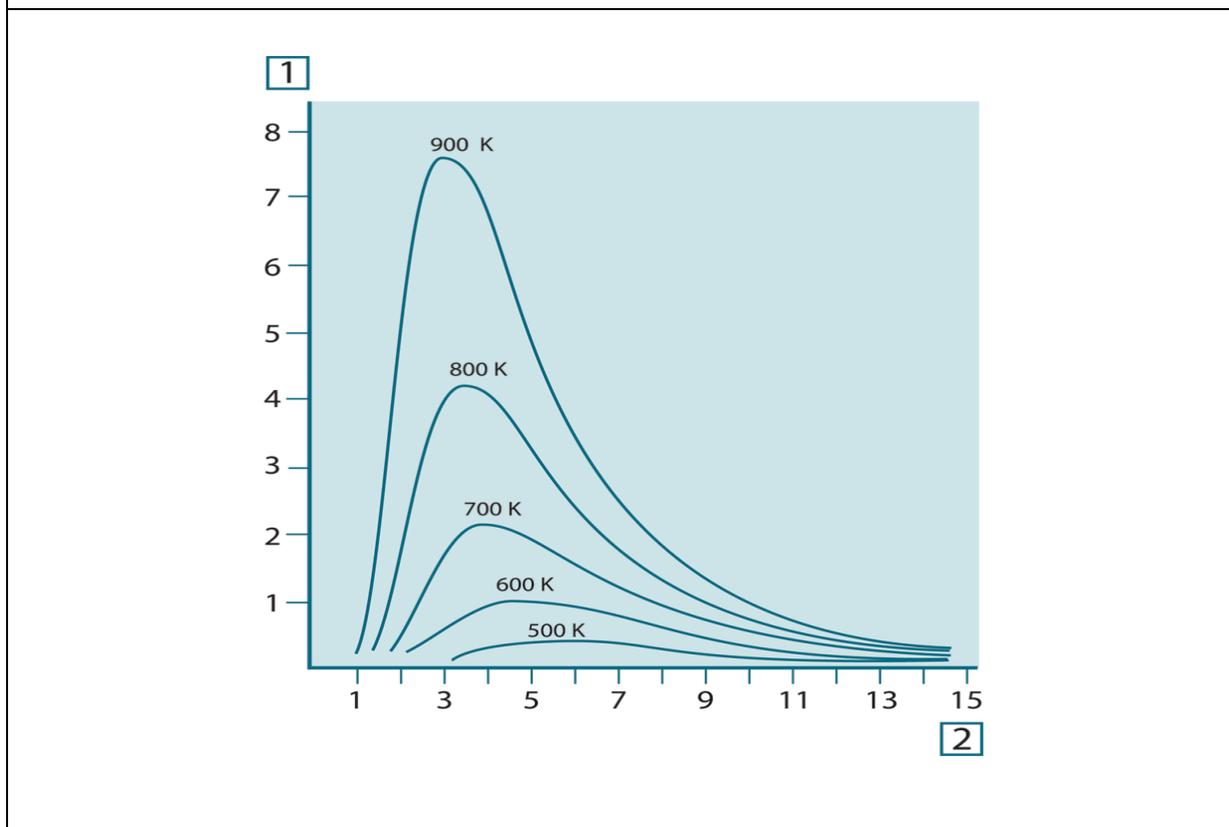
onde:

$E$  = energia de um fóton (J)

$h$  = constante de Planck ( $6,6 \times 10^{-34}$  J. s).

A fórmula de Planck quando disposta em formato de gráfico para diversas temperaturas produz uma família de curvas. Para qualquer curva considerada em particular a emitância espectral é zero para  $\lambda = 0$  então ela cresce rapidamente para um máximo a um comprimento de onda e após passar pelo máximo ela tende a zero de novo nos casos de grandes comprimentos de onda.

Figura 2.1 - Emitância espectral radiante de um corpo negro de acordo com a Lei de Planck. Valores absolutos de temperaturas exibidos. (1) Emitância radiante espectral ( $\text{W}/\text{cm}^2 \times 10^3 (\mu\text{m})$ ). (2) Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ ). (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 User’s manual, 2006”).



A lei do deslocamento de Wien difere da lei de Planck em relação ao  $\lambda$ . Essa fórmula expressa matematicamente a observação das cores, que variam do laranja ao vermelho à medida que a temperatura do radiador aumenta. O comprimento de onda da cor é o mesmo do comprimento de onda calculado por  $\lambda_{\text{máx}}$ :

$$\lambda_{\text{máx}} (\mu\text{m}) = 2898/T(\text{K}) \quad (2.5)$$

A lei de Stefan-Boltzmann consiste na integração da lei de Planck de  $\lambda = 0$  até infinito, e se obtém uma emitância total radiante de um corpo negro:

$$E = \sigma AT^4 \quad (2.6)$$

onde:

$E$  = emissão total do corpo negro (W)

$\sigma$  = constante de Stefan - Boltzmann =  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$

$T$  = temperatura absoluta (K)

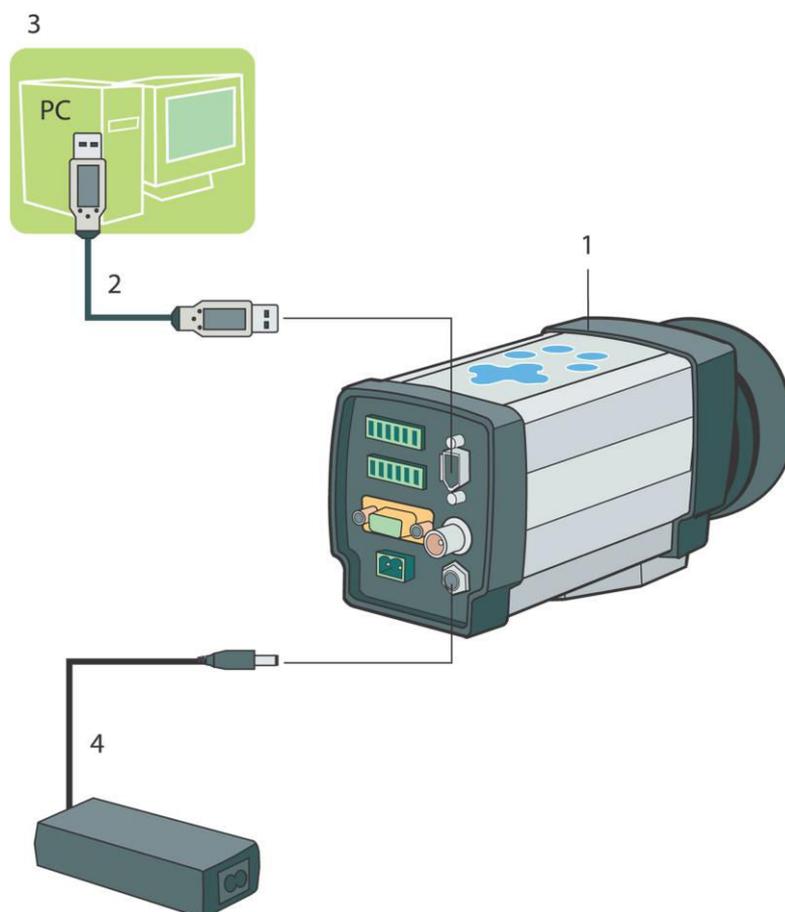
$A$  = área superficial do objeto ( $\text{m}^2$ )

Essa fórmula estabelece que o poder emissivo total seja proporcional à quarta potência da temperatura absoluta (Özişik, 1985).

### 2.3 DESCRIÇÃO DA CÂMERA DE INFRAVERMELHO

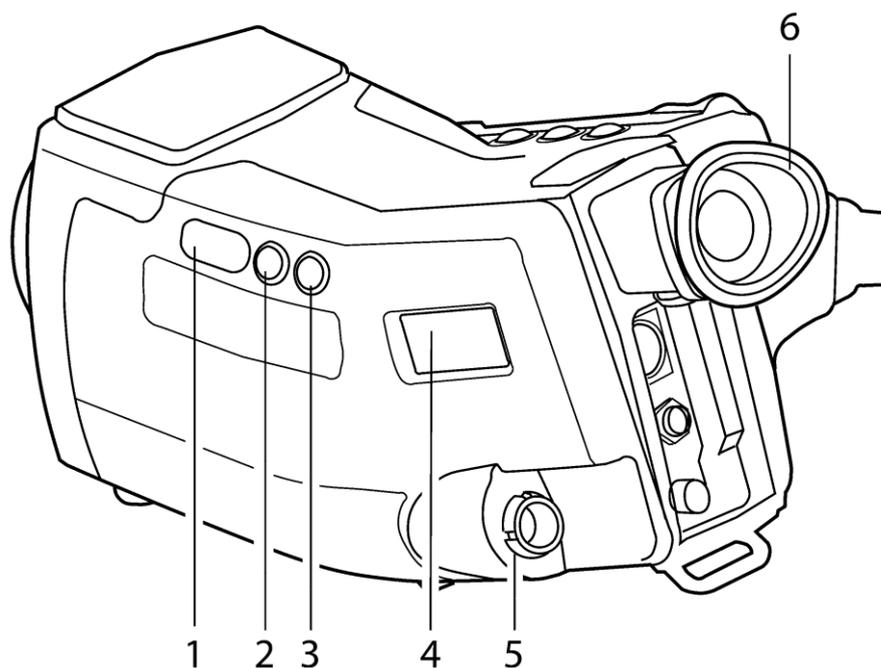
A câmera termográfica utilizada neste trabalho de pesquisa é um modelo fabricado pela FLIR® *Systems International*, modelo S-45 pertencente à linha S-Series. As principais características do equipamento utilizado são descritas a seguir, nas figuras 2.1 a 2.5.

Figura 2.2 – Representação esquemática da câmera FLIR® S-45 (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 User’s manual, 2006”).



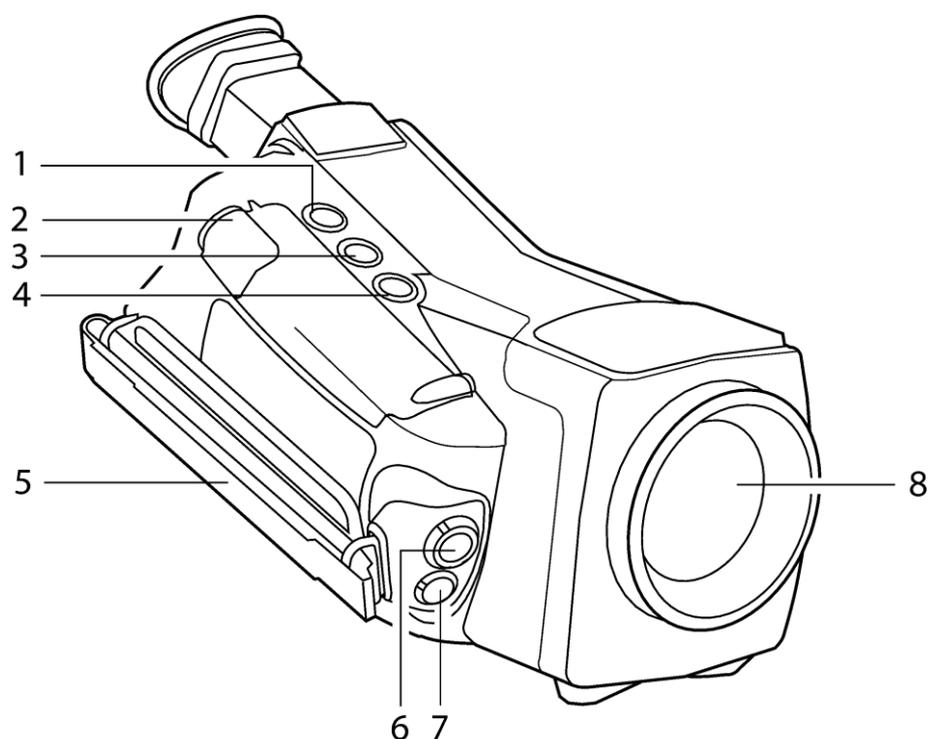
| Nº | Descritivo - Componente do Equipamento |
|----|--|
| 1  | Câmera FLIR® S-45.                     |
| 2  | Cabo Conexão USB.                      |
| 3  | Computador para Aquisição de Dados.    |
| 4  | Fonte de Alimentação.                  |

Figura 2.3 – Representação esquemática da câmera FLIR® S-45 (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 User’s manual, 2006”).



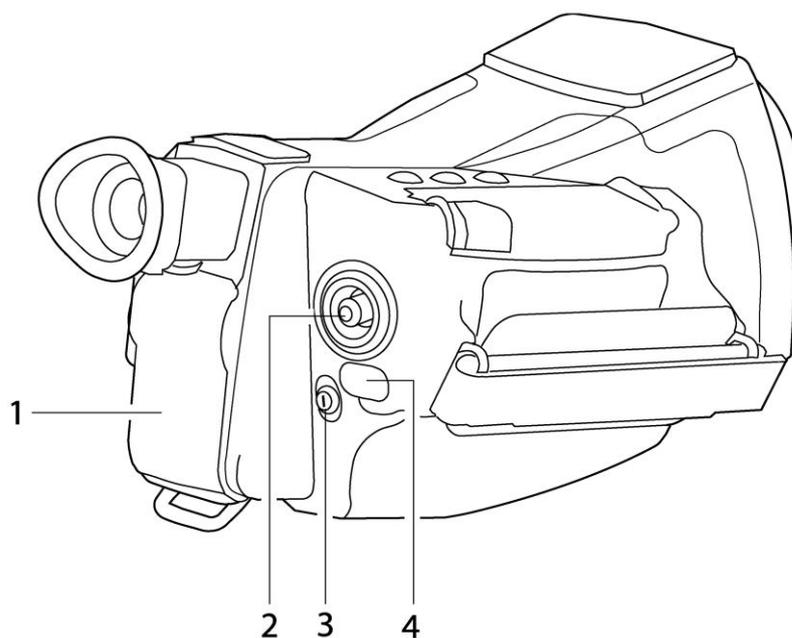
| Nº | Descritivo - Componente do Equipamento                     |
|----|--|
| 1  | Botões ± - Ajuste de distância da lente objetiva.          |
| 2  | Botão F1 – Ajuste automático de foco.                      |
| 3  | Botão F2 – Ajuste automático de paleta.                    |
| 4  | Display LCD – Visor externo de informações do equipamento. |
| 5  | Conector para controle remoto.                             |
| 6  | Objetiva.  |

Figura 2.4 – Representação esquemática da câmera FLIR® S-45 (Adaptado de “FLIR® ThermoCAM® S-45 User’s manual, 2006”).



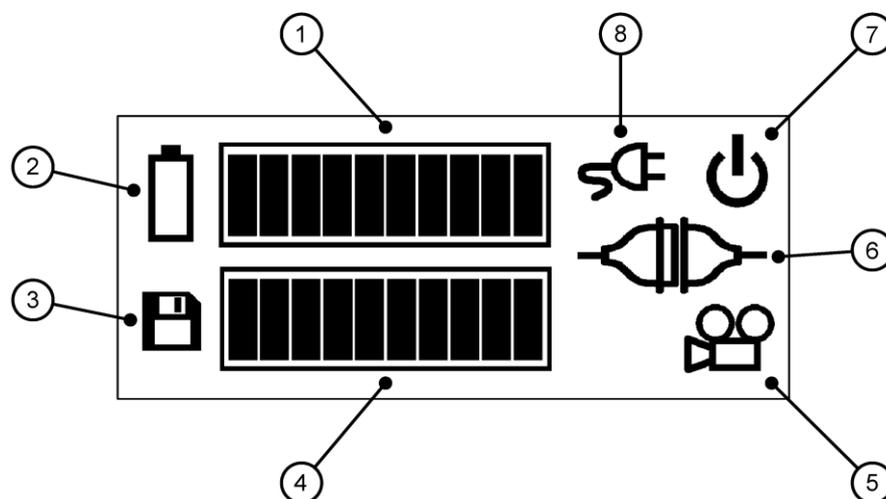
| Nº | Descritivo - Componente do Equipamento             |
|----|--|
| 1  | Botão C – Acesso ao modo de edição do equipamento. |
| 2  | Presilha de abertura do compartimento da bateria.  |
| 3  | Botão S – Permite o congelamento da imagem.        |
| 4  | Botão A – Permite auto ajuste do equipamento.      |
| 5  | Alça de apoio.                                     |
| 6  | Conector USB-RS232.                                |
| 7  | Conector de fone de ouvido.                        |
| 8  | Lente de visualização.                             |

Figura 2.5 – Representação esquemática da câmera FLIR® S-45 (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 User’s manual, 2006”).



| Nº | Descritivo - Componente do Equipamento    |
|----|---|
| 1  | Compartimento para conectores adicionais. |
| 2  | Joystick.                                 |
| 3  | Botão Liga-Desliga.                       |
| 4  | Compartimento Vazio.                      |

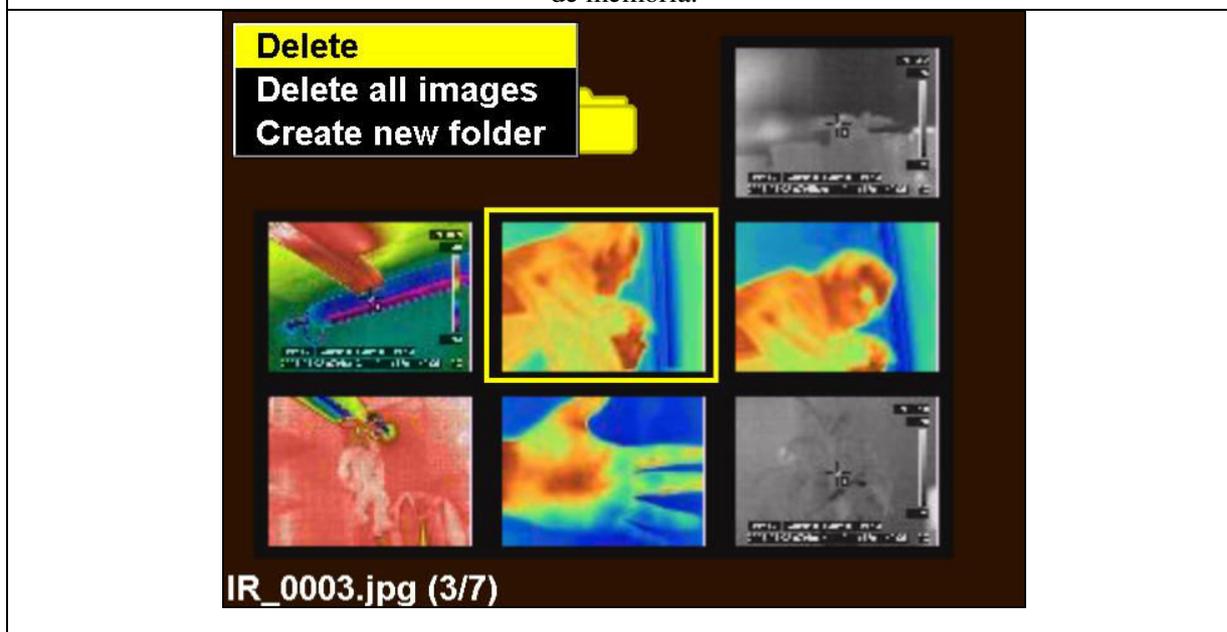
Figura 2.6 – Representação esquemática do visor externo da câmera FLIR® S-45 (Adaptado de “FLIR® ThermoCAM® S-45 User’s manual, 2006”).



| Nº | Descritivo - Componente do Equipamento                      |
|----|---|
| 1  | Barra de status da bateria.                                 |
| 2  | Indicador de nível da bateria.                              |
| 3  | Indicador de cartão de memória.                             |
| 4  | Barra de status cartão de memória.                          |
| 5  | Sem função (modelo S-45).                                   |
| 6  | Indicador de comunicação (equipamento-dispositivo externo). |
| 7  | Indicador de força.   |
| 8  | Indicador de alimentação externa.                           |

Adicionalmente, o equipamento utilizado na pesquisa possui peso 1,55 kg (bateria inclusa), dimensões nominais de 144 mm x 234 mm x 144 mm. (Altura x Largura x Profundidade). A seguir, encontra-se, na Figura 2.6, uma imagem do visor da câmera exibindo miniaturas dos arquivos salvos no cartão de memória.

Figura 2.7 – Imagem do visor câmera FLIR® S-45 com exibição de imagens armazenadas no cartão de memória.



## 2.4 IMAGENS TERMOGRÁFICAS

A história da termografia começa com a descoberta do espectro infravermelho, que foi efetuada por um pesquisador denominado Herschel a menos de 200 anos atrás (*Operator's Manual Digital Toolkit*, 2003), e a origem de seu significado tem a ver com a forma de radiação. Buscava-se por um filtro óptico para reduzir a luminosidade da imagem do sol em telescópios durante observações. Enquanto se testavam diferentes filtros de vários tipos de vidros coloridos e que permitiam reduções semelhantes em sua luminosidade, Herschel ficou intrigado para achar algumas das amostras que permitiam aproximar-se tanto do espectro da luz solar que poderiam causar danos ao olho humano. Herschel se convenceu da necessidade de mais experimentos com o objetivo de descobrir um material que proporcionasse a redução desejada em luminosidade bem como a máxima redução em calor. Ele tentou repetir a experiência de Newton em relação ao prisma, em busca do efeito de dissipação do calor mais do que da distribuição de intensidade no espectro. Ele primeiro tornou negro usando tinta, o bulbo de um termômetro à base de mercúrio e com um detector de radiação, procedeu ao teste de efeito de aquecimento de várias cores no espectro formado de uma tabela através da passagem de luz do sol através de um prisma de vidro. Outros termômetros, colocados fora dos raios do sol, serviram como controle. À medida que o termômetro escurecido foi movido lentamente através das cores do espectro, as leituras de temperatura demonstraram um aumento constante do violeta ao vermelho. Isto era até certo ponto esperado, desde que o pesquisador italiano Landriani em um experimento similar, em 1777, observou um efeito igual. Porém foi Herschel o primeiro a reconhecer que um ponto poderia ser onde o aquecimento atinge seu máximo, e que as medidas confinadas na porção visível do espectro falharam em localizar tal ponto. Movendo o termômetro na região escura do espectro além do vermelho, Herschel confirmou que o calor continuava a aumentar. O ponto máximo onde ele

encontrou tal evidência foi além do vermelho, conhecido hoje em dia, como comprimentos de onda do infravermelho. Quando Herschel revelou sua descoberta, ele se referiu à nova porção do espectro eletromagnético como espectro termométrico.

A radiação em si foi chamada de calor negro ou simplesmente 'raios invisíveis', porém ao contrário do que se pode pensar, o termo infravermelho não foi originado por Herschel, sendo a expressão cunhada apenas cerca de setenta e cinco anos depois. Herschel utilizou o vidro de um prisma em seu experimento original o que originou algumas controvérsias com seus colegas sobre a existência atual de comprimentos de onda infravermelhos. Através de experimentos posteriores Herschel foi forçado a reconhecer que a transparência limitada do vidro para esta forma de energia, forçando-o a concluir que a natureza óptica seria descartada em detrimento do uso de elementos refletivos exclusivamente (*Operator's Manual Digital Toolkit*, 2003). Termômetros como detectores de radiação permaneceram sem mudar até 1829, quando um dispositivo desenvolvido por Melloni, quarenta vezes mais sensível que o melhor termômetro até então existente, foi capaz de detectar a radiação de uma pessoa à distância de três metros. A primeira 'imagem' em infravermelho só foi possível a partir de 1840, como resultado de Sir John Herschel, filho do descobridor da radiação infravermelha. Era baseado no conceito de diferencial de evaporação de um filme de óleo de fina espessura quando exposto a uma fonte de calor. A sensibilidade do detector de infravermelho melhorou de maneira vagarosa. Outro evento, efetuado por Langley em 1880, foi a invenção do biomedidor. Consistia em uma faixa fina e enegrecida de platina conectada em um braço da ponte de *Wheatstone* através da radiação. Este instrumento era apto para detectar o "calor" de uma vaca até uma distancia de 400 m. Entre os anos 1900 e 1920 o mundo 'redescobriu' o infravermelho. Várias patentes foram registradas para detecção de pessoas, aeronaves. Os primeiros sistemas a operar começaram a ser desenvolvidos entre 1914-1918 durante a Primeira Guerra Mundial, onde este tipo de pesquisa foi direcionado para aplicação militar. Estes programas incluíam sistemas experimentais para detecção/intrusão de inimigos, sensoriamento remoto de temperatura e comunicações seguras. Um sistema de busca no infravermelho desenvolvido à época garantia uma sensibilidade de 1,5 km. Sistemas mais apurados eram todos baseados na variação do conceito de biometria, porém em um período de três anos, dois inventos revolucionários foram mostrados: o conversor de imagens e o detector de fótons. Primeiramente o conversor de imagens recebeu maior atenção, pois permitia a um observador 'enxergar' no escuro, porém como a sensibilidade estava limitada à região próxima do infravermelho, os alvos militares teriam de ser iluminados com feixes infravermelhos.

Durante a Segunda Guerra Mundial sistemas mais seguros foram desenvolvidos de forma passiva e a partir de então as imagens geradas por tais sistemas, passaram a ser liberadas para uso civil. Imagens térmicas de superfícies podem ser obtidas através de termografia por infravermelho. A maior parte da utilização da termografia está no campo de análise qualitativa. Isso porque as câmeras modernas possuíam precisão relativamente baixa, apesar de grande sensibilidade. Mas as informações de temperatura dos termogramas também podiam ser utilizadas em análises quantitativas, como na determinação de perdas de calor em equipamentos industriais de grande porte e na determinação de parâmetros termofísicos e geométricos (*Operator's Manual Digital Toolkit*, 2003).

O operador de uma câmera de infravermelho precisa inserir corretamente os valores dos parâmetros solicitados pelo equipamento, pois os mesmos são necessários para as equações, que determinam a temperatura a partir da termografia. É importante notar que o inspetor termográfico reconhece as situações difíceis de medição. Essas situações acontecem quando há fontes perturbadoras de radiação ou a emissividade do objeto é baixa. As aplicações da termografia apresentadas mostraram que este tipo de ensaio não destrutivo pode ser utilizado desde a simples visualização de um fenômeno básico até a determinação de parâmetros termofísicos e geométricos.

A radiação recebida pelo equipamento é função da temperatura do objeto na superfície, o que torna possível para a câmera calcular e exibir esta temperatura. A

temperatura medida não depende somente da temperatura do objeto, mas também de sua emissividade. Considerar também que radiação do meio é refletida e também influencia a captura de imagens. Para medir a temperatura com precisão é necessário compensar um determinado número de fontes de radiação.

Os seguintes parâmetros devem ser ajustados na câmera: emissividade do objeto, temperatura aparente refletida, distância entre o objeto e a câmera, umidade relativa, temperatura da atmosfera. A emissividade consiste na medida da quantidade de radiação e emitida por determinado objeto em comparação com um corpo negro perfeito a mesma temperatura. Normalmente, objetos materiais e tratamentos superficiais exibem emissividade que vão de 0,1 até 0,95. Um espelho polido possui índice abaixo de 0,1 enquanto uma superfície oxidada ou superfície pintada possui uma emissividade maior. Pintura baseada em óleo, independentemente da cor, possui uma emissividade de 0,9 no infravermelho. A pele humana tem uma emissividade de 0,97 a 0,98. Metais não oxidados representam um caso perfeito de opacidade e alta refletividade que não varia com o comprimento de onda. A emissividade dos metais é baixa, aumentando somente com a temperatura. Para não metais, a emissividade tende a ser maior e decrescer com a temperatura (THERMACAM S-45 *user's manual*, 2006).

Um método para a determinação da emissividade de um material consiste em pintar uma pequena parte deste material com uma tinta do tipo óptica negra que possui como emissividade 0,94, lembrando que o objeto deve possuir temperatura maior que a temperatura ambiente. Quanto maior for essa diferença, maior a precisão da medida efetuada. Observando que a mesma deve ser da ordem de pelo menos 20°C e que outras pinturas podem suportar temperaturas bastante altas, porém com emissividade menor que o preto. Caso não se queira danificar o objeto a ser medido é possível utilizar uma fita com emissividade definida, porém com atenção que fitas semitransparentes não se adaptam a este tipo de medida. A temperatura aparente, refletida é utilizada para compensar a radiação refletida no objeto. Se a emissividade é baixa e a temperatura do objeto relativamente distante daquela obtida pela reflexão, é importante definir e compensar para a temperatura aparente refletida. Caso se esteja efetuando a medida com influência de várias fontes de calor, ajusta-se a emissividade para 1,0. A distância entre o objeto visualizado e a lente da câmera deve ser utilizada para compensar a medida, devido a dois fatores: a radiação a partir do alvo é absorvida pela atmosfera entre o objeto e a câmera, e a própria radiação da atmosfera é também detectada pela câmera. Caso seja necessário utilizar a câmera em temperaturas extremas, antes de efetuar quaisquer medições é necessário deixar que a câmera adquira a temperatura ambiente permitindo que o sistema interno da câmera se ajuste às novas condições de temperatura. Considerar também que caso chova, é preciso evitar medições nestas condições, haja vista a possibilidade de mudança da temperatura da superfície analisada. Adicionalmente caso haja dúvidas quanto à medida de distância efetuada pela câmera, multiplique o IFOV (*Infrared Field of View*) - detalhe de um objeto visualizado por um único elemento do sensor - por três (THERMACAM S-45 *user's manual*, 2006).

A seguir são mostrados alguns exemplos de imagens termográficas.

Figura 2.8 – Exemplo de imagem infravermelha capturada pela câmera FLIR® S-45 (visualização de uma mão humana).

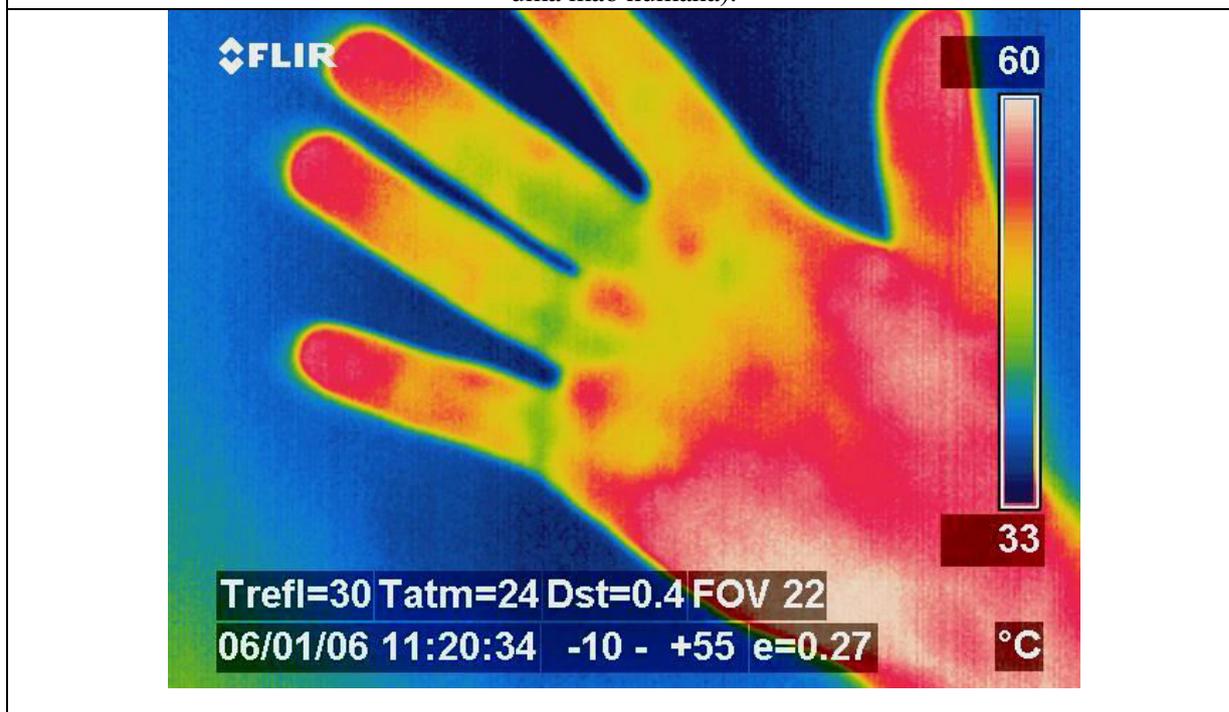


Figura 2.9 – Exemplo de imagem infravermelha capturada pela câmera FLIR® S-45 (montagem experimental – UFPE).

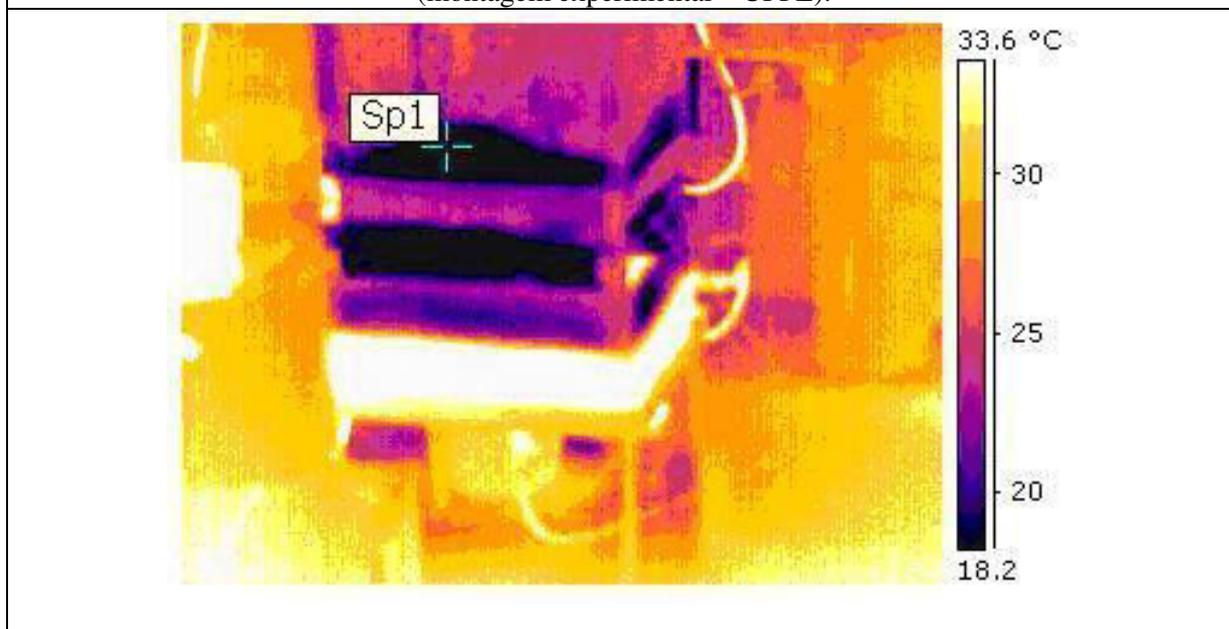
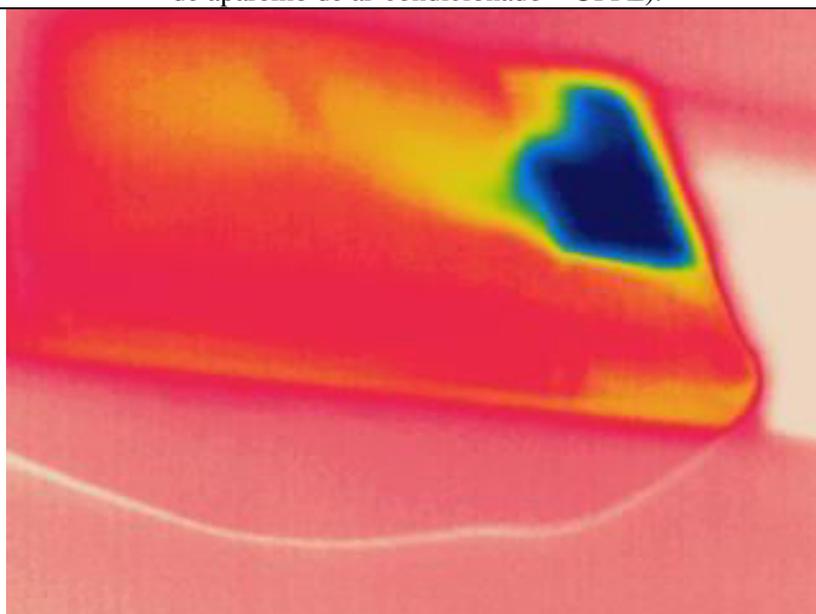


Figura 2.10 – Exemplo de imagem infravermelha capturada pela câmera FLIR® S-45 (visualização de aparelho de ar-condicionado – UFPE).



## 2.5 APLICAÇÕES USUAIS

Uma aplicação onde a termografia encontra bastante utilidade reside nas inspeções de instalações elétricas com auxílio da câmera termográfica. Muitas câmeras existentes na atualidade possuem recurso que exibe a temperatura máxima encontrada na imagem visualizada pelo sensor. Com a ajuda de ferramentas específicas de delimitação da área a ser visualizada, é possível fornecer a temperatura medida em um ponto específico como visualizado nas Figuras 2.11 a 2.14.

Figura 2.11 – Imagem com aplicação de termografia infravermelha para detecção de pontos quentes na rede elétrica básica de distribuição (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 User’s manual, 2006”).

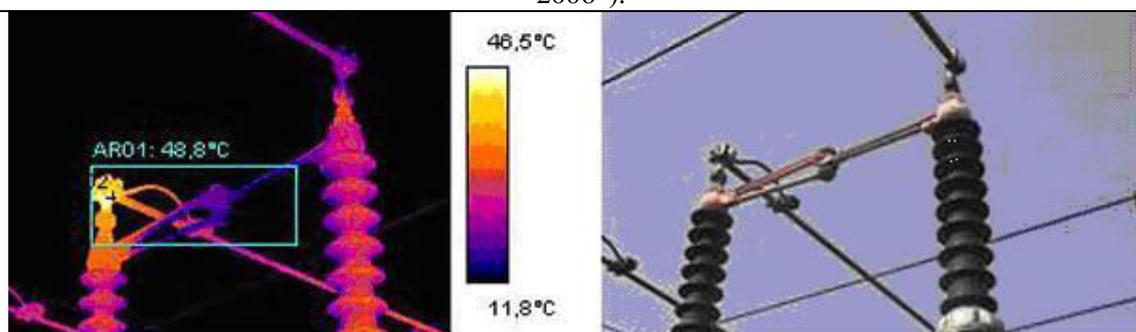


Figura 2.12 – Imagem com aplicação de termografia infravermelha para detecção de pontos quentes em disjuntores (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 User’s manual, 2006”).



Figura 2.13 – Detalhe de imagem com representação de área destacada por ferramenta retângulo e com exibição de dados de temperatura (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 User’s manual, 2006”).

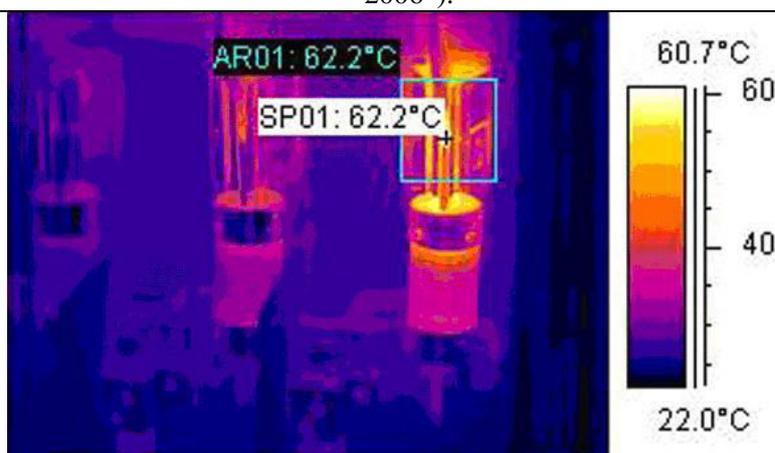
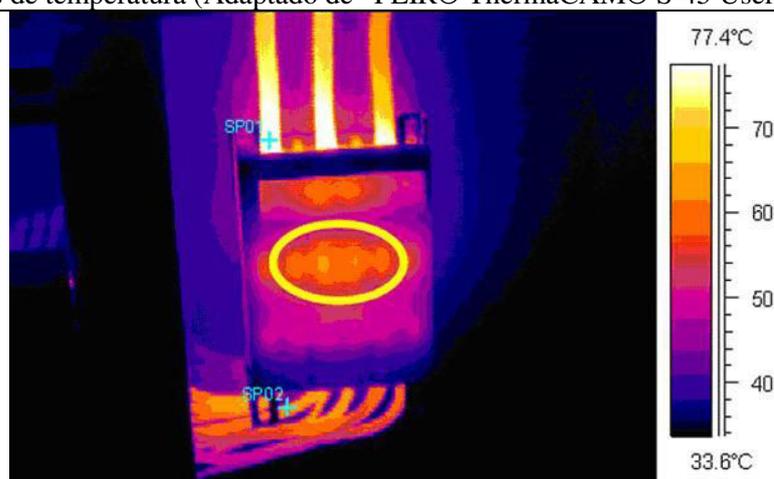


Figura 2.14 – Detalhe de imagem com representação de área por ferramenta ponto de intensidade com exibição de dados de temperatura (Adaptado de “FLIR® ThermaCAM® S-45 User’s manual, 2006”).



## 2.6 INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Arquivos de imagem *RAW* contêm dados brutos captados por um sensor de imagem de uma câmera digital ou *scanner* de imagens. Os arquivos *RAW* (*crus*) são denominados desta forma porque não são processados e não estão prontos para serem utilizados com um editor de bitmaps gráfico ou impresso. Normalmente a imagem será processada por um conversor *RAW*

em um espectro largo no espaço de cores internas, onde ajustes precisos podem ser efetuados antes da conversão para um arquivo de formato *RGB* (*Red, Green, Blue*) tais como arquivos nos formatos *TIFF* e *JPEG* para armazenamento, impressão ou posterior manipulação. Não existe apenas um formato *RAW*: fabricantes diferentes usam os seus formatos proprietários. O formato *RAW* contém os dados do pixel a partir do sensor de imagem, usualmente 12 ou 14 bits. O sensor é também conhecido como filtro Bayer, consistindo em um mosaico de filtros vermelho, azul e verde em linhas alternadas de *RG* e *GB*.

Entre os principais benefícios de se trabalhar com arquivos *RAW* estão características como, possibilidade de câmeras digitais poderem processar a imagem captada pelo sensor em um arquivo de formato *JPEG* utilizando características para balanço de cores, saturação de cores, contraste e nitidez, que podem ser selecionados automaticamente ou ajustados pelo operador antes da captura da imagem. Câmeras que suportam arquivos *RAW* podem salvar estas características no próprio arquivo gerado, mas diferindo no processamento, o que resulta na necessidade de um passo extra para o operador. Dessa forma, esses tipos de arquivos somente são utilizados quando é necessário um processamento computacional posterior da imagem. Contudo, arquivos no formato *RAW* permitem um melhor controle do que o formato *JPEG*, por diversas razões: o controle fino é mais fácil para características, quando um *mouse* ou teclado estão disponíveis. Por exemplo, um ponto branco pode ser definido para qualquer valor e não apenas para valores discretizáveis como luz do dia ou incandescente. As características podem ser pré-visualizadas e ajustadas para obtenção da melhor qualidade de imagem ou efeito desejado.

Isto é especialmente válido para balanço de cor branca, pois ajuste de cores podem ser difíceis de corrigir após a conversão para o formato *RGB* ser efetuada. O espaço de trabalho para cores pode ser ajustado de acordo com o desejado. Os algoritmos de desentrelaçamento podem ser utilizados, não apenas aqueles que são codificados na câmera. Os arquivos *RAW* que são gerados por uma câmera possuem entre 12 e 14 *bits* de informação. A compreensão da captura de imagens digitais *RAW* entende-se como algo que não é único, consiste em um termo geral para uma variedade de formatos de arquivos proprietários tais como – Canon® *CRW* e *CR2*, Minolta® *MRW* e Olympus® *ORF* bem como os diversos tipos de NIKON® *NEF* cujas características são compartilhadas. Para entender a natureza de captura digital de arquivos do tipo *RAW*, é preciso primeiro saber algumas informações a respeito dessas câmeras e seu modo de captura de imagens.

Existem formas diferentes de codificação, o sensor de imagem *RAW* e um arquivo gerado por este último gravam todos os dados existentes na imagem e não apenas aqueles processados pelo sensor. É considerado que o sensor na câmera digital captura um número grande de informações, porém a diferenciação dos equipamentos nesta categoria de câmera digital é efetuada de acordo com a tecnologia existente no sensor, dividido em diferentes tipos e conhecidos como sensor mosaico ou matriz de filtro de cores. A matriz de filtro de cores usa uma matriz de área bi-dimensional para coletar fótons que são gravados na imagem. Esta matriz é constituída de linhas e colunas de detectores foto sensível tipicamente utilizando tecnologia *CCD* (dispositivo carga dupla) ou *CMOS* (Semicondutor oxido metal complementar) para formar a imagem. Em uma configuração típica, cada elemento da matriz contribui com um pixel na imagem final. Porém os sensores simplesmente contam os fótons - eles produzem uma carga que é diretamente proporcional à quantidade de luz que entra em contato com o mesmo.

### 3 LABVIEW E SUAS CARACTERÍSTICAS

#### 3.1 DESCRIÇÃO GERAL DO APLICATIVO DESENVOLVIDO

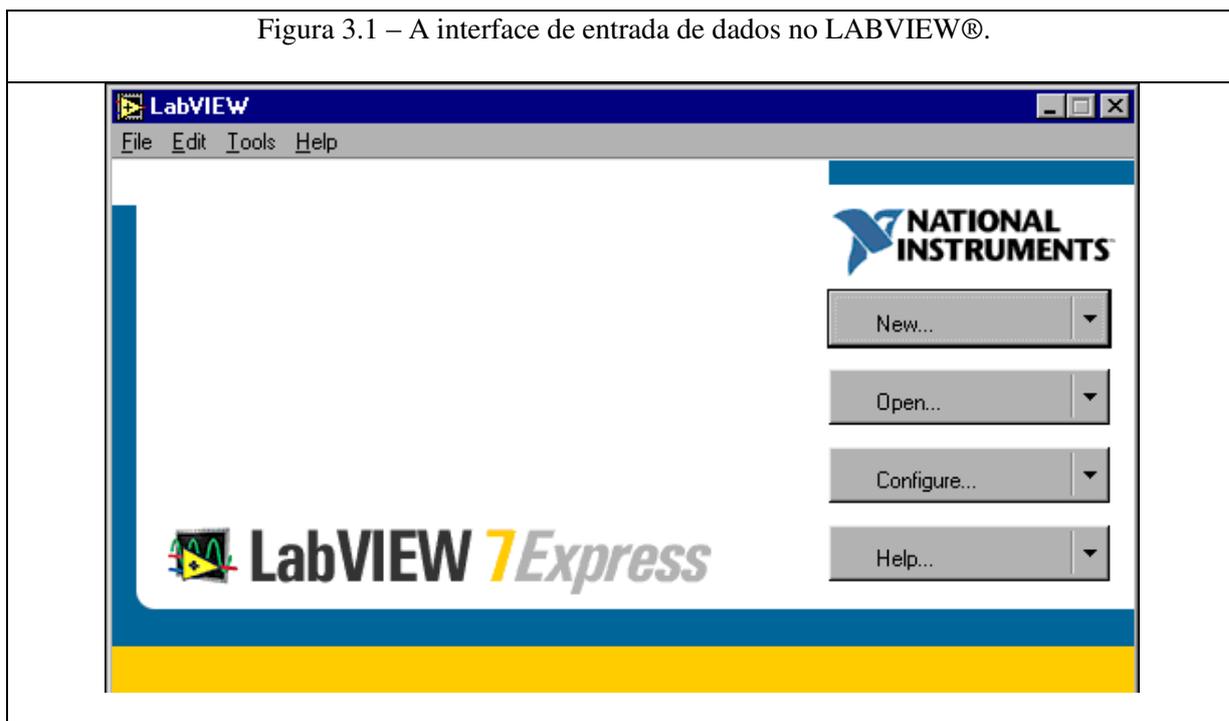
O *software* LABVIEW® é produzido por uma empresa chamada National Instruments®, localizada em Austin, Texas, Estados Unidos. A National Instruments® também produz outros tipos de *softwares* que cobrem as mais diversas áreas de aplicação envolvendo aquisição, medida e apresentação de dados além de aparelhos e sensores para aquisição e controle dos dados referidos em ambiente industrial e acadêmico. A empresa também presta serviços em treinamento, certificação, consultoria, manutenção dos sistemas de sua autoria.

O *software* LABVIEW® (<http://www.ni.com/>) foi usado para desenvolvimento de um aplicativo que permite análise de dados, observando-se a necessidade de informações relacionadas com parâmetros tais como emissividade e medição de temperatura em um dado ponto analisado. Tal programa visa suprir as deficiências apresentadas pelo programa QUICKVIEW®, que acompanha a câmera FLIR S-45 e faz análises de temperaturas sobre as imagens já adquiridas. O pacote LABVIEW® possui inúmeras aplicações com captura de dados analógicos e processamento posterior, em formato digital.

Para auxiliar na interação com o modelo de câmera termográfica selecionado no trabalho de pesquisa foi utilizado o pacote suplementar denominado THERMOVISION TOOLKIT®, também produzido pela FLIR® e que contém os instrumentos virtuais de comunicação e ajustes específicos, para a câmera termográfica.

O *software* LABVIEW® consiste em uma plataforma de desenvolvimento de *softwares* orientado a objeto, com interface gráfica na camada do usuário para aquisição de sinais analógicos, gerados a partir de instrumentos de aquisição físicos. Posteriormente é efetuada a conversão em formato digital, para aproveitamento em ambiente industrial ou laboratorial. A interface de entrada é mostrada na Figura 3.1.

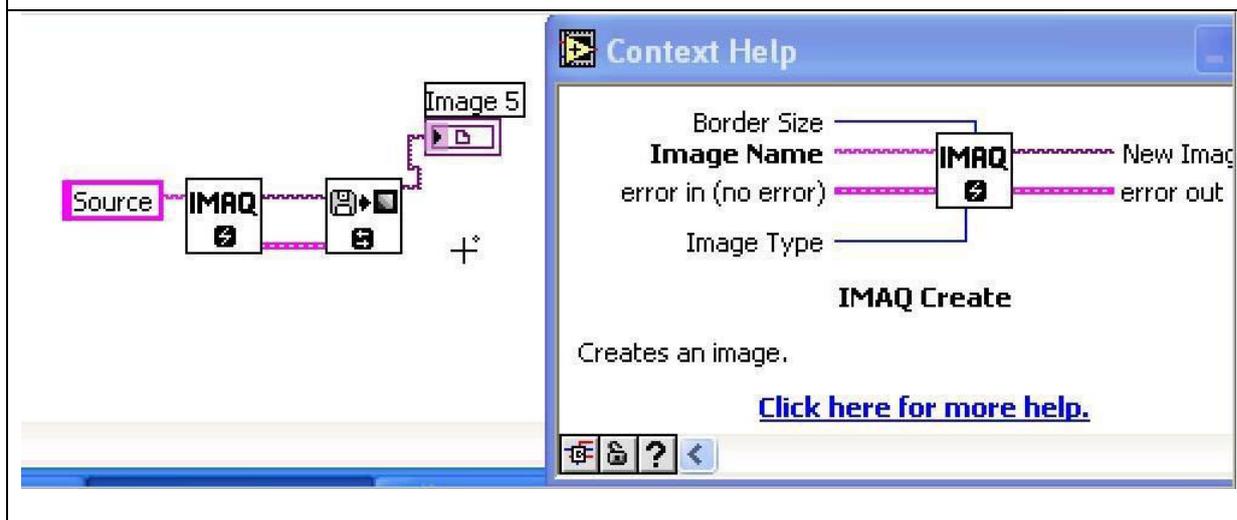
Figura 3.1 – A interface de entrada de dados no LABVIEW®.



A interface gráfica, que contém os objetos a serem utilizados pelo usuário e exibe as medições registradas da fonte externa de sinal, é chamada Painel Frontal (Figura 3.2). A camada da aplicação que contém os elementos de interligação lógica dos instrumentos virtuais a serem utilizados por ocasião do desenvolvimento de uma aplicação pode ser adaptada de maneira independente. Esta interface de ordenamento lógico de dados é chamada de Diagrama de Blocos (Figura 3.4). A montagem ou interligação de maneira correta é condição necessária para execução da aplicação em desenvolvimento.

Um exemplo de associação entre instrumentos virtuais é descrita na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Imagem de associação entre dois instrumentos virtuais na interface lógica. Diagrama de Blocos.



Na imagem exibida na Figura 3.2 é possível visualizar a associação entre o instrumento virtual *IMAQ Create*, responsável pela criação de uma instância de geração de imagem, em associação com o instrumento virtual *IMAQ ReadFile* que efetua a leitura das informações responsáveis pela geração da imagem. No detalhe, a ajuda interativa exibe os conectores responsáveis pela associação de um instrumento virtual na interface lógica Diagrama de Blocos. Os objetos existentes na interface gráfica Painel Frontal possuem referência na interface lógica Diagrama de Blocos e podem ser associados à semelhança dos instrumentos virtuais. Nas Figuras 3.3 e 3.4 estão representadas a seguir, as interfaces, gráfica - Painel Frontal, e lógica - Diagrama de Blocos, respectivamente.

Figura 3.3 – Exemplo de aplicação na interface gráfica: Painel Frontal.

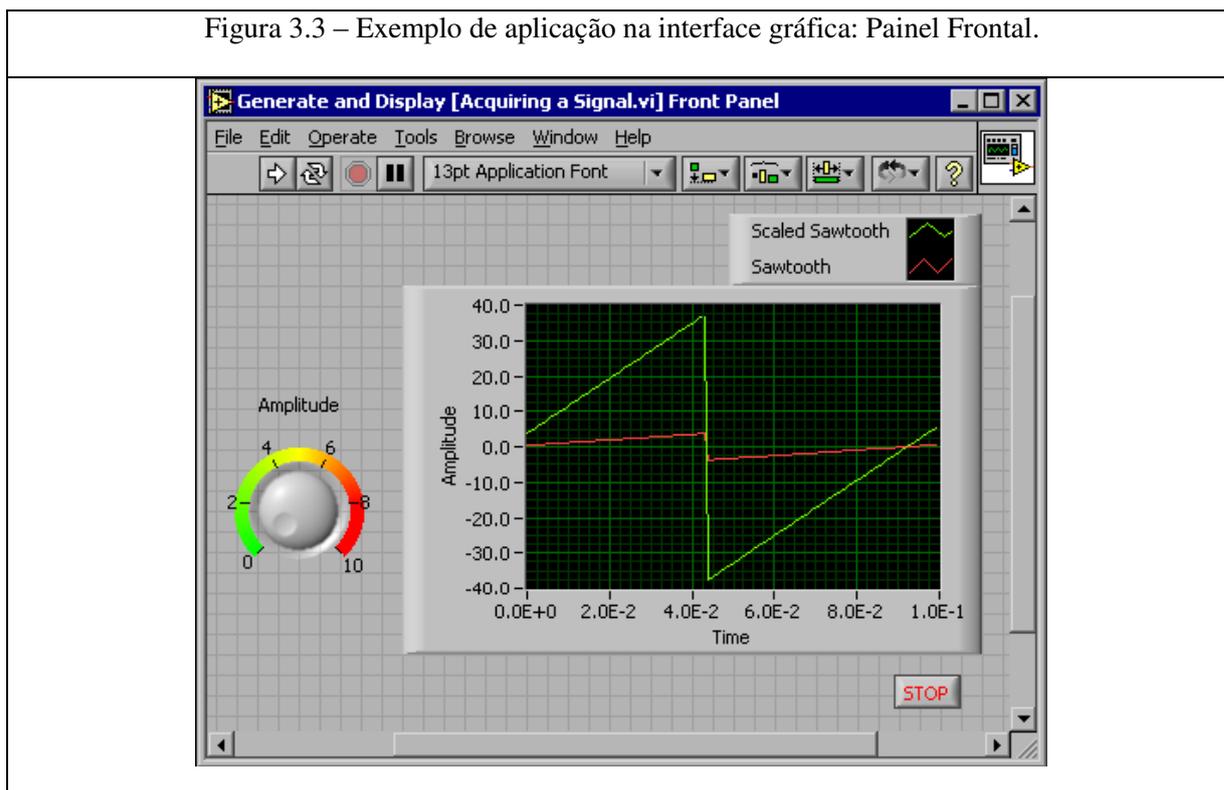
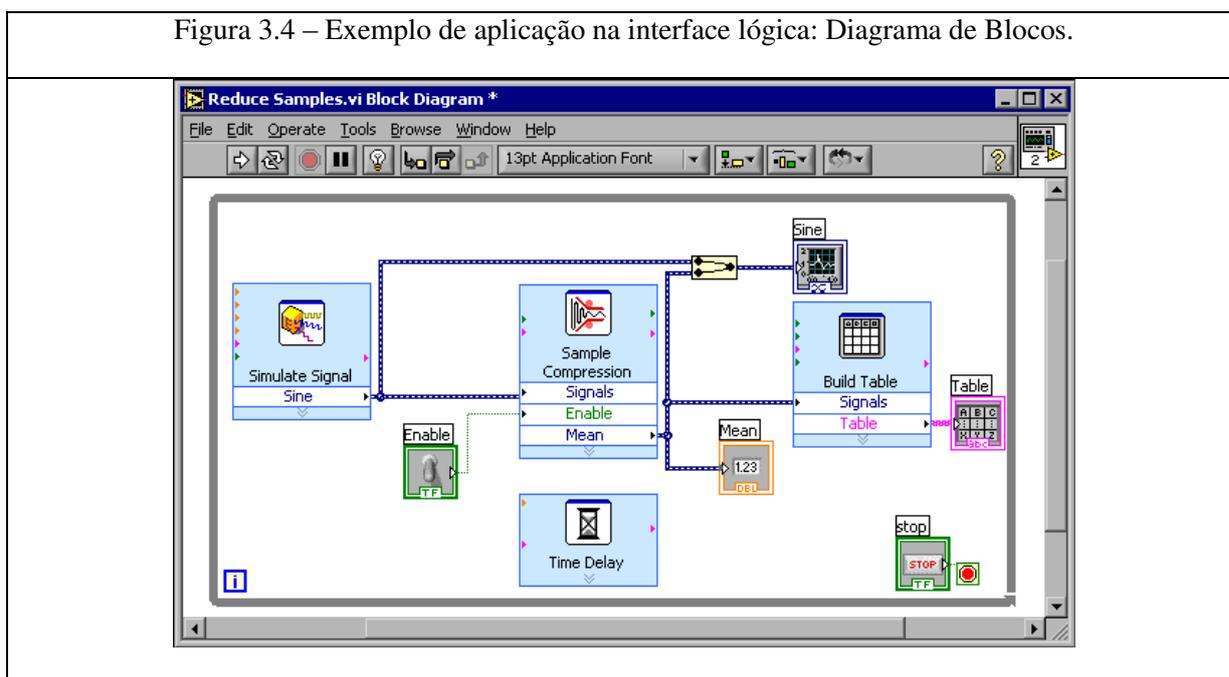


Figura 3.4 – Exemplo de aplicação na interface lógica: Diagrama de Blocos.



Lembrando que, apesar da possibilidade de coexistência das interfaces citadas, e em ambas, ser possível a inserção de instrumentos virtuais, não pode ser considerada válida a afirmação de que um instrumento virtual pode não ser visualizado em ambas as interfaces de modo simultâneo. Esta condição depende do tipo de instrumento virtual selecionado. Em alguns casos é possível a visualização em quaisquer das interfaces existentes, em outros casos apenas em uma das camadas da referida aplicação.

Figura 3.5 – Exemplo de conjunto de ferramentas: Painel de Controle.



De maneira a facilitar o desenvolvimento de novas aplicações, um determinado número de instrumentos virtuais comuns à maioria dos *softwares* é agrupado em um conjunto de ferramentas (Figura 3.5) denominado Paleta de Ferramentas (*Tools Palette*). Através destas ferramentas, é possível inserir elementos comuns às interfaces, Painel Frontal e Diagrama de Blocos, tais como botões de acionamento de dispositivos, controles numéricos, painéis contendo gráficos para exibição de tendências, ou simplesmente caixas de texto para inserção de parâmetros necessários para execução de aplicações. De forma similar, é possível acessar, durante o desenvolvimento, instrumentos virtuais nativos do *software*, agrupados de acordo com as funções que podem executar. Este agrupamento pode ser chamado de paleta, sendo acessível a partir de atalho existente no próprio LABVIEW®.

### 3.2 USO DO LABVIEW® NA GERAÇÃO DE IMAGENS

A operação em câmera de imagens infravermelhas pode ser auxiliada por um conjunto de ferramentas contendo instrumentos virtuais, desenvolvido para facilitar a interação do usuário. Este conjunto de ferramentas é denominado THERMOVISION TOOLKIT® 3.1 e pode ser instalado em conjunto com o LABVIEW®. As principais funções deste conjunto de ferramentas são: estabelecer conexão entre equipamento e *software*, retornar parâmetros medidos pela câmera e permitir exibição de imagens infravermelhas através do *software*. Os instrumentos virtuais presentes no THERMOVISION TOOLKIT® 3.1 estão organizados da seguinte maneira:

- Seção *File*: possui funções relacionadas ao controle da câmera como abertura da conexão lógica com o *software* LABVIEW®, ajuste manual ou automático de foco, retorno de dados exibidos no visor da câmera e, se necessário, controle do equipamento a partir da interface gráfica na camada de aplicação ao usuário;
- Seção *Common*: agrupamento de ferramentas destinadas a operar a conexão da câmera com o *software* LABVIEW®, destacando-se o carregamento da imagem infravermelha preservando dados intrínsecos, como temperatura medida, em cada pixel da imagem e o sequenciamento de imagens capturadas;
- Seção *Digital*: principal agrupamento de ferramentas inclui funcionalidades como: conversão da intensidade de pixels gerados na imagem em temperatura, armazenamento da imagem em formato JPEG;
- Seção *Advanced*: ferramentas com funcionalidades destinadas a equipamentos que possuam dispositivos de alarme (características de modelos específicos da FLIR®

*Systems*) e funções de medida (*meas functions*), proporcionando a inserção de pontos adicionais de medidas na imagem a ser visualizada, e posteriormente recuperada.

Apesar do THERMOVISION TOOLKIT® 3.1 possuir como função principal estabelecer a conexão lógica com o *software* LABVIEW®, a geração e a análise qualitativa de imagens também é possível com a utilização em conjunto com os módulos IMAQ (*Image Aquisition*) e Vision®, estes últimos, nativos do LABVIEW®. O THERMOVISION TOOLKIT® 3.1® possui uma maneira específica de atuação, como descrita a seguir: abertura da conexão, configuração de parâmetros, aquisição de imagem e conversão de temperatura, fechamento da conexão. Para qualquer aplicação desenvolvida com o uso do THERMOVISION TOOLKIT® 3.1® é necessário seguir esta sequência de implementação, em acordo com recomendação sugerida pelo manual do fabricante.

De acordo com as necessidades da aplicação em pauta, bem como o nível de experiência do desenvolvedor, é possível utilizar no mesmo ambiente a combinação daquelas ferramentas, conjuntamente com os modelos de aquisição e visualização de imagens, nativos do LABVIEW®. Notar que em casos como estes, as funcionalidades existentes em um dos módulos utilizados são comuns entre si, restando como escolha particular do operador, a seleção da funcionalidade do módulo de acordo sua necessidade.

Também é possível estabelecer a diferença acerca da maneira de aquisição externa para dados (sinal para geração de imagens) e o tipo do desenvolvimento a ser utilizado. Caso a fonte externa de dados seja a partir de uma interface IMAQ é preciso utilizar os *drivers* de comunicação fornecidos com o *hardware* IMAQ. Caso o dispositivo de aquisição externa de dados seja uma placa FLIR-PC ou ITEX Digital deve-se utilizar o instrumento virtual *GetImage*, especificando o tipo de imagem a ser utilizado (*RAW*, absoluta ou contendo dados de temperatura).

Em casos de aquisição de imagens em alta velocidade recomenda-se a utilização do instrumento virtual THERMOVISION *Digital GetImages*. Porém antes que a aquisição de imagens seja realizada é necessário pré-alocar memória de imagens com a ajuda do instrumento virtual THERMOVISION *Digital SetImageSize*. Ao sair da aplicação é necessário liberar os recursos de memória utilizados, para que esteja disponível a outras aplicações. Esta ação é executada com auxílio dos seguintes instrumentos virtuais: IMAQ *Close*, IMAQ *WindClose*, IMAQ *Dispose* e THERMOVISION *Close*.

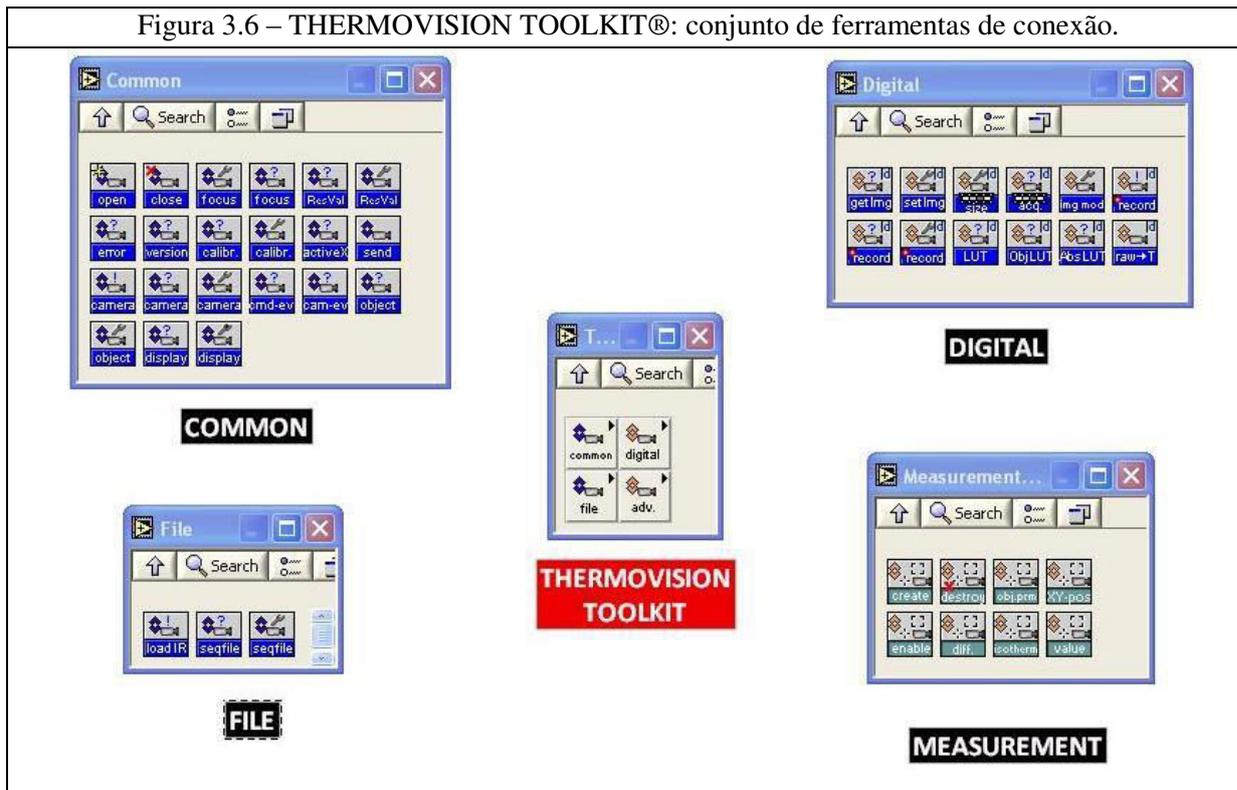
É importante notar para que, as medidas efetuadas no LABVIEW® com auxílio do THERMOVISION TOOLKIT® sejam corretas, é necessário efetuar a calibração adequada do equipamento utilizado. Um dispositivo interno de compensação de temperatura efetua a atualização de leitura toda vez que a temperatura possui uma variação de cerca de 0,5 °C ou a cada quinze (15) minutos, o que ocorrer primeiro. Este tipo de ação é realizado para manter a precisão do sensor para medidas, e conseqüentemente a captura da imagem termográfica seja correta.

Parâmetros de configuração devem ser ajustados de modo a permitir uma captura de imagens e leituras de dados corretas. Estes parâmetros são:

- **Intervalo de Temperatura:** cada câmera possui capacidade de visualizar um ou mais intervalos de temperatura. A visualização de determinados intervalos depende da utilização de filtros, que bloqueiam determinados comprimentos de onda para visualização de temperaturas;
- **Dados Visualizados na Tela:** determinam o intervalo de temperatura para aquisição e a escala para exibi-los;
- **HiScale e LoScale:** não possui efeito no ambiente LABVIEW®, porém afeta o modo como as imagens são exibidas em tela. Definem as temperaturas máximas e mínimas exibidas na tela;

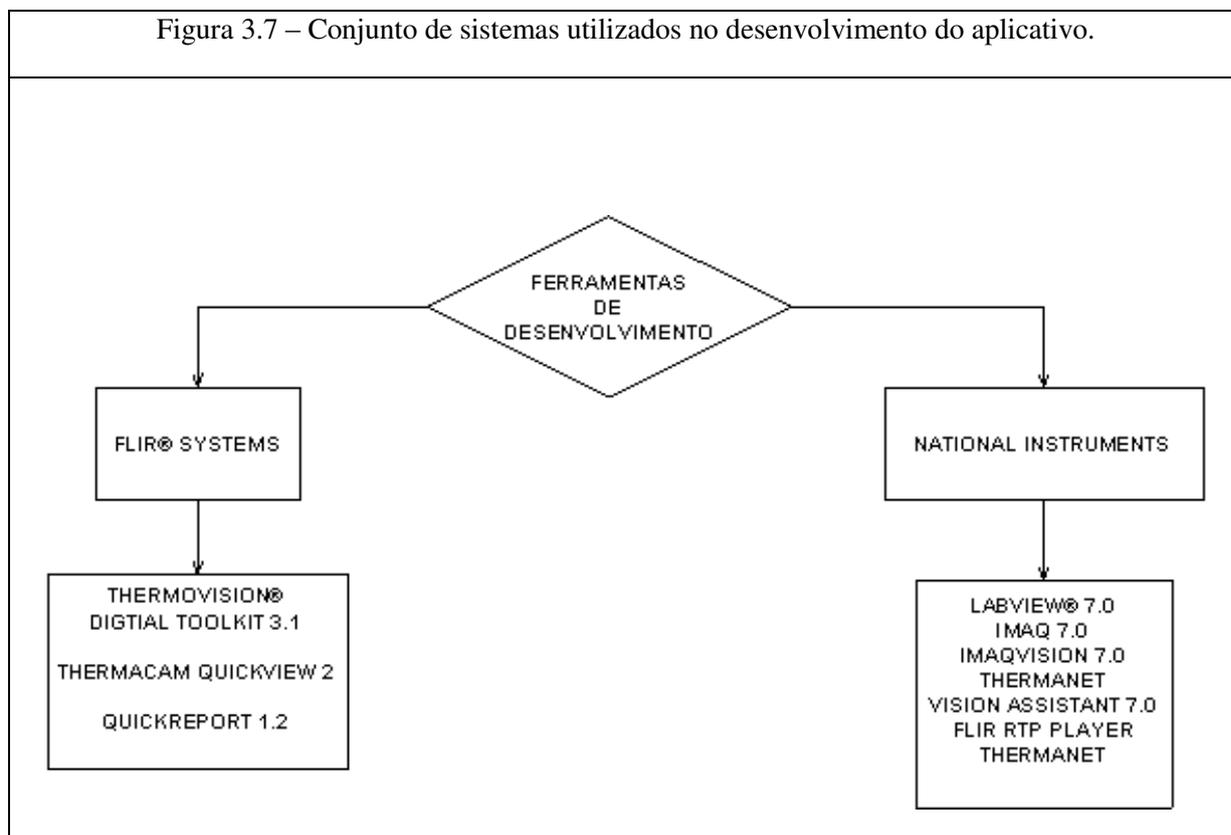
- **Distância:** consiste na distância em metros entre a superfície da lente da câmera e o objeto visualizado. Este parâmetro é utilizado pela câmera para corrigir o fato de que a radiação está sendo absorvida no percurso entre câmera e objeto e de que a energia transmitida decai com o a distância;
- **Emissividade:** este valor indica a habilidade de uma superfície em emitir radiação. A escala operacional pode ajustar valores de 0,1 a 0,98;
- **Umidade Relativa:** para pequenas distâncias e umidade normal é possível deixar este valor em torno de 50%, podendo ser ajustado de modo a uma maior precisão dos valores que ficam numa faixa de 0,0 a 1,0;
- **Temperatura Refletida:** consiste na temperatura que circunda o ambiente onde está o objeto medido. A câmera utiliza este parâmetro para compensar a radiação refletida pelas vizinhanças do objeto. Caso a emissividade do objeto seja de 0,75, então 75% da radiação detectada pela câmera indica a temperatura do objeto e 25% indica a temperatura ambiente. Caso a emissividade seja baixa, à distância para o objeto seja grande e a temperatura do objeto seja próxima à do ambiente então é importante definir a temperatura ambiente corretamente caso contrário à câmera poderá tentar compensar esta diferença;
- **Temperatura Ambiente:** temperatura da atmosfera, medida em Kelvin, entre a câmera e o objeto. A câmera utiliza este dado para compensar a radiação emitida da atmosfera entre a câmera e o objeto.

Figura 3.6 – THERMOVISION TOOLKIT®: conjunto de ferramentas de conexão.



### 3.3 USO DO LABVIEW® COM IMAGENS INFRAVERMELHAS

Dentro das múltiplas possibilidades de aplicação, a geração de imagens constitui-se em uma funcionalidade explorada do LABVIEW®. As ferramentas de desenvolvimento utilizadas foram obtidas a partir de *softwares* fornecidos pela FLIR® (THERMOVISION DIGITAL 3.1, THERMACAM QUICKVIEW 2, QUICKREPORT 1.2) e pela National Instruments® (LABVIEW 7.0, IMAQ 7.0, IMAQ VISION 7.0, THERMANET, VISION ASSISTANT 7.0 FLIR RTP PLAYER, THERMANET) (Figura 3.7).



Os passos gerais para a criação de uma aplicação no LABVIEW® estão descritos na Figura 3.8, onde o sinal de vídeo após captura pelo sensor da câmera é visualizado através da plataforma LABVIEW® mediante a utilização dos módulos de visualização e tratamento de imagens (IMAQ, IMAQ VISION e THERMOVISION DIGITAL TOOLKIT) de acordo com a necessidade da recuperação de imagens: tratamento ou visualização. Adicionalmente e com intuito de facilitar o desenvolvimento do aplicativo e das funcionalidades desejadas a partir da geração de imagens obtidas da câmera infravermelho foi desenvolvida uma descrição dos processos que compõem a aquisição e tratamento da imagem. (Figura 3.9).

Figura 3.8 - Passos gerais para criar uma aplicação no LABVIEW®.

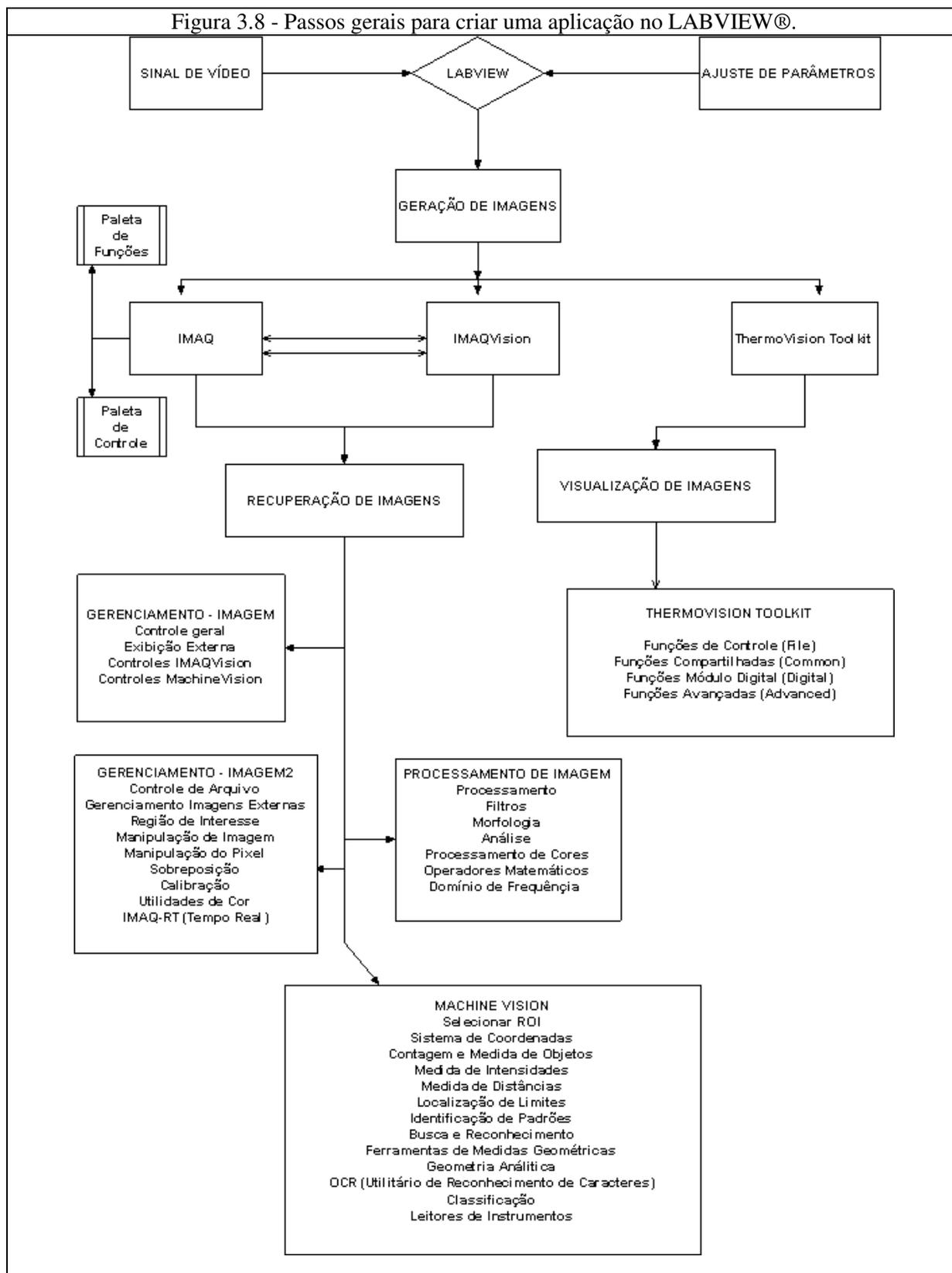
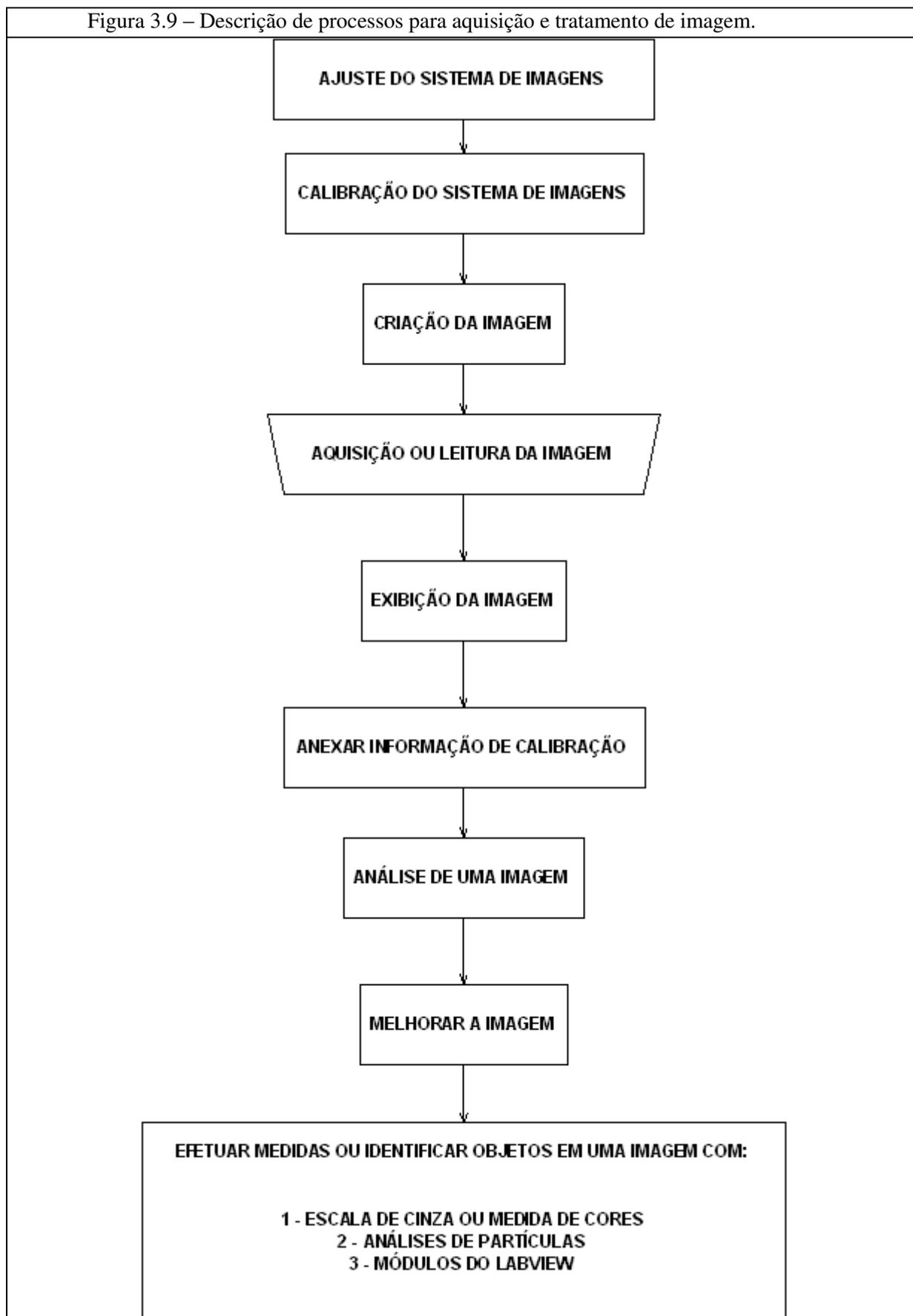


Figura 3.9 – Descrição de processos para aquisição e tratamento de imagem.



Considerando que a câmera capta imagens em formato *JPEG* com informações relacionadas às temperaturas nela contidas. Dentre as principais possibilidades de utilização do *toolkit* destacam-se funções comuns que contém instrumentos virtuais que retornam e enviam dados de ajuste da câmera, instrumento no qual o LABVIEW® obtém dados externos para análise. Tais dados podem ser exemplificados como:

- Ajuste de foco (automático ou manual);
- Dados correlatos ao ambiente de captura da imagem infravermelha (emissividade, temperatura ambiente);
- Tipo de paleta de cores utilizada na captação de imagens;
- Abertura e fechamento da conexão da câmera com o pacote LABVIEW®.

É possível também destacar a existência de um conjunto de ferramentas agrupadas sob o título de **Digital**, que exercem basicamente a função de capturar e processar digitalmente as imagens geradas pela câmera de infravermelho. São funcionalidades tais como:

- Gravação das imagens em modo de fotografia, geração de filmes com base em parâmetros fornecidos pelo usuário do pacote LABVIEW® ou diretamente através da interface existente no próprio equipamento de captura de imagens infravermelho.

É também possível, destacar a existência de recursos para geração de aplicações em modo de execução *stand-alone*, com base em arquivo executável gerado pelo próprio LABVIEW®. O objetivo consiste na execução do aplicativo em máquinas que não possuam o pacote computacional instalado, por limitação de recursos financeiros ou por especificação técnica dos computadores, aptos a executar o referido *software*.

Menciona-se a existência de funcionalidades de medida que consistem basicamente na delimitação de áreas restritas da imagem com base em formatos geometricamente definidos (círculo, retângulo, ponto), com conseqüente restrição da área medida e exibição na interface do usuário. Histogramas, região de interesse (*ROI*).

O pacote LABVIEW® possui um módulo para tratamento de imagens nativo, denominado Vision®, é composto por quatro sub-módulos:

- **IMAQ (*Image Aquisition*)** – contém instrumentos virtuais capazes de adquirir e configurar sistemas de geração de imagens, bem como abrir e fechar o canal de comunicação entre a câmera e a camada interface do programa existente no pacote LABVIEW®;
- **Vision® Utilities** – contém instrumentos virtuais utilizados na criação e manipulação de imagens a partir do modulo IMAQ;
- **Machine Vision** – conjunto de funções que permite realizar diferenciação de imagens ou parte delas, bem como realizar medidas relacionadas à especificação de dimensões;
- **Image Processing** – conjunto de instrumentos virtuais utilizados para analisar e processar as imagens capturadas com os dispositivos IMAQ.

O LABVIEW® é um *software* destinado a inúmeras aplicações, no presente trabalho será abordado o desenvolvimento com a finalidade de geração de imagens. Qualquer aplicação que envolva a geração de imagens a partir de dispositivos produzidos pela FLIR® necessita que se efetue a abertura e o posterior fechamento da conexão. Ao se estabelecer um canal de comunicação por onde o fluxo de informações é direcionado, ao final de cada ciclo deve ser fechada a conexão estabelecida. Por outro lado, ao se executar posteriormente outra aplicação a abertura do canal de comunicação impede a correta execução das novas ações solicitadas.

A criação de uma imagem pode ser feita com a ajuda do instrumento virtual denominado IMAQ *Create*. Cada imagem criada requer um nome único. Desta maneira é necessário determinar o número de imagens necessárias para análise da aplicação pretendida.

Quando uma imagem é criada, o instrumento virtual denominado IMAQ *Vision* cria uma estrutura interna de imagem para armazenar propriedades da imagem, tais como nome e tamanho de borda. Entretanto, nenhuma quantidade de memória é alocada para armazenar os *pixels* da imagem neste momento. Os instrumentos virtuais do IMAQ *Vision* automaticamente alocam a quantidade apropriada de memória quando o tamanho da imagem é modificado. Por exemplo, o instrumento virtual que captura ou reordena uma imagem, altera o tamanho da mesma, podendo então alocar o espaço de memória apropriado para os *pixels* da imagem.

A saída de informação do instrumento virtual denominado IMAQ *Create* é uma referência para a estrutura da imagem. Esta referência serve como fonte de informação em entrada de dados, para as funções subsequentes do instrumento virtual IMAQ *Vision*. O que remete sempre, à necessidade de um comando, especificando para encerrar a execução do programa, concomitantemente com fechamento do canal de comunicação estabelecido na interface software-equipamento. Outro ponto a destacar é a necessidade que o *software* tem de estabelecer a comunicação física, assim como necessita de um instrumento virtual específico para geração das imagens captadas pela câmera para exibição na interface gráfica na camada usuário.

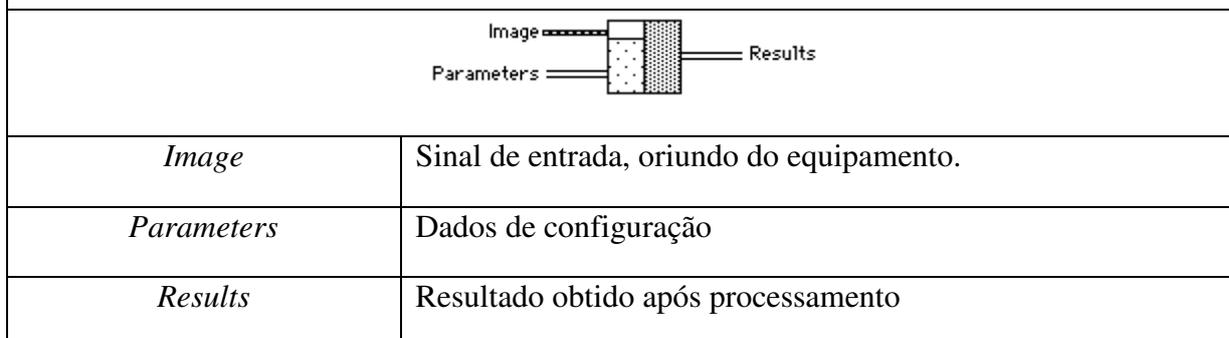
A maioria dos instrumentos virtuais pertencentes à biblioteca do IMAQ *Vision* requer a entrada de uma ou mais referências. O número de referências de imagens que um instrumento virtual necessita, depende da função de processamento da imagem e do tipo que se necessita utilizar. Os instrumentos virtuais do IMAQ *Vision* que analisam a imagem, porém não modificam o conteúdo, requerem apenas a entrada de dados para uma única referência de imagem. Instrumentos virtuais que processam o conteúdo de imagens requerem uma referência para a imagem-fonte e outra para a imagem destino, ou seja, os instrumentos virtuais devem possuir destino opcional para a imagem. Caso não seja indicado um destino para a imagem, o instrumento virtual modifica a imagem fonte.

Ao final de cada aplicação é utilizado o instrumento virtual IMAQ *Dispose* para liberar a quantidade memória alocada para geração e a análise desejada. Vale ressaltar que de acordo com o tipo de função realizada pelo instrumento virtual selecionado, é possível determinar padrões de conexão entre os próprios instrumentos virtuais ou com elementos da interface gráfica. Esta possibilidade decorre da existência de conectores específicos relacionados com um instrumento virtual. Desta maneira, fica mais fácil o trabalho de conexão lógica dos respectivos instrumentos virtuais na camada lógica do *software*, chamada de diagrama de blocos.

Conforme pode ser visto a partir da na Figura 3.10, são descritos os principais tipos de conectores utilizados para o desenvolvimento citado.

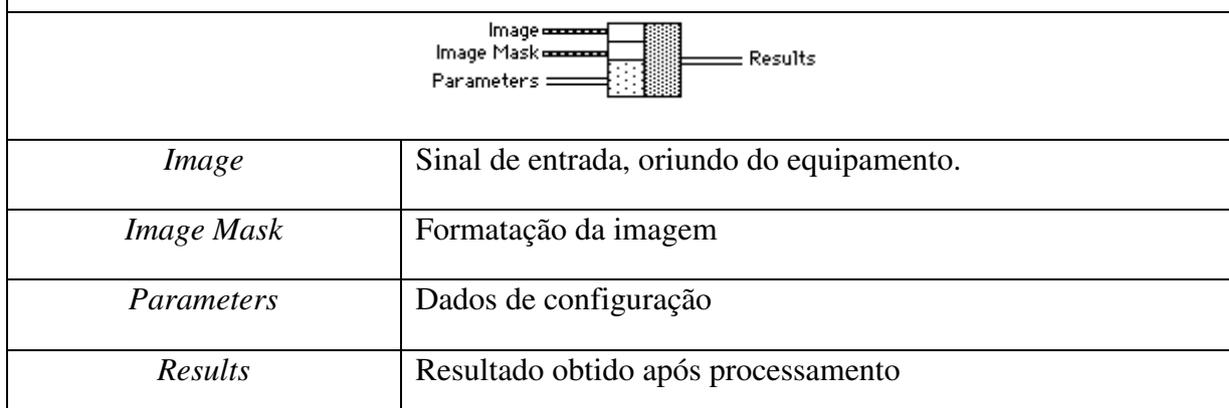
- **Análise de Imagem** - este tipo de conector se aplica somente a instrumentos virtuais que analisam uma imagem e não efetuam modificações seja o tamanho ou no conteúdo da imagem. Exemplos destes tipos de operações incluem análise de partículas e cálculos de histogramas;

Figura 3.10 – Exemplo de instrumento virtual com conector para análise de imagem (Adaptado de “National Instruments® LABVIEW® User manual, 2003”).

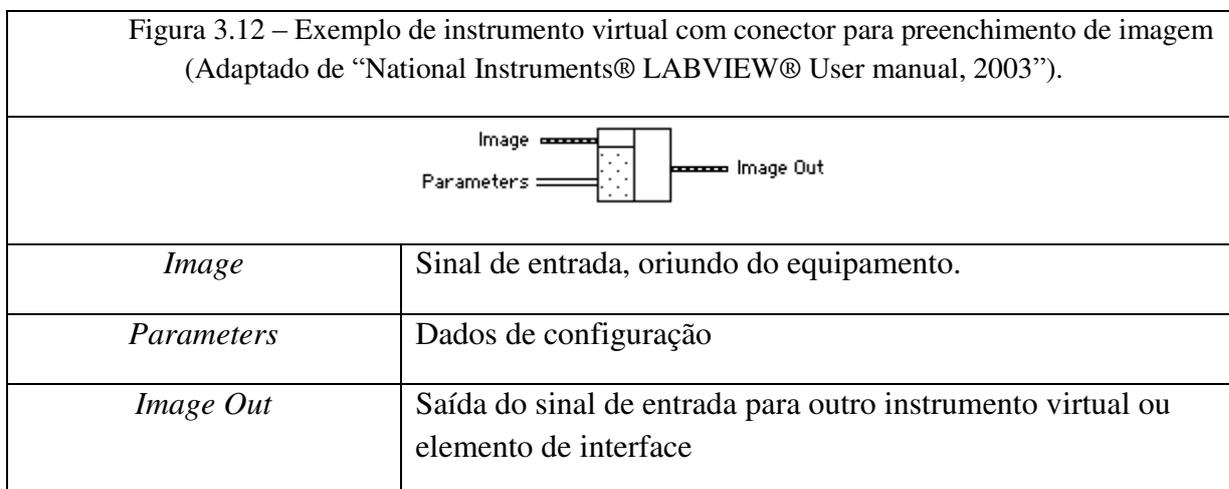


- **Máscaras de Imagem** – a presença de uma máscara de imagem indica que o processamento ou análise é dependente do conteúdo de outra imagem. Os únicos *pixels* processados na imagem são aqueles cujo correspondente na máscara de imagem são diferentes de zero. Se um pixel de imagem de máscara é zero, o pixel correspondente da imagem não foi modificado. A máscara de imagem deve ser do tipo 8-bits. Caso se deseje aplicar algum processamento ou função de análise não é necessário conectar a entrada de máscara de imagem. Conectando a mesma imagem em ambas as entradas de dados - imagem e máscara de imagem fornecem o mesmo efeito do que deixando a entrada de máscara de imagem desconectada, exceto no caso da imagem ser do tipo 8-bits;

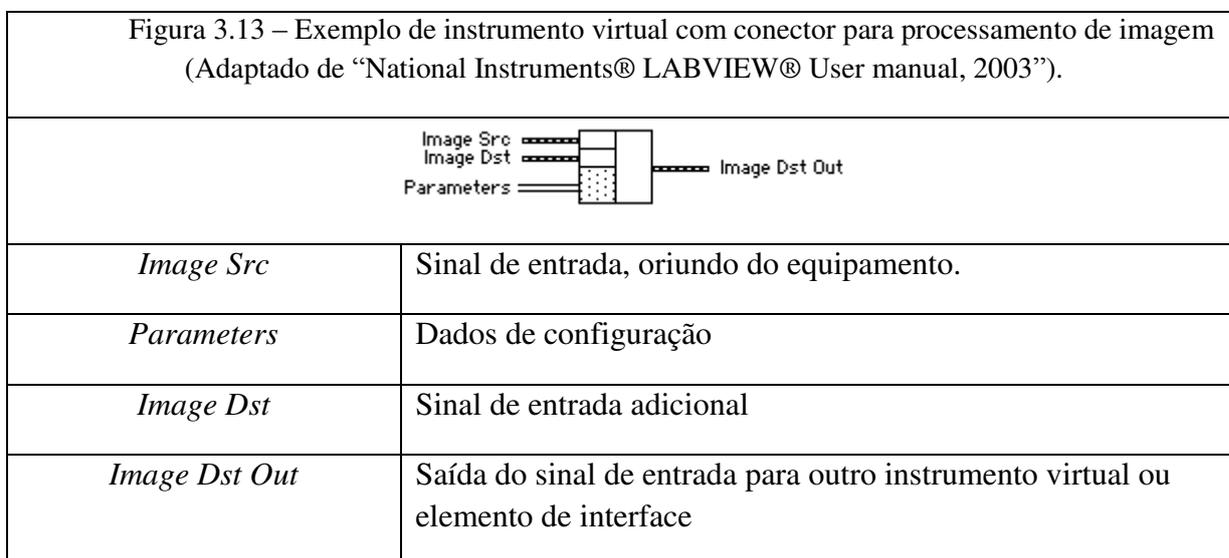
Figura 3.11 – Exemplo de instrumento virtual com conector para máscaras de imagem (Adaptado de “National Instruments® LABVIEW® User manual, 2003”).



- **Preenchimento de Imagem** – este instrumento virtual efetua operação de preenchimento de imagem. Exemplos deste tipo de operação incluem leitura de arquivos, aquisição de imagem a partir de um dispositivo IMAQ ou transformação 2D em uma imagem;



- **Processamento de Imagem** – este conector é o mais comum no IMAQ *Vision*. A entrada de dados *Input Src* recebe a imagem a ser processada. A entrada de dados *Image Dst* pode receber tanto uma imagem extra como a original, dependendo dos objetivos a serem atingidos. Caso duas imagens diferentes sejam conectadas as duas entradas de dados, a imagem original *Image Src* não é modificada;



Como exibido nos diagramas da Figura 3.13 se *Image Dst* e *Image Src* recebem a mesma imagem, ou se nada for conectado a *Image Dst*, a imagem processada é colocada como imagem original e os dados referentes à imagem original são perdidos.

Figura 3.14 - Exemplo de instrumento virtual com conector processamento de imagem (Adaptado de “National Instruments® LABVIEW® User manual, 2003”).



A entrada de dados *Image Dst* consiste na imagem que recebe os resultados processados. De acordo com a funcionalidade do instrumento virtual, esta imagem pode ser tanto a mesma, ou ser diferente em relação à imagem que a originou. A imagem conectada à *Image Dst* é redimensionada de acordo com a imagem que originou (Figura 3.14). As imagens geradas pela câmera foram ajustadas para exibição em formato padrão de visualizador de imagens *JPEG* (*Joint Photographic Experts Group*). Porém existe a possibilidade de salvar em diversos formatos aceitos universalmente tais como: *BMP* (Bitmap Padrão), *TIFF* (*Tagged Image File Format*) e *PNG* (*Portable Network Graphics*). A preferência para o formato *JPEG* se deve principalmente aos seguintes fatores: boa qualidade final de imagem, com baixo nível de distorções em relação à imagem original capturada pela câmera, e principalmente, menor tamanho do arquivo final, fato que proporciona economia de recursos e comodidade para transporte e armazenamento.

## 4 DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL EM PLATAFORMA LABVIEW®

### 4.1 DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

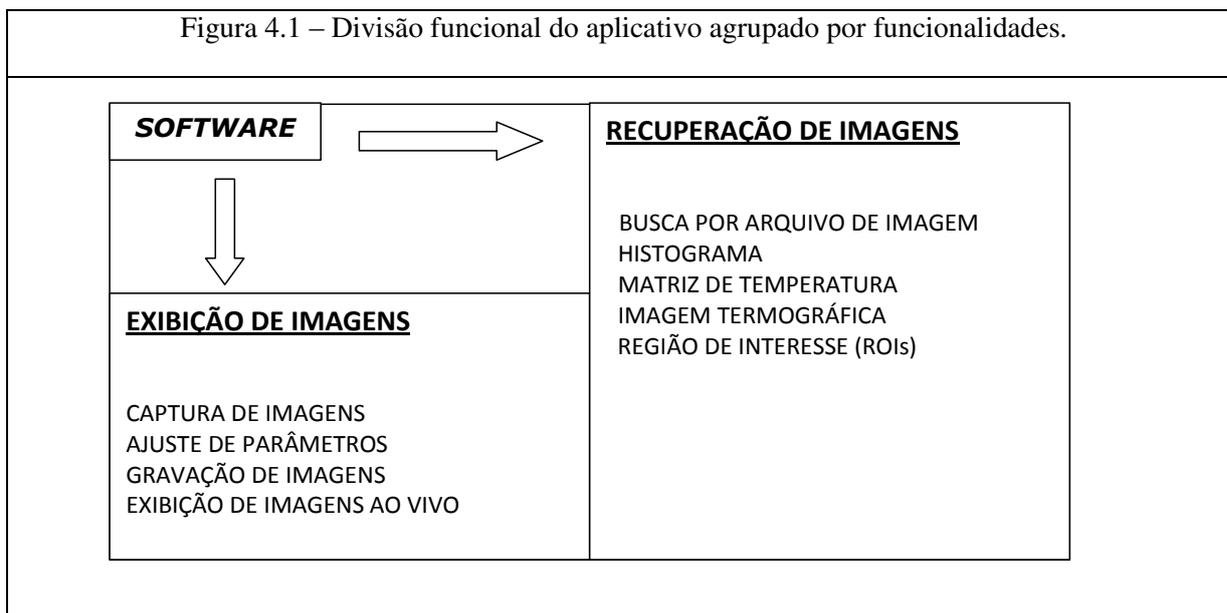
O desenvolvimento de uma aplicação na plataforma LABVIEW® permitiu agregar funcionalidades de interesse, descritas a seguir. Análises qualitativas de imagens infravermelhas, como aquisição e exibição de imagens capturadas pelo equipamento, controle do foco e seleção do tipo de paleta foram incorporadas através da interface gráfica do aplicativo. Outras funcionalidades presentes são: recuperação das imagens salvas pelo equipamento, determinação de parâmetros de análise mediante indicadores de temperatura e delimitação da área na figura a ser analisada. Entre as informações consideradas essenciais para o desenvolvimento constavam as correlações necessárias para compreensão do fenômeno de captura, e posterior transformação dos dados relativos de temperatura a serem visualizados no visor da própria câmera ou através da interface gráfica desenvolvida no *software* LABVIEW®. Após diversas tentativas fracassadas de estabelecer contato com o fabricante do equipamento, para obtenção de informações relacionadas ao princípio de funcionamento da câmera, decidiu-se aproveitar os recursos disponibilizados pelo *software* LABVIEW®, de modo a permitir a criação de uma ferramenta útil para análise de imagens termográficas geradas pela câmera. Tais imagens são feitas tanto em aplicações de engenharia, ou em casos específicos, como identificação de tumores no corpo humano, âmbito da pesquisa desenvolvida no Hospital das Clínicas (UFPE).

Para compreensão da aplicação desenvolvida, decidiu-se estruturar a ferramenta em dois módulos independentes e complementares, descritos de acordo com o modo de exibição da imagem (ao vivo ou recuperada) a ser gerada pela câmera.

No primeiro módulo designado como ***Exibição de Imagens*** ficam agrupadas funções relativas com captura e exibição das imagens ao vivo, ajustes de parâmetros de controle da câmera e gravação das imagens captadas pelo sensor do equipamento.

Em outro módulo, denominado ***Recuperação de Imagens*** estão agrupadas funções de aberturas de imagens salvas em local de armazenamento pré-definido por programação, e posterior análise qualitativa dos dados obtidos.

Figura 4.1 – Divisão funcional do aplicativo agrupado por funcionalidades.



A seguir, é apresentado o detalhamento de cada um dos módulos mencionados anteriormente.

#### 4.1.1 MÓDULO EXIBIÇÃO DE IMAGENS – INSTRUMENTOS VIRTUAIS UTILIZADOS

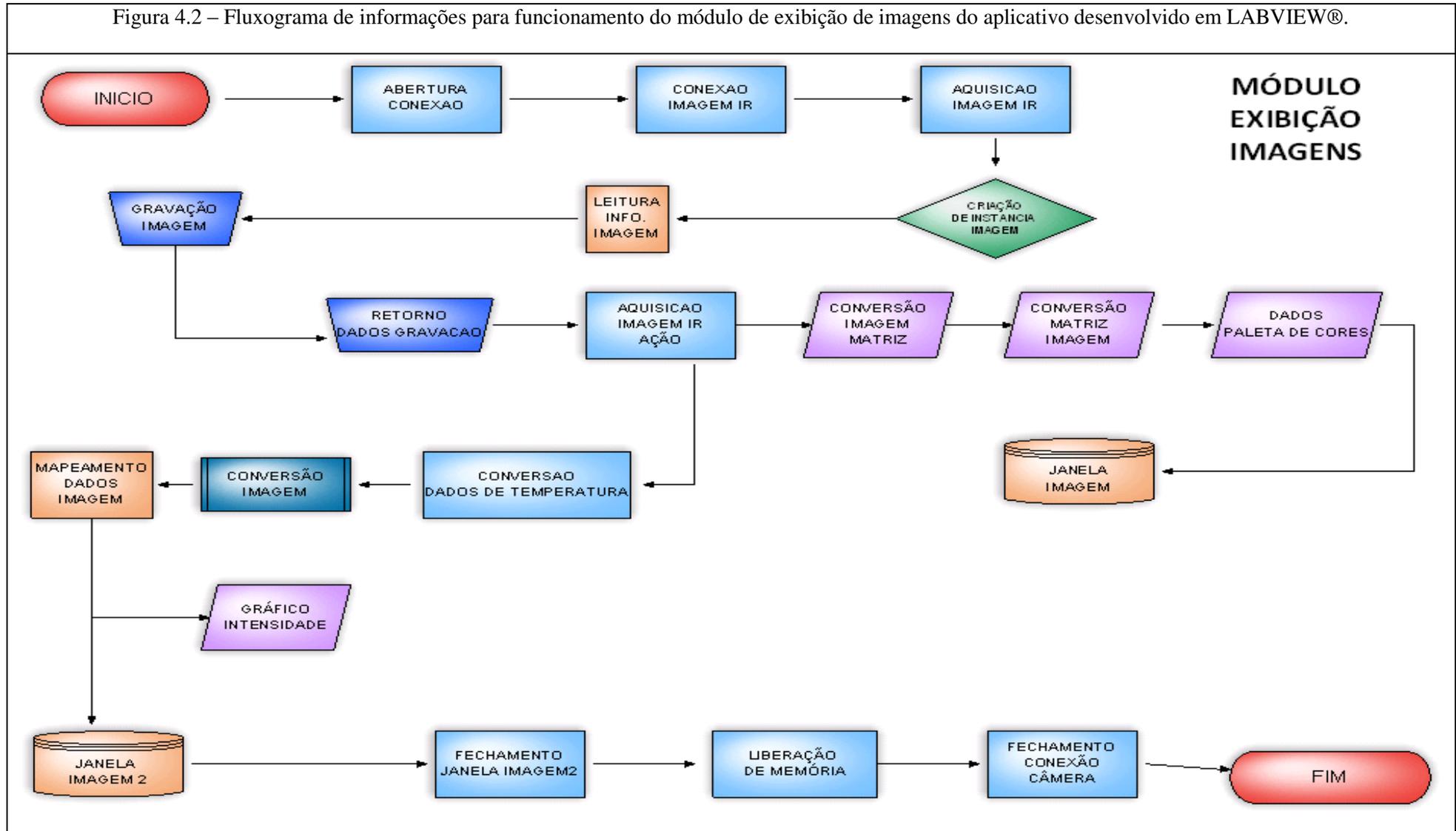
Tabela 4.1 – Descrição dos instrumentos virtuais utilizados no Módulo Exibição de Imagens.

| Nº | Instrumento Virtual                            | Descritivo - Função   |
|----|--|---|
| 1  | THERMOVISION <i>Open</i>                       | Estabelece a conexão entre a câmera e o LABVIEW®.                               |
| 2  | <i>IRImage Open</i>                            | Abre a conexão com dispositivo infravermelho.                                   |
| 3  | <i>IRImage Setup</i>                           | Prepara a fonte de imagem infravermelha para aquisição.                         |
| 4  | <i>IMAQ Create</i>                             | Cria instância de abertura de imagem.   |
| 5  | <i>IMAQ WindDisplay Mapping</i>                | Estabelece padrões de mapeamento de imagem para arquivos de 16 bits.            |
| 6  | THERMOVISION <i>Digital GetImage</i>           | Retorna a informação referente a um pixel capturado pela câmera.                |
| 7  | THERMOVISION <i>Digital RecordingAction</i>    | Executa a gravação de uma imagem captada pela câmera.                           |
| 8  | THERMOVISION <i>Digital GetRecordingAction</i> | Seleciona o tipo de ação a ser efetuada durante a gravação da imagem da câmera. |
| 9  | THERMOVISION <i>SetFocus</i>                   | Controla o mecanismo de foco na câmera.   |
| 10 | <i>IRImage Acquire</i>                         | Efetua a aquisição da imagem da câmera.   |
| 11 | <i>IMAQ ImageToArray</i>                       | Copia os pixels de uma imagem no LABVIEW® para uma matriz 2D.                   |
| 12 | <i>IMAQ ArrayToImage</i>                       | Cria uma imagem a partir de uma matriz 2D.                                      |

|    |                                      |   |
|----|--------------------------------------|---|
| 13 | <i>IMAQ GetPalette</i>               | Seleciona um determinado tipo de paleta de cores para exibição.                                   |
| 14 | <i>IMAQ WindDraw</i>                 | Cria uma janela e exibe uma imagem a partir da fonte de criação selecionada.                      |
| 15 | <i>THERMOVISION Digital SetImage</i> | Estabelece uma imagem a partir de dados <i>RAW</i> .  |
| 16 | <i>Recording ReadFromFile</i>        | Lê e exibe imagens com informações infravermelhas a partir de um arquivo gravado.                 |
| 18 | <i>IRImage Close</i>                 | Fecha a conexão com a câmera para imagens infravermelhas.   |
| 19 | <i>Array To Spreadsheet String</i>   | Converte uma matriz de dimensão n em uma expressão em formato de tabela, gerando um novo arquivo. |
| 20 | <i>Write Characters To File</i>      | Cria ou abre um arquivo antes de escrever informações no mesmo.                                   |
| 21 | <i>IMAQ Wind Close</i>               | Fecha janela criada anteriormente.  |
| 22 | <i>IMAQ Dispose</i>                  | Destrói uma imagem e libera espaço de memória deixando a conexão livre.                           |
| 23 | <i>THERMOVISION Close</i>            | Destrói a conexão criada com o <i>THERMOVISION Open</i> .   |
| 24 | <i>Simple Error Handler</i>          | Indica se houve erro de execução do programa criado.  |

#### 4.1.2 MÓDULO EXIBIÇÃO DE IMAGENS – FLUXO DE INFORMAÇÕES

Figura 4.2 – Fluxograma de informações para funcionamento do módulo de exibição de imagens do aplicativo desenvolvido em LABVIEW®.



### 4.1.3 MÓDULO EXIBIÇÃO DE IMAGENS – DETALHAMENTO

Tabela 4.2 – Sequência de ações efetuadas na execução do Módulo Exibição de Imagens.

| ETAPA (nº) | DESCRIÇÃO ETAPA  |
|------------|--|
| 1          | Abertura da conexão entre a câmera e o <i>software</i> .   |
| 2          | Conexão entre a fonte de imagem infravermelha e a instância do <i>software</i> que captura a imagem da câmera. |
| 3          | Imagem com informação infravermelha é adquirida.   |
| 4          | Aplicativo cria a instância responsável pela exibição da imagem na interface da camada do usuário.             |
| 5          | Leitura das informações contidas na imagem.  |
| 6          | Gravação da imagem.  |
| 7          | Instância de gravação de imagem é aberta.  |
| 8          | Exibição dos dados de gravação.  |
| 9          | Gravação efetiva da imagem.  |
| 10         | Conversão da imagem em formato de matriz de temperaturas.  |
| 11         | Seleção do tipo de paleta utilizada para exibição da imagem.   |
| 12         | Ajuste e seleção do tipo de foco.  |
| 13         | Geração de janela contendo imagem com exibição filtrada com paleta de cores escolhida.                         |
| 14         | Seleção de parâmetros de gravação.   |
| 15         | Dispositivo de captura e exibição da imagem em janela auxiliar (foto).   |
| 16         | Fechamento janela imagem.  |
| 17         | Memória alocada para estabelecimento da conexão hardware- <i>software</i> é liberada.                          |
| 18         | Fechamento da conexão com a câmera.  |
| 19         | Término de execução da rotina do programa.   |

#### 4.1.4 MÓDULO RECUPERAÇÃO DE IMAGENS - INSTRUMENTOS VIRTUAIS UTILIZADOS

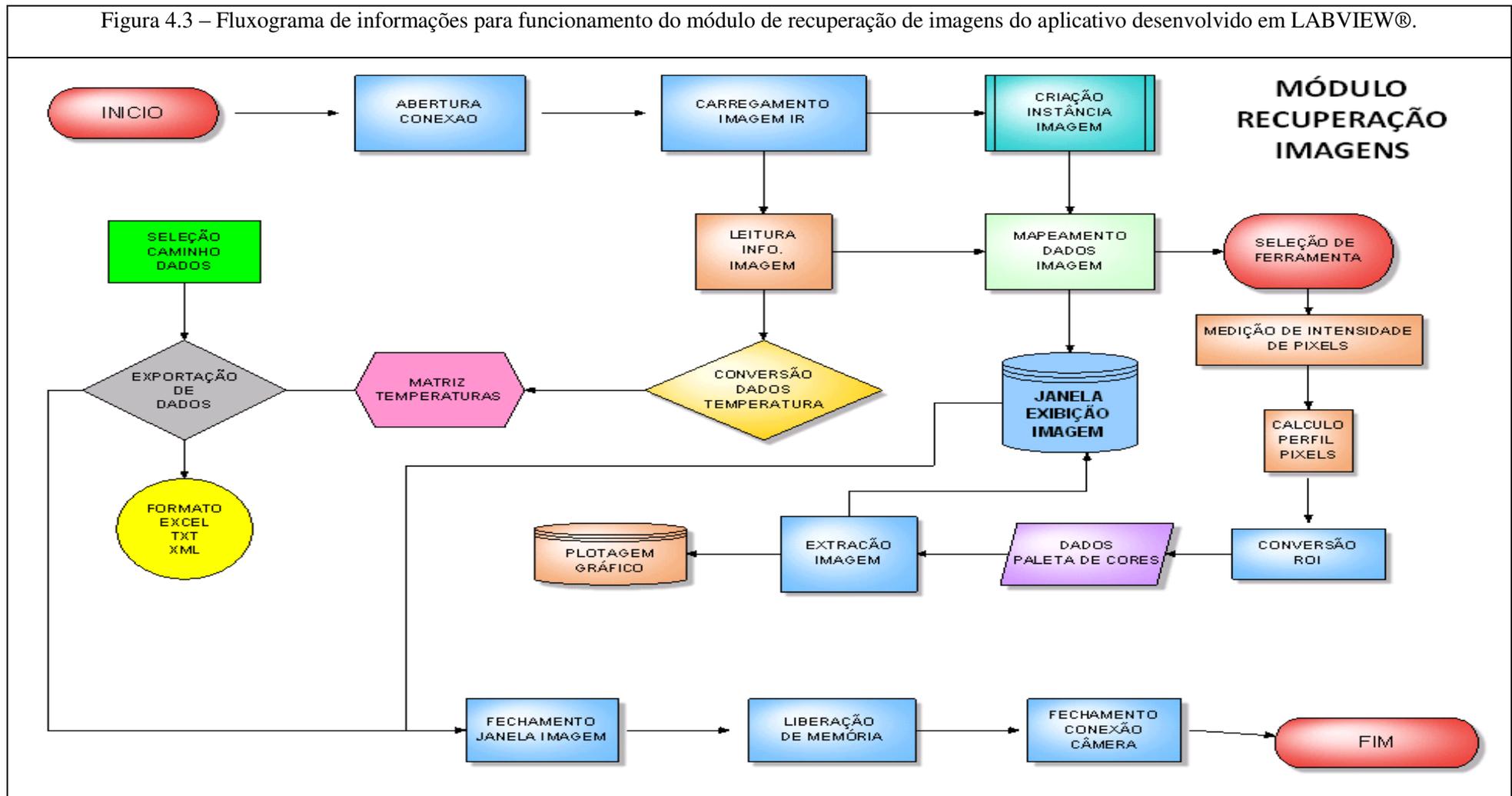
Tabela 4.3 – Descrição dos instrumentos virtuais utilizados no Módulo Recuperação Imagens.

| Nº | Instrumento Virtual                  | Descritivo - Função   |
|----|--------------------------------------|---|
| 1  | THERMOVISION <i>Open</i>             | Estabelece a conexão entre a câmera e o LABVIEW®.   |
| 2  | THERMOVISION <i>Load IRFile</i>      | Carrega o conteúdo de imagem infravermelha.   |
| 3  | THERMOVISION <i>Digital GetImage</i> | Retorna a informação referente a um pixel capturado pela câmera.  |
| 4  | THERMOVISION <i>Digital GetLUT</i>   | Retorna a tabela de transformação de temperatura.   |
| 5  | IMAQ <i>Cast Image</i>               | Converte a imagem especificada em um determinado formato. Pode ser utilizado com a informação de <i>LookupTable</i> (tabela modelo utilizada para conversão de tipo de imagem). |
| 6  | IMAQ <i>GetFileInfo</i>              | Obtém informações acerca dos componentes da imagem.   |
| 7  | IMAQ <i>ReadFile</i>                 | Lê o conteúdo existente em uma imagem.  |
| 8  | IMAQ <i>Extract</i>                  | Extrai em uma imagem menor uma parte de uma imagem maior.   |
| 9  | IMAQ <i>WriteFile</i>                | Gera um arquivo de imagem.  |
| 10 | IMAQ <i>WindDraw</i>                 | Cria uma janela e exibe uma imagem a partir da fonte de criação selecionada.  |
| 11 | IMAQ <i>Create</i>                   | Cria instância de abertura de imagem.   |
| 12 | IMAQ <i>ImageToArray</i>             | Copia os pixels de uma imagem no LABVIEW® para uma matriz 2D.   |
| 13 | IMAQ <i>ArrayToImage</i>             | Cria uma imagem a partir de uma matriz 2D.  |
| 14 | IMAQ <i>GetPalette</i>               | Seleciona um determinado tipo de paleta de cores para exibição.   |

|    |                                      |   |
|----|--------------------------------------|---|
| 15 | <i>IMAQ Select Line</i>              | Permite a seleção do local de uma linha de uma imagem.  |
| 16 | <i>IMAQ Select Point</i>             | Permite a seleção do local de um ponto de uma imagem.   |
| 17 | <i>IMAQ Select Rectangle</i>         | Permite a seleção do local do retângulo de uma imagem.  |
| 18 | <i>IMAQ Light Meter (Rectangle)</i>  | Mede a intensidade de <i>pixels</i> no retângulo de uma imagem.                               |
| 19 | <i>IMAQ Light Meter (Line)</i>       | Mede a intensidade de <i>pixels</i> na linha de uma imagem.                                   |
| 20 | <i>IMAQ Light Meter (Point)</i>      | Mede a intensidade de <i>pixels</i> no ponto de uma imagem.                                   |
| 21 | <i>IMAQ Convert Line to ROI</i>      | Converte uma linha em um descritivo ROI (Região de Interesse).                                |
| 22 | <i>IMAQ Convert Point to ROI</i>     | Converte um ponto em um descritivo ROI (Região de Interesse).                                 |
| 23 | <i>IMAQ Convert Rectangle to ROI</i> | Converte um retângulo em um descritivo ROI (Região de Interesse).                             |
| 24 | <i>IMAQ ROI Profile</i>              | Calcula o perfil de <i>pixels</i> ao longo da região limite de uma ROI (Região de Interesse). |

#### 4.1.5 MÓDULO RECUPERAÇÃO DE IMAGENS – FLUXO DE INFORMAÇÕES

Figura 4.3 – Fluxograma de informações para funcionamento do módulo de recuperação de imagens do aplicativo desenvolvido em LABVIEW®.



#### 4.1.6 MÓDULO RECUPERAÇÃO DE IMAGENS – DETALHAMENTO

Tabela 4.4 – Sequência de ações efetuadas na execução do Módulo Recuperação de Imagens.

| ETAPA (nº) | DESCRIÇÃO ETAPA   |
|------------|---|
| 1          | Abertura da conexão entre a câmera e o aplicativo.  |
| 2          | Conexão entre a fonte de imagem infravermelha e a instância do software que captura a imagem da câmera. |
| 3          | Imagem com informação infravermelha é adquirida.  |
| 4          | Aplicativo cria a instância responsável pela exibição da imagem na camada do usuário.                   |
| 5          | Criação da instância de geração de imagem.  |
| 6          | Dados da imagem são mapeados pelo <i>software</i> .   |
| 7          | Leitura das informações contidas na imagem.   |
| 8          | Geração de imagem convertida.   |
| 9          | Uso de ferramenta <i>ROI</i> .  |
| 10         | Extração da imagem.   |
| 11         | Obtenção de dados da imagem gerada.   |
| 12         | Seleção do tipo de paleta para exibição em janela a parte.  |
| 13         | Seleção de ferramenta para determinar <i>ROI</i> .  |
| 14         | Medição de intensidade de <i>pixels</i> da imagem.  |
| 15         | Cálculo de perfil dos <i>pixels</i> .   |
| 16         | Conversão área selecionada em <i>ROI</i> .  |
| 17         | Geração de gráfico.   |
| 18         | Retorno de informações, geração de imagem em janela gerada.   |
| 19         | Geração de imagem em janela com paleta de cor selecionada.  |
| 20         | Dispositivo de captura e exibição da imagem em janela auxiliar.   |
| 21         | Fechamento de janela contendo imagem.   |
| 22         | Fechamento conexão com a câmera e encerramento.   |

A necessidade de separação das funcionalidades em dois grupos distintos de acordo com o modo de exibição da imagem deve-se principalmente à dificuldade de integração e ao bom funcionamento das funcionalidades desenvolvidas. A execução destes recursos em um mesmo ambiente de programação torna-se difícil devido às limitações no aspecto de gerenciamento de memória RAM (*Random Access Memory*) disponível por parte da plataforma. O *software* LABVIEW® exige grande quantidade de memória RAM. De outra maneira, durante sua execução, ocorrem travamentos e interrupções de funcionamento da aplicação executada. Outro obstáculo recorrente esteve presente no fato de que o LABVIEW® consegue gerenciar apenas uma conexão por vez. Efetuada a conexão entre a câmera e o computador para exibição ao vivo, na tentativa de recuperação de uma imagem salva, esta operação somente é possível após fechamento da conexão para aquisição da imagem anteriormente aberta. Esta ocorrência deve-se ao instrumento virtual utilizado, que consegue abrir apenas um canal de comunicação entre câmera e *software* de análise de dados, o que implica no processamento de apenas uma tarefa por vez.

O desenvolvimento baseou-se em uma arquitetura modular à semelhança da estrutura existente com os instrumentos virtuais presentes no *software* LABVIEW® ou no conjunto de ferramentas disponibilizadas pela FLIR® (THERMOVISION TOOLKIT®). Concluída a etapa de desenvolvimento do aplicativo com suas respectivas funcionalidades, efetuou-se a aquisição das imagens infravermelhas. Na aferição dos resultados, levou-se em conta imagens por infravermelho padrão com ajustes de emissividade pré-definidos, para valores tais como: 0,5 e 1. Em etapa posterior efetuaram-se comparações das imagens obtidas, com auxílio das ferramentas desenvolvidas tais como histogramas e perfis de temperatura.

## 4.2 LINGUAGEM UTILIZADA

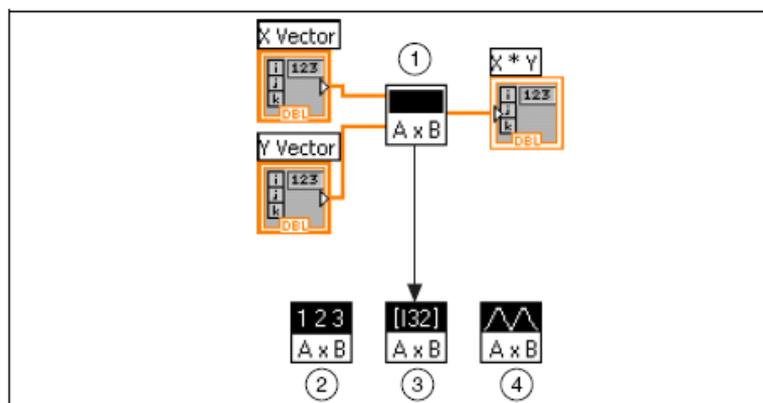
No desenvolvimento da aplicação em questão foi utilizada linguagem de programação orientada a objeto, nativa do LABVIEW®. Esta linguagem consiste na associação correta dos chamados instrumentos virtuais (*VIs*), de modo que a informação gerada pela câmera de infravermelho seja lida e seus respectivos dados consigam ser visualizados através da interface gráfica do usuário (*GUI*), também chamado *Front Panel*.

Regras e definições foram consideradas de acordo com informações obtidas no manual do *software* LABVIEW®. A associação dos módulos responsáveis pelo correto funcionamento da aplicação é efetuada no ambiente chamado Diagrama de Blocos (*Block Diagram*) onde são dispostos os instrumentos virtuais originados no(s) módulo(s) nativos do LABVIEW® de visualização e tratamento de imagens, respectivamente: IMAQ (*Image Aquisition*) bem como o THERMOVISION TOOLKIT®. Cada um destes instrumentos virtuais é conectado entre si através dos chamados *Wires* (fios virtuais) que são diferenciados pela cor e composição dos terminais, em acordo com o tipo de função que podem exercer no diagrama de blocos. A conexão em si é realizada por associação entre os terminais equivalentes a serem criados dos instrumentos virtuais.

É necessário ressaltar a existência das chamadas Funções Polimórficas, que são instrumentos virtuais que aceitam diferentes tipos de dados, em uma única entrada de dados ou terminal de saída. Funções polimórficas são criadas quando é executada uma mesma operação, com diferentes tipos de dados. Por exemplo, caso deseje efetuar a mesma operação matemática do tipo *single-precision*, *floating point*, *numeric*, uma matriz de números ou uma função senoidal é possível criar três instrumentos virtuais separados, dos seguintes tipos: número, matriz e função senoidal. Quando é necessário efetuar a operação, coloca-se um destes instrumentos virtuais no diagrama de blocos.

Um determinado instrumento virtual que possui como característica principal a associação para exibição de imagens infravermelhas em 16 *bits*, pode ser alterado para exibição dos dados em formato numérico e exibição através do objeto no painel frontal. As funções polimórficas possuem graus variáveis – nenhum algum e todas as entradas existentes. Para construir um instrumento virtual polimórfico devem-se considerar os seguintes aspectos: todos os instrumentos virtuais que compõem funções polimórficas devem possuir os mesmos tipos de conectores para combinar com o conector do instrumento virtual a ser criado. Deve existir correspondência entre os conectores de entrada e saída do instrumento virtual polimórfico com o instrumento virtual escolhido para conexão.

Figura 4.4 – Exemplo de processamento para uma função polimórfica (Adaptado de “National Instruments® LABVIEW® *User manual*, 2003”).



| Nº | Tipo de Processamento de Instrumento Virtual Polimórfico |
|----|--|
| 1  | Processamento de Dados                                   |
| 2  | Processamento Numérico                                   |
| 3  | Processamento Matricial                                  |
| 4  | Processamento Senoidal                                   |

## 5 APLICAÇÃO EXPERIMENTAL DO APLICATIVO E SEUS RESULTADOS

Para validação das funcionalidades desenvolvidas no âmbito da plataforma LABVIEW®, decidiu-se comparar dados a partir de medição de temperatura efetuada na própria aplicação com dados obtidos mediante medição de temperatura em local pré-determinado auxiliado por termopar, câmera de infravermelho e calibrador de emissividade.

### 5.1 METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Foram selecionadas três amostras compostas de materiais diferentes como maneira de verificar as temperaturas das medidas fornecidas pela câmera em superfícies diferentes. As amostras utilizadas para a realização destas medidas possuíam forma e dimensões aproximadas. Com dimensões de 20 cm x 20 cm, tais amostras encontram-se representadas nas Figuras 5.1 e 5.2 dispostas abaixo.

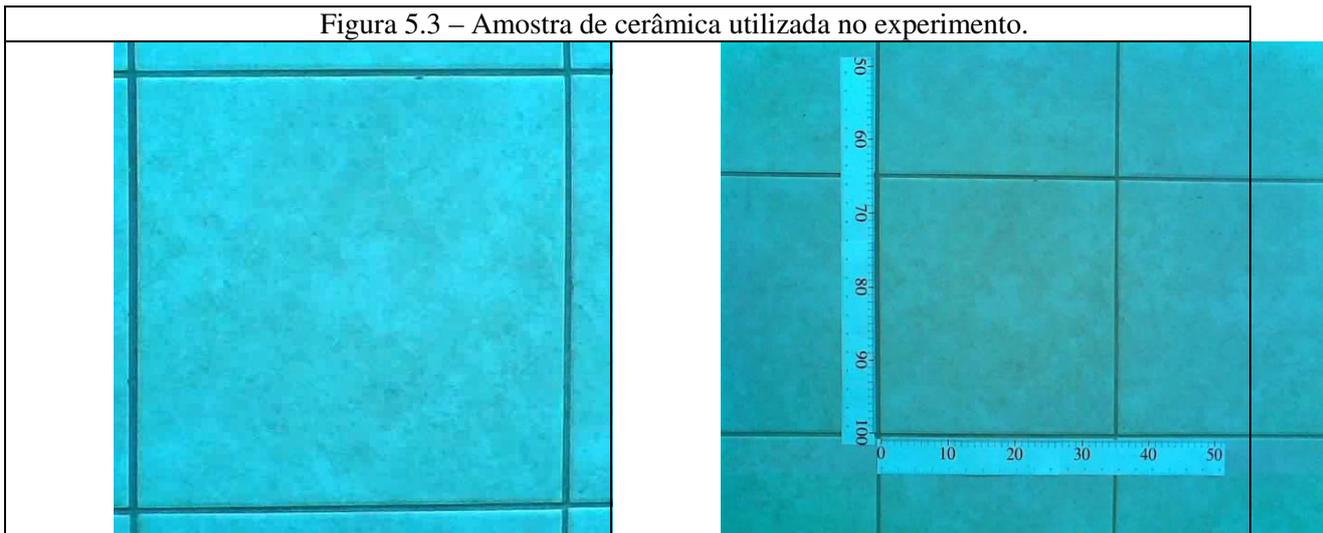
Figura 5.1 – Amostra de madeira utilizada no experimento.



Figura 5.2 – Amostra de isopor utilizada no experimento.



Figura 5.3 – Amostra de cerâmica utilizada no experimento.



Entre os equipamentos e ferramentas utilizadas para obtenção das medidas experimentais é possível citar: câmera de infravermelho, calibrador de emissividade, *notebook* para visualização e armazenamento de dados, termopar e *logger* para comparação das medidas efetuadas pela câmera. Auxiliaram na definição do ambiente de amostragem: trena métrica, fitas adesivas de tipos diferentes para auxiliar na determinação da emissividade e luvas para proteger de altos gradientes de temperaturas. Os equipamentos e as ferramentas utilizados estão apresentados nas Figuras 5.4 a 5.7, a seguir.

Figura 5.4 – Detalhes dos equipamentos utilizados nas medições de temperatura.



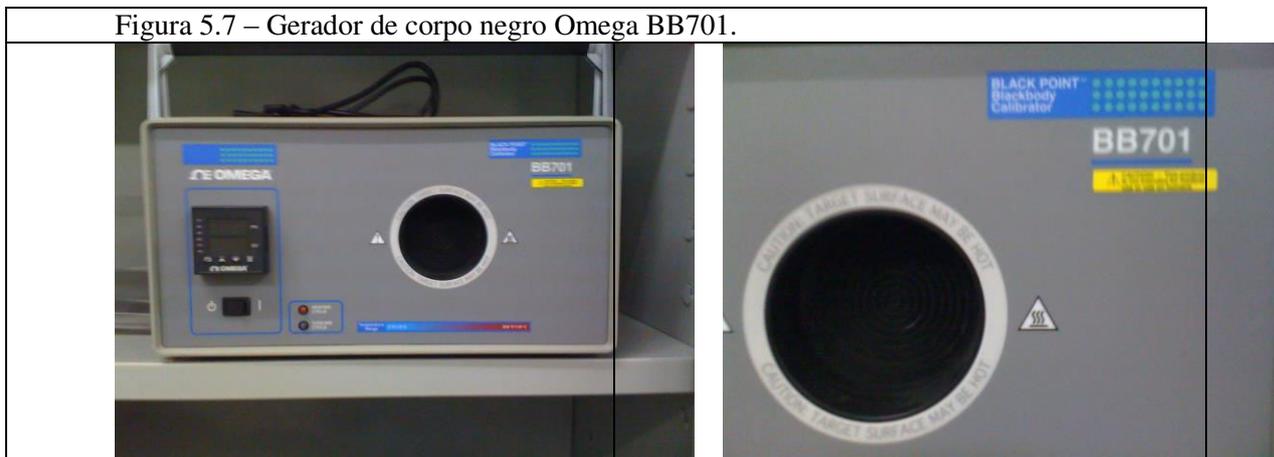
Figura 5.5 – Detalhes dos equipamentos utilizados nas medições de temperatura.



Figura 5.6 – Visão geral dos equipamentos e ferramentas utilizadas nas medições.



Figura 5.7 – Gerador de corpo negro Omega BB701.



Um resumo dos equipamentos utilizados nas medições de temperatura está na tabela a seguir.

Tabela 5.1 – Lista de equipamentos utilizados nas medições.

| Nº | Lista de equipamentos utilizados nas medições                             |
|----|---|
| 1  | Fita adesiva tipo 01  |
| 2  | Fita adesiva tipo 02  |
| 3  | Fita adesiva tipo 03  |
| 4  | Luvas   |
| 5  | Tesoura   |
| 6  | Trena métrica   |
| 7  | Amstras dos diversos tipos de materiais                                   |
| 8  | Termopar  |
| 9  | Termômetro de superfície  |
| 10 | <i>Logger</i> para visualização dos dados recolhidos pelo termopar        |
| 11 | Câmera infravermelha FLIR® modelo S-45                                    |
| 12 | <i>Notebook</i> Lenovo modelo Z61t  |
| 13 | Cabo com conexão <i>Firewire</i> (IEEE-1394)                              |
| 14 | Gerador de corpo negro ( <i>Blackbody calibrator</i> ) Omega modelo BB701 |

As condições de realização do experimento, tais como, temperatura ambiente, temperatura refletida, umidade relativa, distância entre a lente da câmera e o ponto medido na amostra e altura em relação ao solo do equipamento, estão organizados na tabela abaixo:

Tabela 5.2 – Parâmetros utilizados nas medições efetuadas.

| Dado relevante                   | Valor utilizado |
|----------------------------------|-----------------|
| Temperatura ambiente             | 29 °C           |
| Temperatura refletida            | 27,8 °C         |
| Umidade relativa                 | 60%             |
| Distância do objeto a ser medido | 63 cm           |
| Altura em relação ao solo        | 100 cm          |
| Emissividade de referência       | 0,5             |
| Tempo entre medições             | 120s            |

Para melhor compreensão do estabelecimento das condições que antecederam a obtenção de resultados, seguem as Figuras 5.8 a 5.9 contendo as telas de calibração e configuração da câmera de infravermelho.

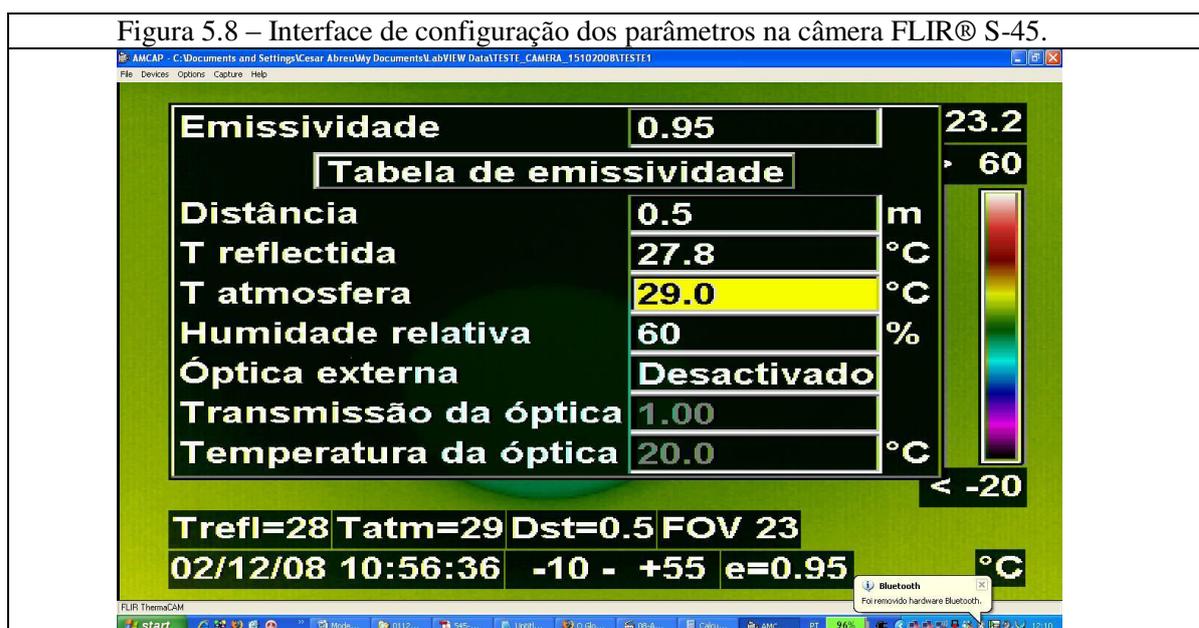
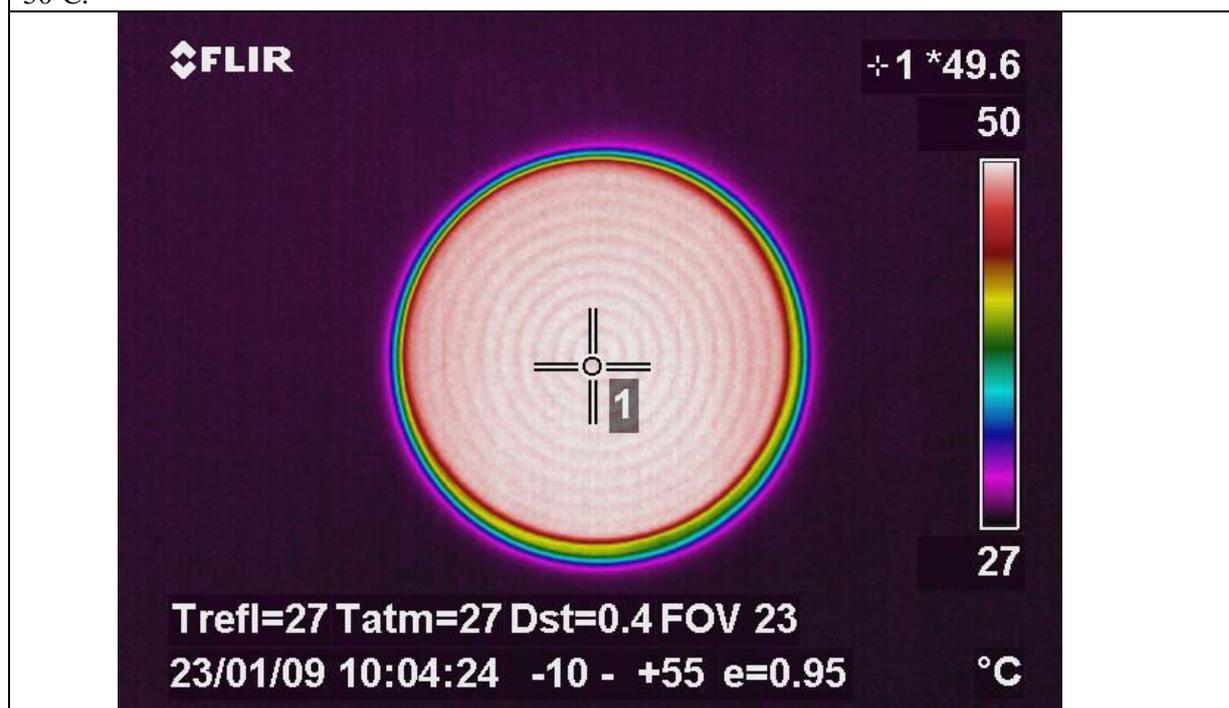


Figura 5.9 – Imagem termográfica do gerador de corpo negro. Temperatura de referência 50°C.



O procedimento para calibração das temperaturas lidas pela câmera consistiu basicamente em posicionar o sensor da câmera em frente ao calibrador. Em seguida ajustou-se a temperatura refletida pelo ambiente, sendo esta última medida com auxílio de termômetro de superfície e efetuada após o calibrador estabilizar a marcação de temperatura. Neste momento leu-se a temperatura exibida no visor da câmera. A diferença entre a medida da temperatura obtida com auxílio do termômetro de superfície e a medida exibida pela câmera, consiste na medida de erro a ser incrementada após as medidas efetuadas nas amostras.

Adicionalmente, foi necessário se obter a medida do erro fornecido pelo termopar e termômetro de superfície. A calibração dos resultados foi feita da seguinte maneira: A aferição foi realizada com a ajuda de um termômetro padrão que junto com o termopar e o

termômetro de superfície foi parcialmente submerso em uma determinada quantidade de água, sendo aquecida progressivamente. Ao mesmo tempo efetuou-se a leitura tanto no termômetro padrão e observada à indicação fornecida pelo *logger* dos dados fornecidos pelo termopar e termômetro de superfície. Após obtenção dos resultados em dez medições diferentes, calculou-se a média aritmética, obtendo-se um fator de correção denominado K. Estes valores de constantes encontrados foram utilizados para correção dos valores de temperatura obtidos após medições efetuadas nas amostras dos diversos tipos de material já citados. Os resultados estão dispostos na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Dados de aferição do termopar e do termômetro de superfície utilizados na experimentação.

| MEDIDA | TERMOPAR | TERMÔMETRO DE SUPERFÍCIE | $\Delta$ (Variação) |
|--------|----------|--------------------------|---------------------|
| 01     | 1,02     | 1,01                     | 0,01                |
| 02     | 1,01     | 1,01                     | 0                   |
| 03     | 0,98     | 1,01                     | 0,03                |
| 04     | 0,98     | 1,01                     | 0,03                |
| 05     | 0,97     | 1,01                     | 0,04                |
| 06     | 0,97     | 0,95                     | 0,02                |
| 07     | 0,98     | 0,99                     | 0,01                |
| 08     | 0,98     | 1,00                     | 0,02                |
| 09     | 0,98     | 1,01                     | 0,03                |
| 10     | 0,97     | 1,01                     | 0,04                |
| K      | 0,98     | 1,00                     | 0,03                |

A descrição do procedimento de obtenção dos dados é a seguinte: para um determinado tipo de fita adesiva utilizada na fixação do termopar, lê-se a temperatura obtida pelo termopar e pelo termômetro de superfície sobre o mesmo ponto de uma amostra escolhida. Após registro dos dados de temperatura obtido por estes dois sensores são fixados a leitura de temperatura a ser obtida através do sensor da câmera e com os dados de configuração do equipamento ajustados. Procedeu-se então a variação da entrada de emissividade na câmera até o momento de ajuste da temperatura lida na câmera com a mesma anotada pelo termopar. É definido então o valor de emissividade para um determinado tipo de fita de acordo com a amostra selecionada. Para maior consistência dos dados obtidos efetuaram-se duas leituras de cada tipo de fita selecionado para cada amostra de material considerada. Os resultados estão dispostos na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Dados de medições de temperatura efetuadas com auxílio de termopar, termômetro de superfície e de câmera infravermelha.

| INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO                               |         |      | TERMOPAR                 |      |        |      |
|--|---------|------|--------------------------|------|--------|------|
| MATERIAL   | MADEIRA |      | CERÂMICA                 |      | ISOPOR |      |
| MEDIDA 01 (°C)                                       | 27,7    | 27,7 | 27,8                     | 27,8 | 27,9   | 27,9 |
| FITA 01, (e = 0,62)                                  |         |      |                          |      |        |      |
| MEDIDA 02 (°C)                                       | 27,8    | 27,8 | 27,6                     | 27,6 | 28,8   | 28,8 |
| FITA 02, (e = 0,76)                                  |         |      |                          |      |        |      |
| MEDIDA 03 (°C)                                       | 27,6    | 27,6 | 27,8                     | 27,8 | 27,8   | 27,8 |
| FITA 03, (e = 0,92)                                  |         |      |                          |      |        |      |
| INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO                               |         |      | CÂMERA INFRAVERMELHA     |      |        |      |
| MATERIAL   | MADEIRA |      | CERÂMICA                 |      | ISOPOR |      |
| MEDIDA 01 (°C)                                       | 27,7    | 27,7 | 27,8                     | 27,8 | 27,9   | 27,9 |
| FITA 01, (e = 0,62)                                  |         |      |                          |      |        |      |
| MEDIDA 02 (°C)                                       | 27,8    | 27,8 | 27,6                     | 27,6 | 28,8   | 28,8 |
| FITA 02, (e = 0,76)                                  |         |      |                          |      |        |      |
| MEDIDA 03 (°C)                                       | 26,8    | 26,8 | 27                       | 27   | 27     | 27   |
| FITA 03, (e = 0,92)                                  |         |      |                          |      |        |      |
| INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO                               |         |      | TERMÔMETRO DE SUPERFÍCIE |      |        |      |
| MATERIAL   | MADEIRA |      | CERÂMICA                 |      | ISOPOR |      |
| MEDIDA 01 (°C)                                       | 28,6    | 28,6 | 28,3                     | 28,3 | 28,4   | 28,4 |
| FITA 01, (e = 0,62)                                  |         |      |                          |      |        |      |
| MEDIDA 02 (°C)                                       | 28,5    | 28,5 | 28,6                     | 28,6 | 28,6   | 28,6 |
| FITA 02, (e = 0,76)                                  |         |      |                          |      |        |      |
| MEDIDA 03 (°C)                                       | 28,6    | 28,6 | 28,4                     | 28,4 | 28,4   | 28,4 |
| FITA 03, (e = 0,92)                                  |         |      |                          |      |        |      |
| DADOS ADICIONAIS                                     |         |      |                          |      |        |      |
| TEMPO DE MEDIÇÃO (s)                                 |         |      | 120                      |      |        |      |
| TEMPERATURA AMBIENTE (°C)                            |         |      | 29                       |      |        |      |
| DISTÂNCIA (cm)                                       |         |      | 63                       |      |        |      |
| ALTURA (cm)  |         |      | 100                      |      |        |      |
| EMISSIVIDADE MÉDIA (e)                               |         |      | 0,9                      |      |        |      |
| K <sub>MÉDIO-CALCULADO</sub> (TERMOPAR)              |         |      | 0,9                      |      |        |      |
| K <sub>MÉDIO-CALCULADO</sub> (TERMÔMETRO SUPERFÍCIE) |         |      | 1,001                    |      |        |      |

É importante denotar que os dados mencionados e dispostos na Tabela 5.4 já possuem seus valores corrigidos através da constante de calibração encontrada durante teste de aferição. Para complementar o trabalho de medição, efetuou-se em etapa posterior a confirmação da emissividade encontrada na medição dos materiais citados, a partir da seguinte metodologia: com a mesma amostra selecionada, determinou-se um ponto no centro da amostra, colou-se um pedaço da Fita 01 e marcou-se um ponto para determinação da temperatura. Com auxílio da câmera infravermelho verificou-se o ajuste de emissividade até encontrar valores de temperatura iguais aos exibidos na Tabela 5.1. Após esta etapa, para confirmação da emissividade encontrada, foi definido um ponto ao lado da medição anteriormente efetuada, porém sem a utilização da fita. Procurou-se ler o valor encontrado da fita para confirmação da emissividade. Os valores de emissividades para as fitas utilizadas de acordo com o tipo de material encontrado estão dispostos na Tabela 5.5

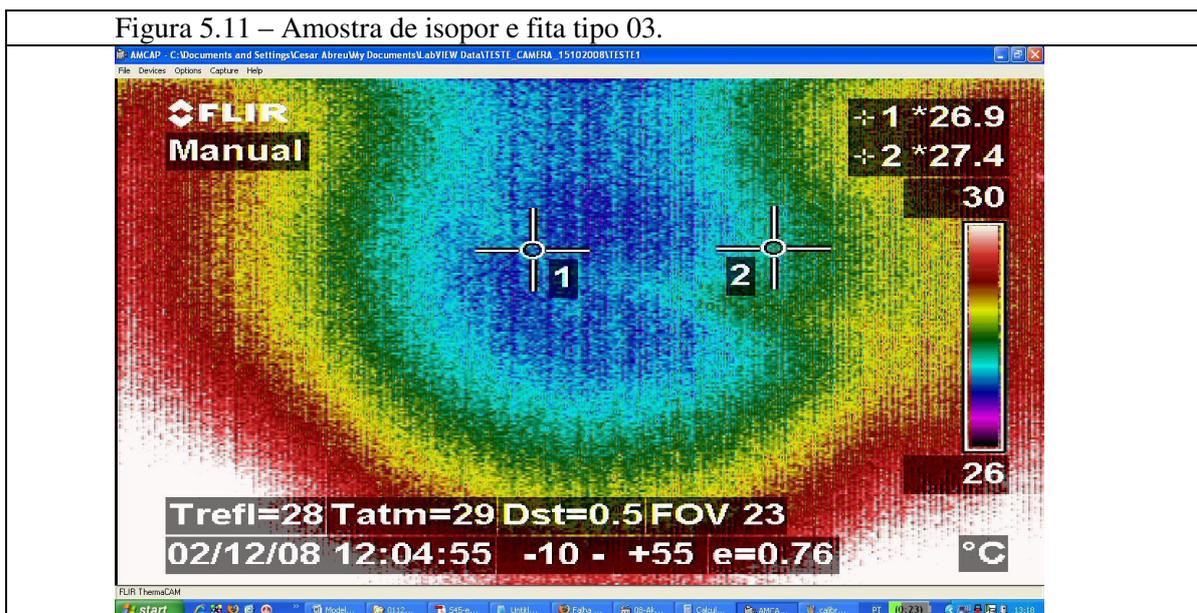
Tabela 5.5 – Dados de medições de emissividade efetuadas com auxílio de termopar, termômetro de superfície e da câmera infravermelha.  $T_{TP}$  = Temperatura medida pelo termopar.

| MATERIAL                    | FITA 01                |            | FITA 02    |            | FITA 03    |            |
|-----------------------------|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                             | $T_1$ (°C)             | $T_2$ (°C) | $T_1$ (°C) | $T_2$ (°C) | $T_1$ (°C) | $T_2$ (°C) |
| MADEIRA                     | 27,1                   | 27,8       | 27,5       | 27,7       | 27,9       | 27,7       |
|                             | $T_{TP-MADEIRA}$ (°C)  |            |            |            |            |            |
|                             | 28,2                   |            | 28,3       |            | 28,8       |            |
| ISOPOR                      | 27                     | 27,2       | 27         | 27,1       | 27         | 27,2       |
|                             | $T_{TP-ISOPOR}$ (°C)   |            |            |            |            |            |
|                             | 28,6                   |            | 28,6       |            | 28         |            |
| CERÂMICA                    | 27,7                   | 27,5       | 27,9       | 27,7       | 27,6       | 27,6       |
|                             | $T_{TP-CERAMICA}$ (°C) |            |            |            |            |            |
|                             | 28,3                   |            | 28,1       |            | 28,3       |            |
| EMISSIVIDADE ENCONTRADA (e) | 0,91                   |            | 0,65       |            | 0,71       |            |

Seguem abaixo alguns exemplos de imagens ilustrativas das medições efetuadas com diferentes tipos de materiais e fitas adesivas. (Figuras 5.10 a 5.11).

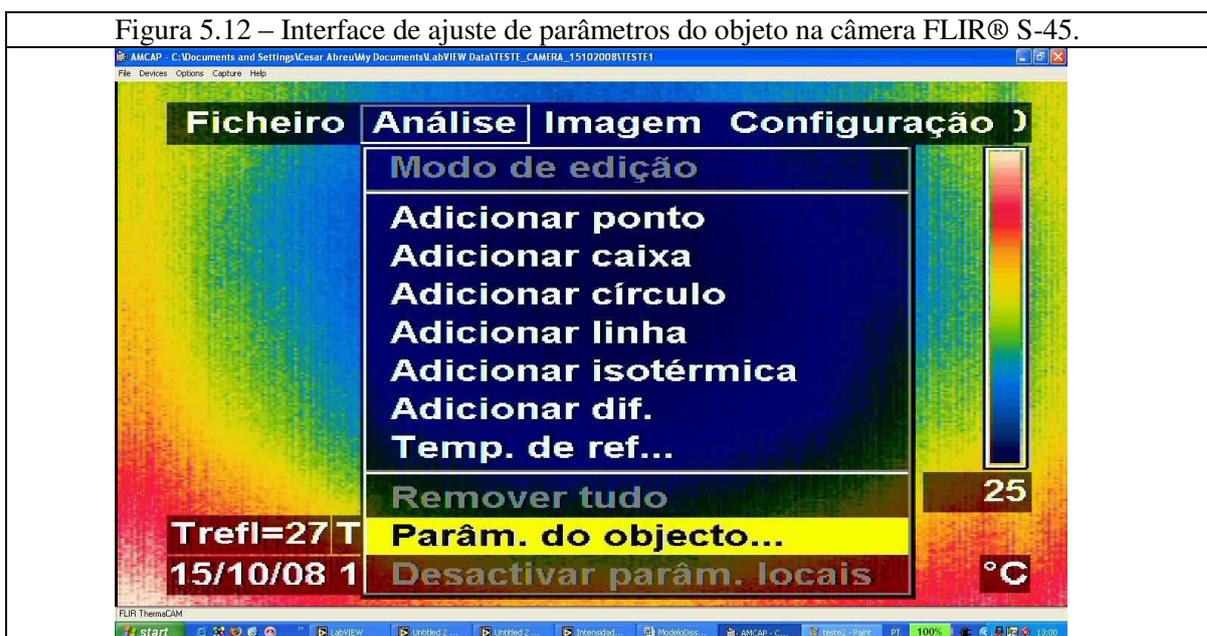
Figura 5.10 – Amostra de isopor e fita tipo 01.





## 5.2 SELEÇÃO DE PARÂMETROS NA CÂMERA DE INFRAVERMELHO

A seleção de parâmetros na câmera foi realizada diretamente no visor existente no equipamento de acordo com as imagens presentes na Figura 5.12, abaixo:



Há, na câmera, vários menus que permitem a seleção de vários tipos de parâmetros que influem na medida de temperatura obtida pela câmera quando da visualização de uma determinada imagem. Parâmetros que necessitam ser indicados tais como: temperatura refletida pelo objeto visualizado, temperatura atmosférica, umidade relativa, distância do objeto medido podem ser ajustados diretamente no equipamento.

A Figura 5.13 mostra a seleção de valor de emissividade de acordo com o tipo de material escolhido e a Figura 5.14 mostra a interface de seleção dos valores relativos ao objeto medido pela câmera de infravermelho. Observe-se, que valores numéricos de emissividade podem ser colocados manualmente.

Figura 5.13 – Interface de ajuste de emissividade na câmera FLIR® S-45.

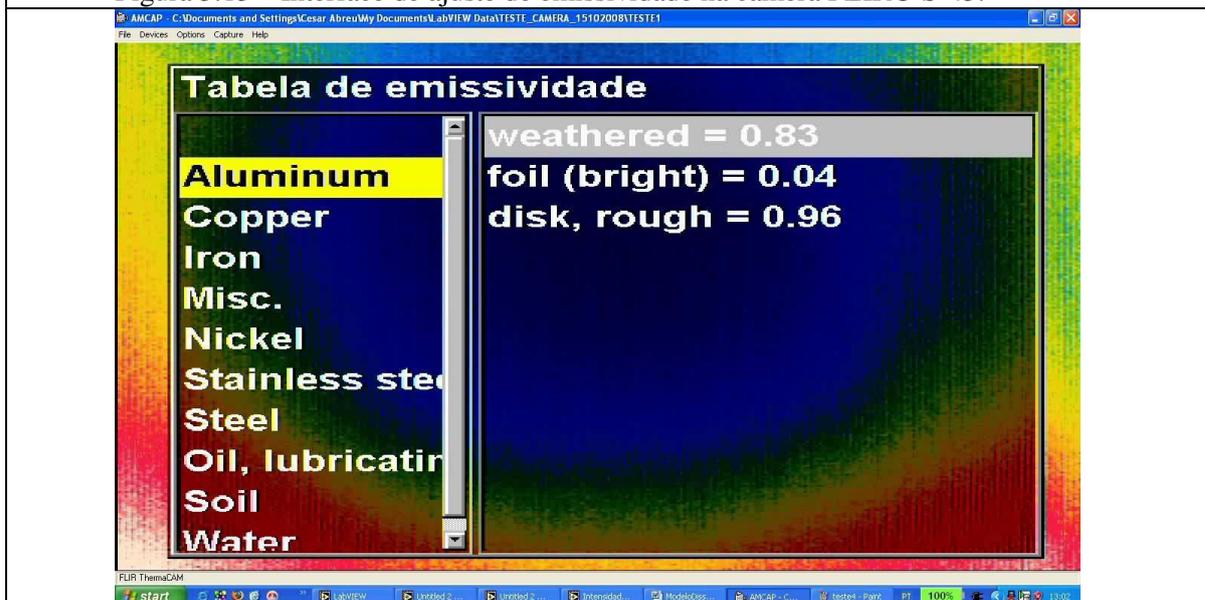
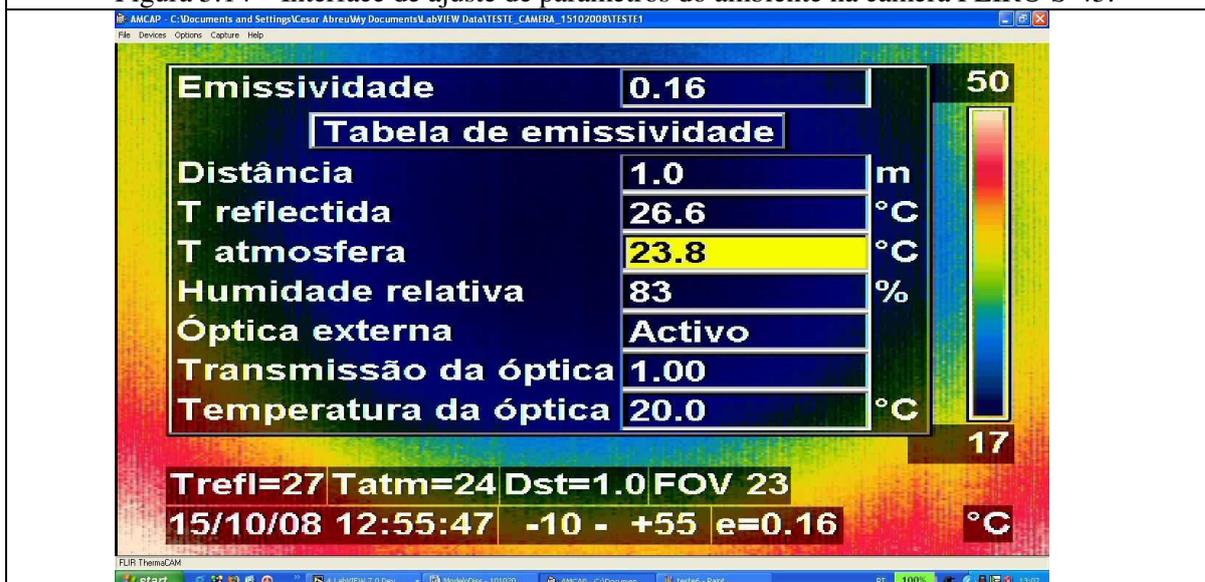


Figura 5.14 – Interface de ajuste de parâmetros do ambiente na câmera FLIR® S-45.



### 5.3 ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO SOFTWARE FLIR® QUICKREPORT 1.2 VERSUS APLICATIVO DESENVOLVIDO NO LABVIEW®

O aplicativo desenvolvido possui duas partes distintas e agrupadas de acordo com suas funcionalidades e descritas no Capítulo 4 e com outros detalhamentos a seguir:

- Na parte de exibição de imagens constam as funcionalidades de exibição ao vivo das imagens capturadas pela câmera, controle de foco de modo manual e automático;
- Exibição simultânea de matriz de temperatura em escala absoluta Kelvin ou Celsius e gravação das imagens capturadas em formato proprietário extensão *SEQ*.

Abaixo estão expostas figuras com imagens das telas, referente ao módulo de exibição de imagens, tanto na interface gráfica do usuário (*Front Panel*) (Figura 5.15) como na interface de associação lógica dos instrumentos virtuais. (*Block Diagram*) (Figura 5.16).

Figura 5.15 – Tela da interface gráfica do usuário (módulo de exibição de imagens).

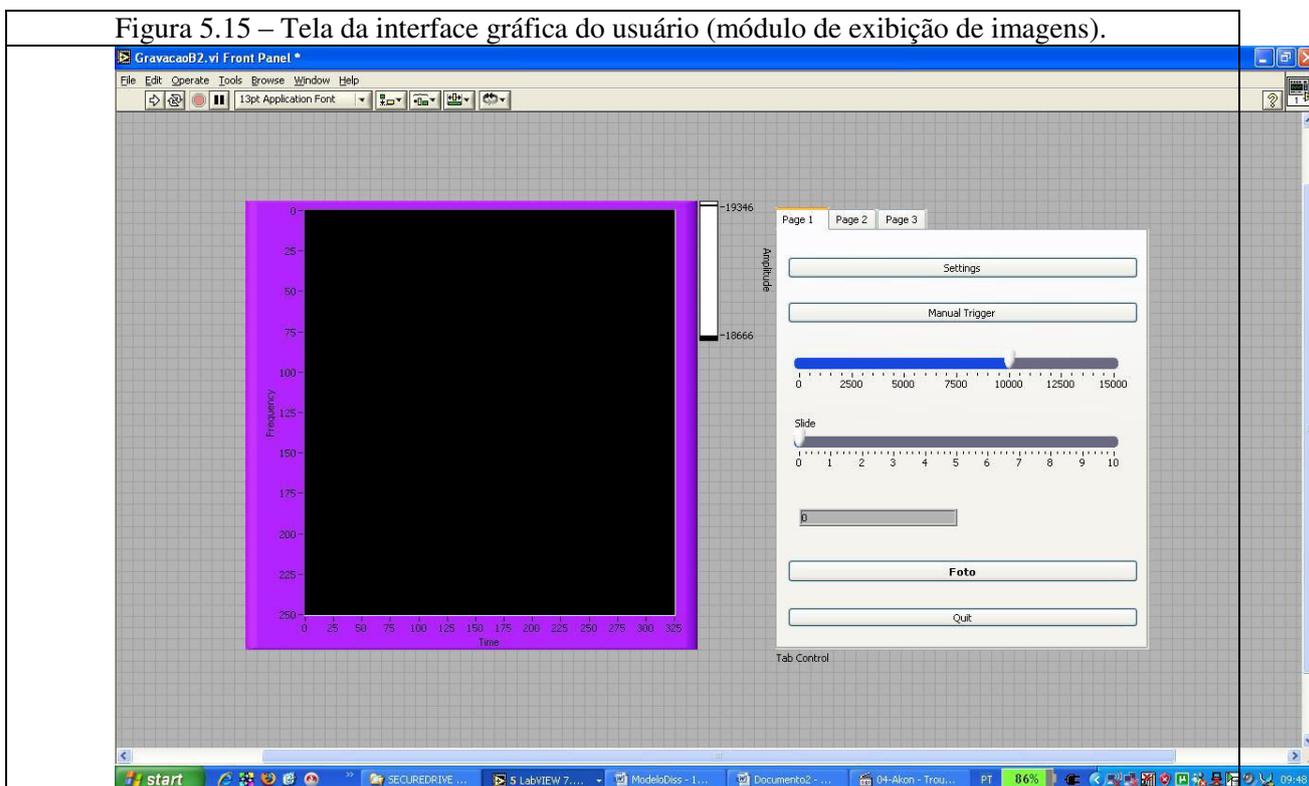
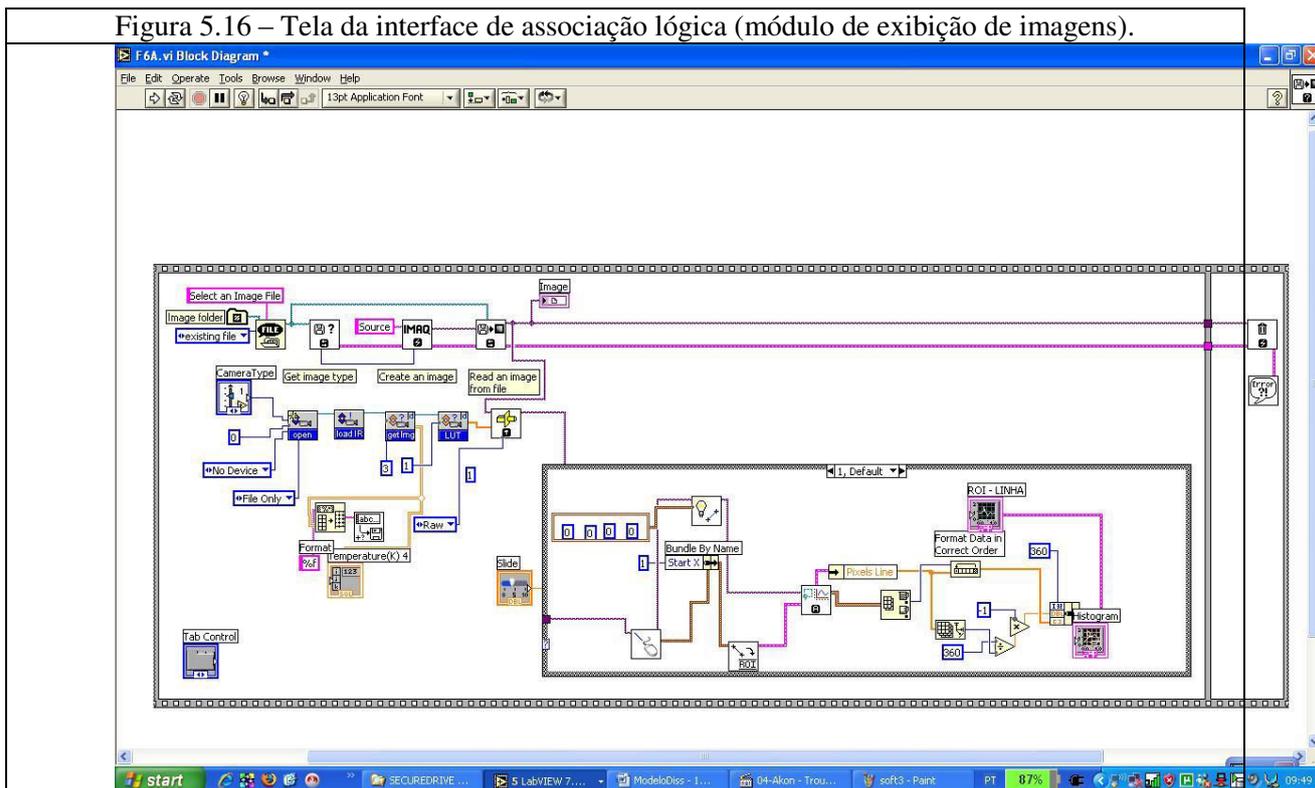


Figura 5.16 – Tela da interface de associação lógica (módulo de exibição de imagens).



Na parte descrita como Recuperação de Imagens estão concentradas as funcionalidades destinadas à análise de informações contidas em imagens termográficas gravadas em formato *JPEG*. Estas funcionalidades são:

- Exibição de imagens em tamanho original;
- Exibição de matriz contendo todas as temperaturas em escala Celsius;
- Utilização de ferramentas para determinação de áreas de interesse;
- Extração de imagem a partir de arquivo original;
- Gravação das informações da matriz de temperatura em formato de planilha eletrônica, arquivo texto ou formato universal *XML*. Recomenda-se neste caso a gravação dos dados em formato de planilha eletrônica de maneira que possa ser aproveitada para tratamento em outros programas de cálculo. Nas Figuras 5.17 e 5.18 contidas nas páginas seguintes são exibidas as telas do módulo descrito anteriormente.

Figura 5.17 – Tela da interface gráfica do usuário (módulo de recuperação de imagens).

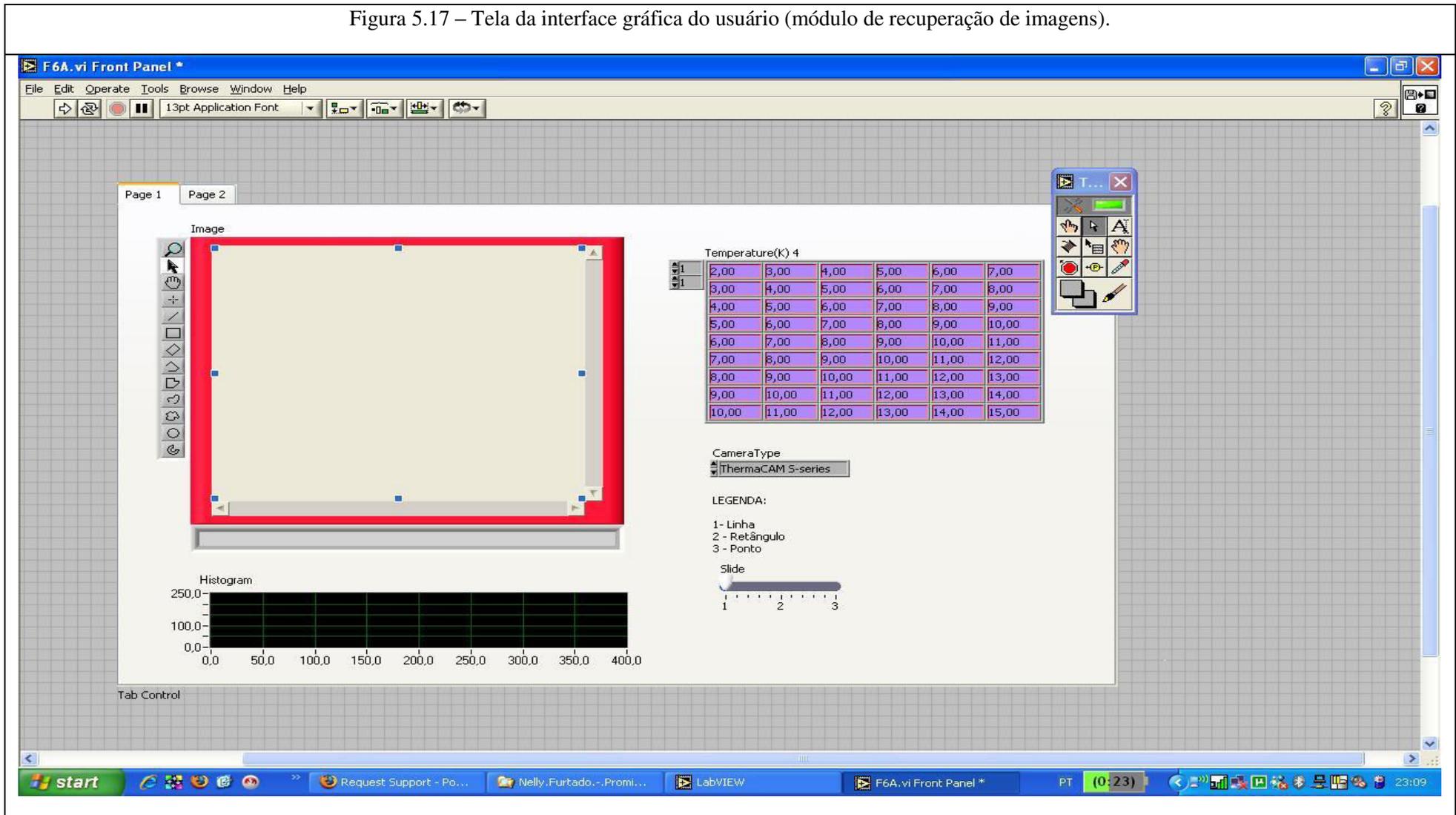
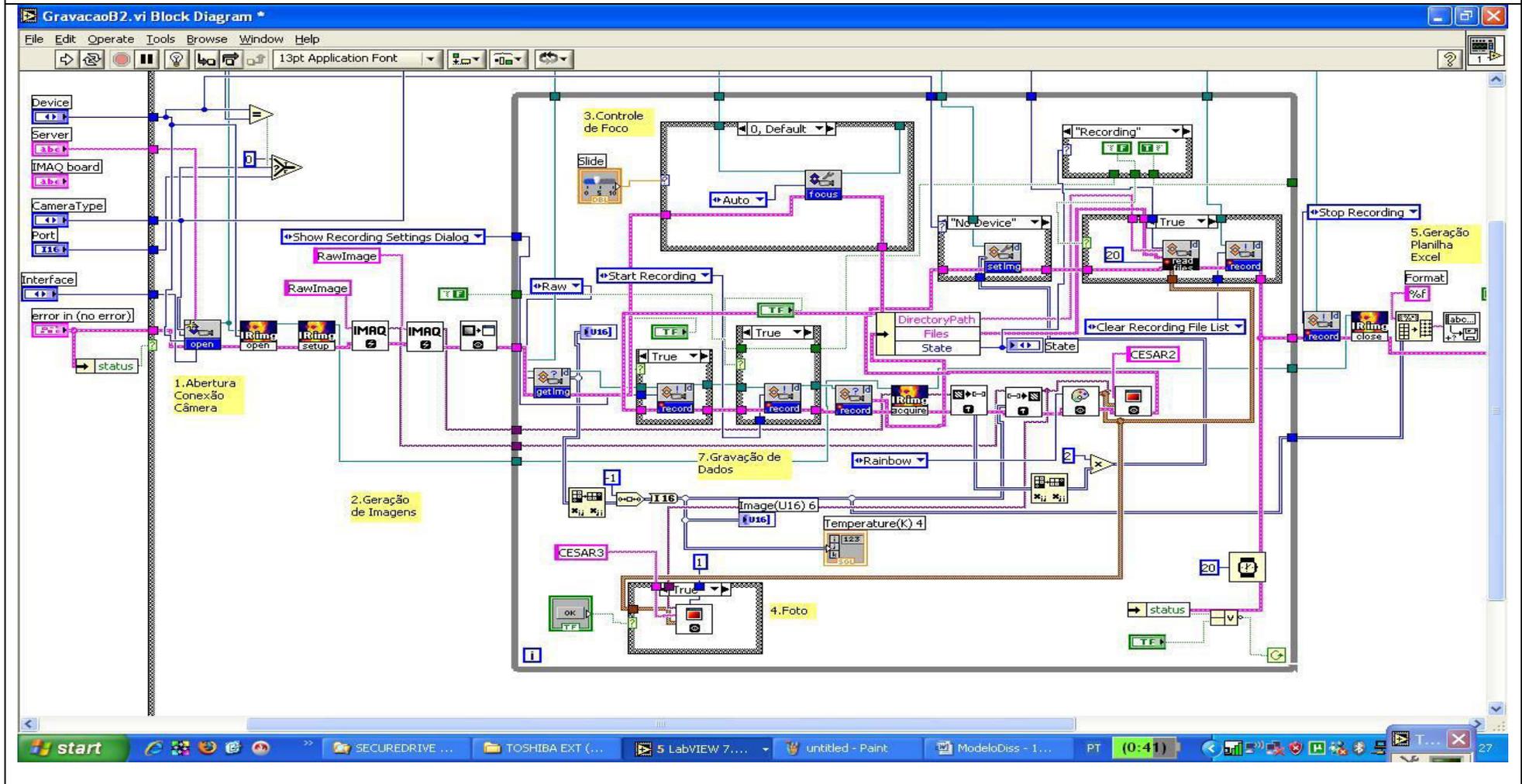


Figura 5.18 – Tela da interface de associação lógica (módulo de recuperação de imagens).



### 5.3.1 ANÁLISE DAS IMAGENS TERMOGRÁFICAS DO GERADOR DE RADIAÇÃO

Efetua-se uma análise das imagens obtidas no gerador de radiação, Figura 5.9, comparando-se os dados obtidos para a imagem inteiramente analisada, com o aplicativo desenvolvido no LABVIEW® e com o *software* FLIR® *QuickReport* 1.2, fornecido pela FLIR®. Os resultados podem ser visualizados nas Figuras 5.19 a 5.20 exibidas a seguir:

Figura 5.19 – Matriz de temperaturas encontrada de imagem do gerador (aplicativo em LABVIEW®).

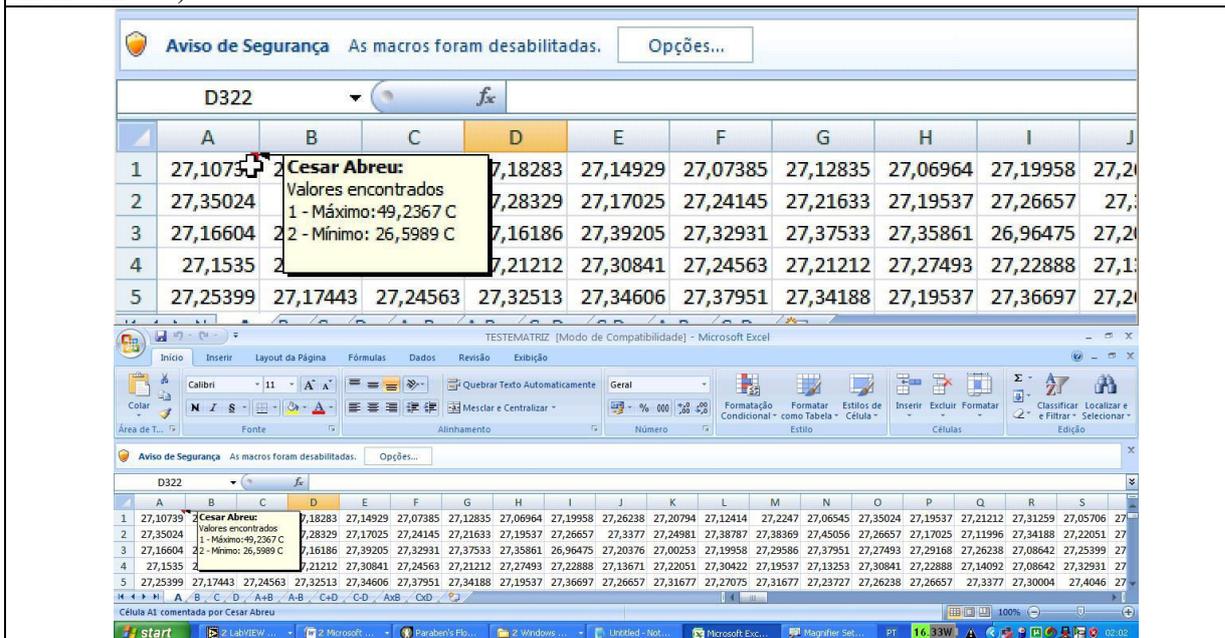
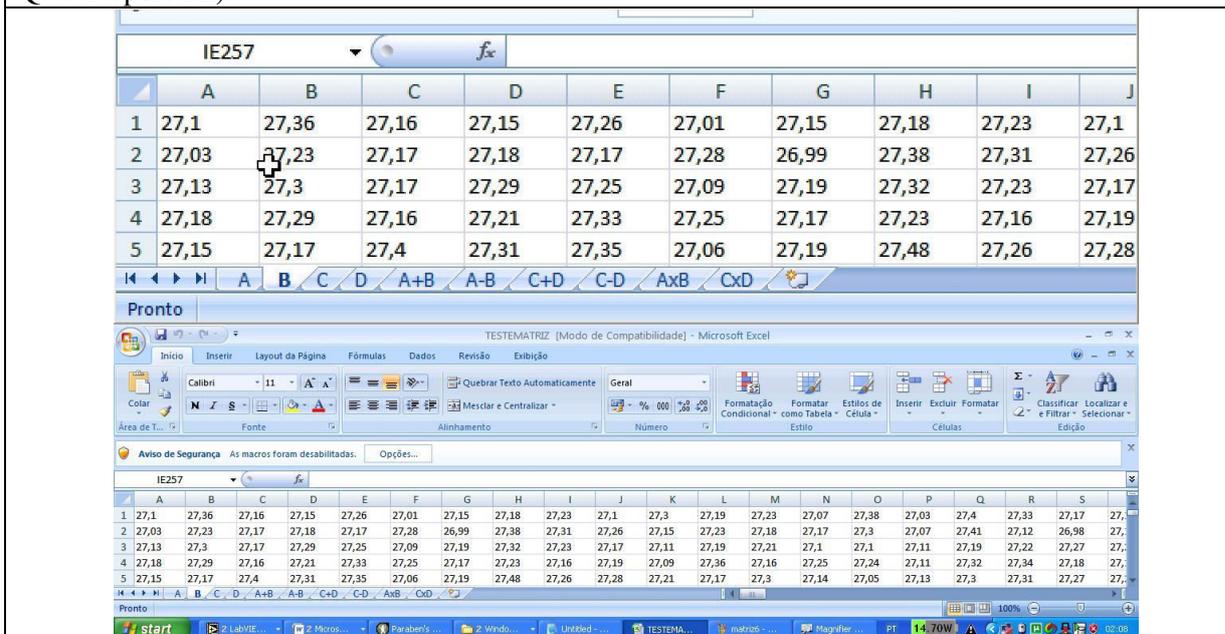


Figura 5.20 – Matriz de temperaturas encontrada de imagem do gerador (*software* FLIR® *QuickReport* 1.2).



A principal diferença dos resultados obtidos para a leitura dos dados entre o aplicativo desenvolvido e o *software* FLIR® *QuickReport* 1.2 reside nos algarismos significativos

retornados por ambos para a matriz de temperaturas da imagem analisada. O aplicativo desenvolvido consegue retornar valores de temperaturas com um número maior de algarismos significativos para a temperatura lida na imagem analisada. Com estes resultados, é possível, concluir que os dados dos valores de temperatura medidos pelo aplicativo estão corretos, dentro de uma pequena margem de erro.

Adicionalmente é possível observar os gráficos de comportamento dos perfis de temperatura para imagens selecionadas e plotadas em formato de gráfico. O comportamento dos dados selecionados é similar, o que leva a conclusão que as medidas obtidas pelo aplicativo desenvolvido refletem a realidade dos resultados encontrados e exibidos nas Figuras 5.21 e 5.22.

Figura 5.21 – Gráfico de imagem termográfica com o aplicativo desenvolvido.

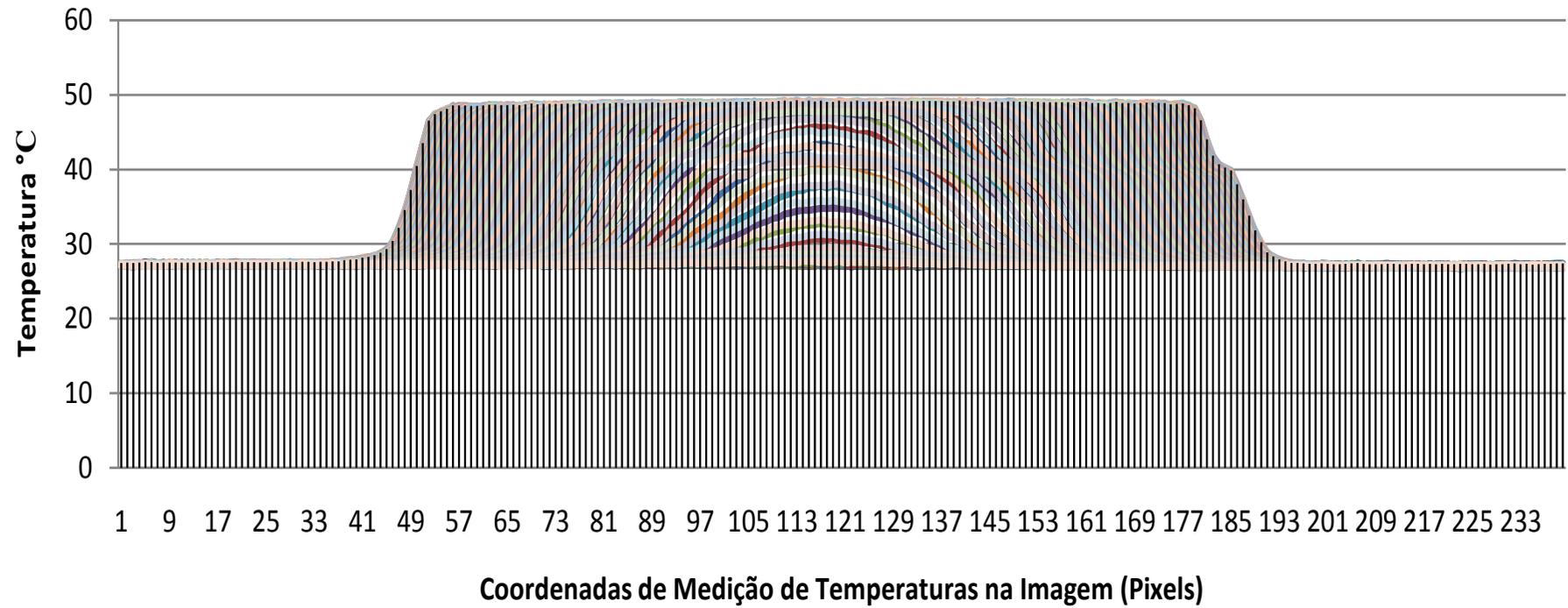
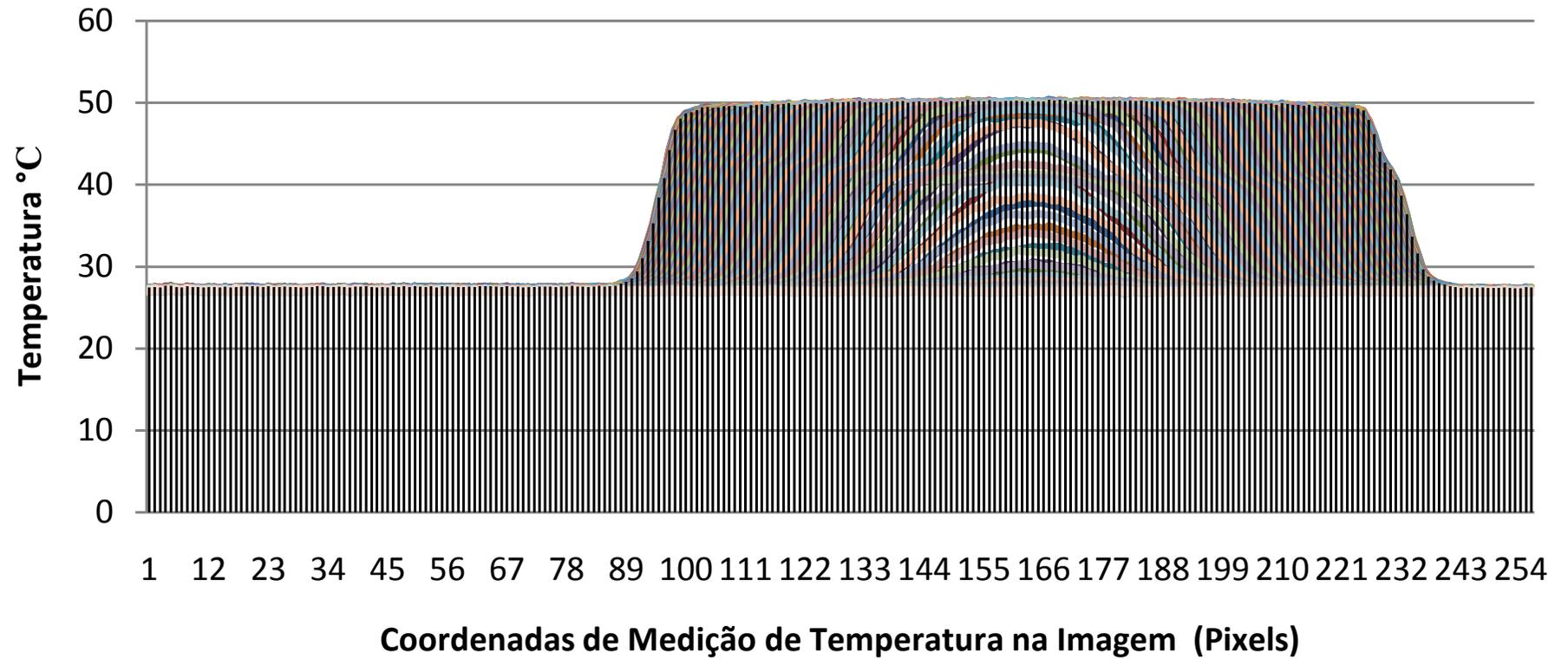


Figura 5.22 - Gráfico de imagem termográfica com o software FLIR® QuickReport 1.2.



Os seguintes valores foram obtidos dos parâmetros com base nos dados da matriz de temperaturas retornado pelo *software* FLIR® *QuickReport* 1.2, veja a tabela a seguir.

Tabela 5.6 – Valores de parâmetros encontrados após cálculo de matriz de temperaturas fornecida pelo *software* FLIR® *QuickReport* 1.2.

| Parâmetro Calculado | Valor Encontrado FLIR® <i>QuickReport</i> 1.2 |
|---------------------|---|
| Desvio Padrão       | 8,09  |
| Variância           | 65,59   |
| Temperatura máxima  | 49,24 °C                                      |
| Temperatura mínima  | 26,60 °C                                      |
| Temperatura média   | 31,22 °C                                      |

### 5.3.2 RESULTADOS OBTIDOS COM APLICATIVO DESENVOLVIDO EM APLICAÇÕES NA ÁREA MÉDICA

Efetou-se uma análise comparativa dos dados obtidos mediante a utilização do aplicativo desenvolvido e com os dados fornecidos pela utilização do *software* FLIR® *QuickReport* 1.2, fornecido pelo fabricante da câmera de infravermelho. Em ambos os casos, os dados de temperaturas contidas na imagem termográfica analisada são visualizados em formato de matriz bidimensional com auxílio de *software* Microsoft Excel®. As linhas de temperaturas geradas com a caixa de ferramentas disponibilizada pelo *software* FLIR® *QuickReport* 1.2 retornam informações de temperaturas que podem ser individualmente exportadas em formato de planilha Microsoft Excel® e organizadas em formato matricial.

A imagem analisada no *software* FLIR® *QuickReport* 1.2 está disposta nas Figuras 5.23 a 5.24 a seguir.

Figura 5.23 – Análise de imagem termográfica (software FLIR® *QuickReport* 1.2).

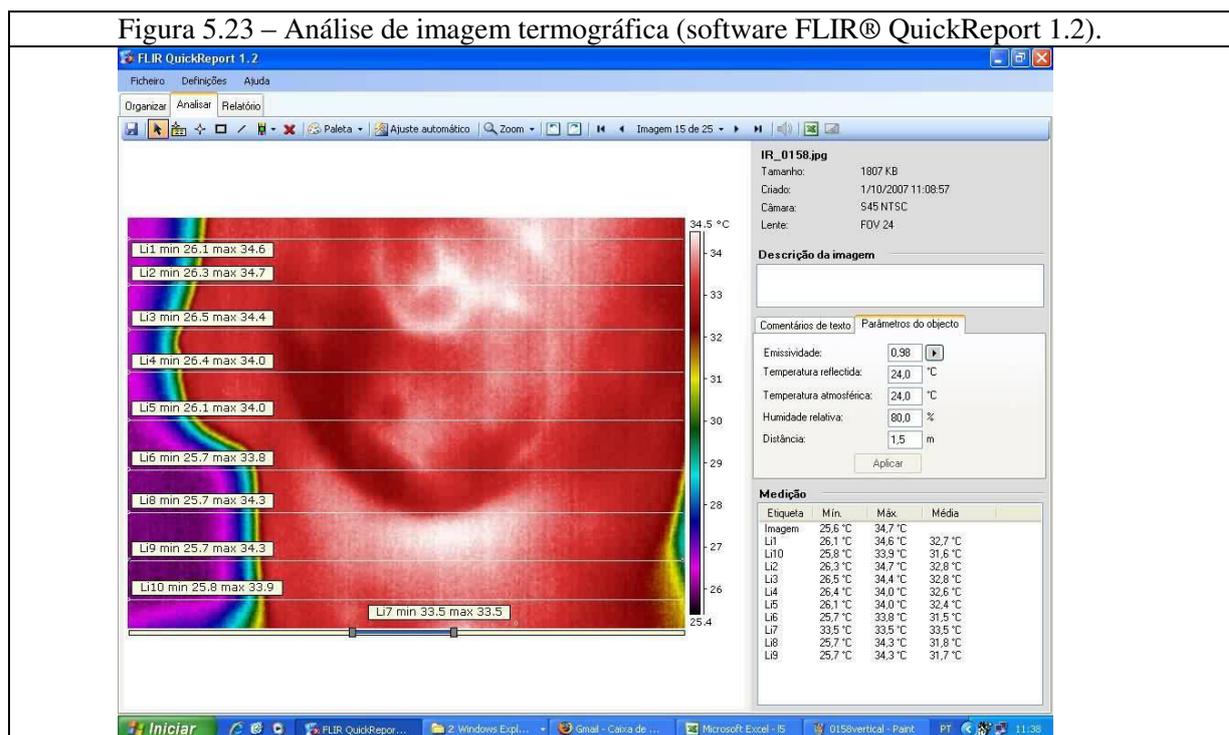
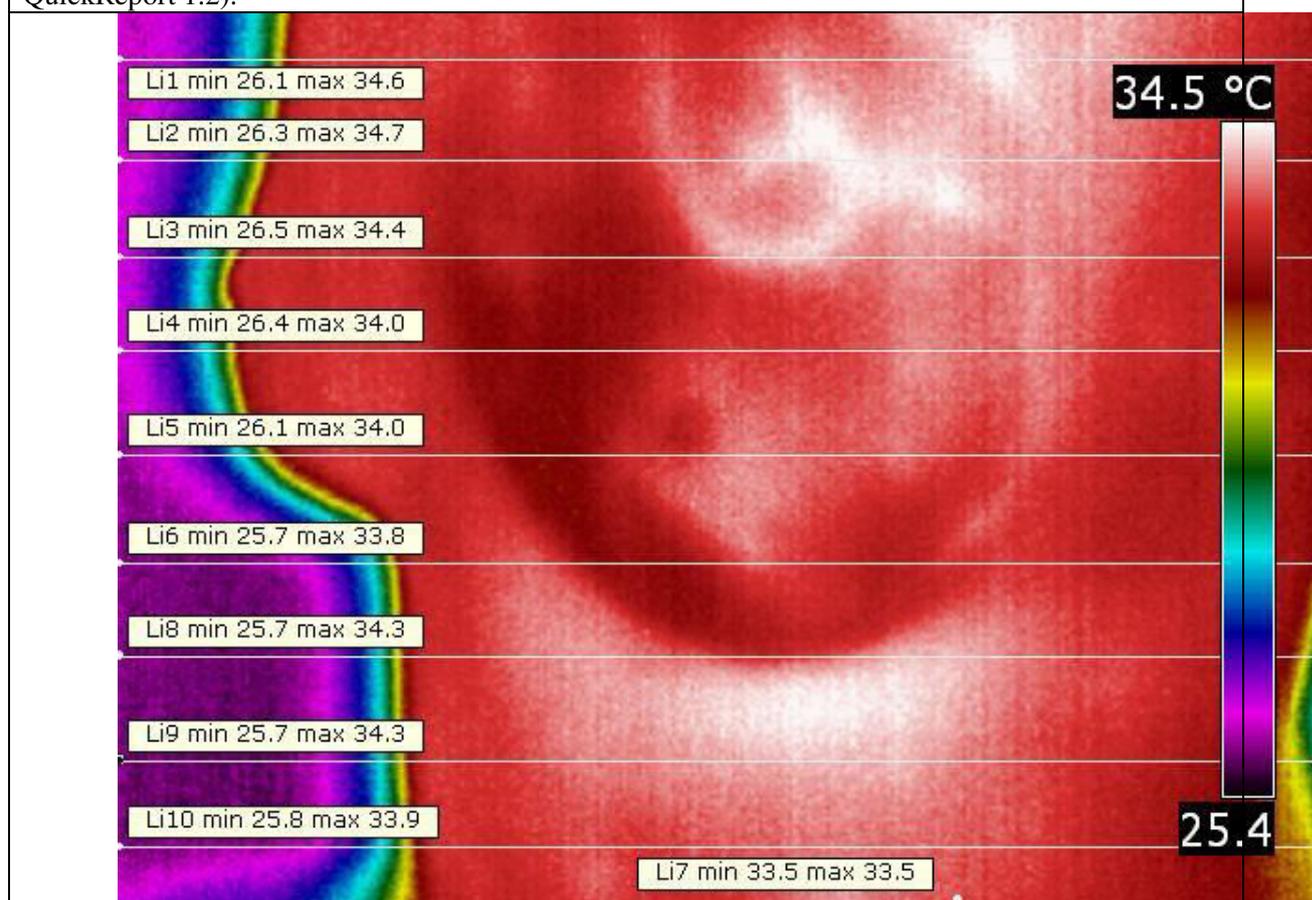


Figura 5.24 – Imagem termográfica com linhas de temperatura (software FLIR® QuickReport 1.2).



As temperaturas das diversas linhas encontradas estão mostradas em formato de gráfico, Figuras 5.25 a 5.26.

Figura 5.25 – Gráfico de imagem termográfica com o software FLIR® QuickReport 1.2.

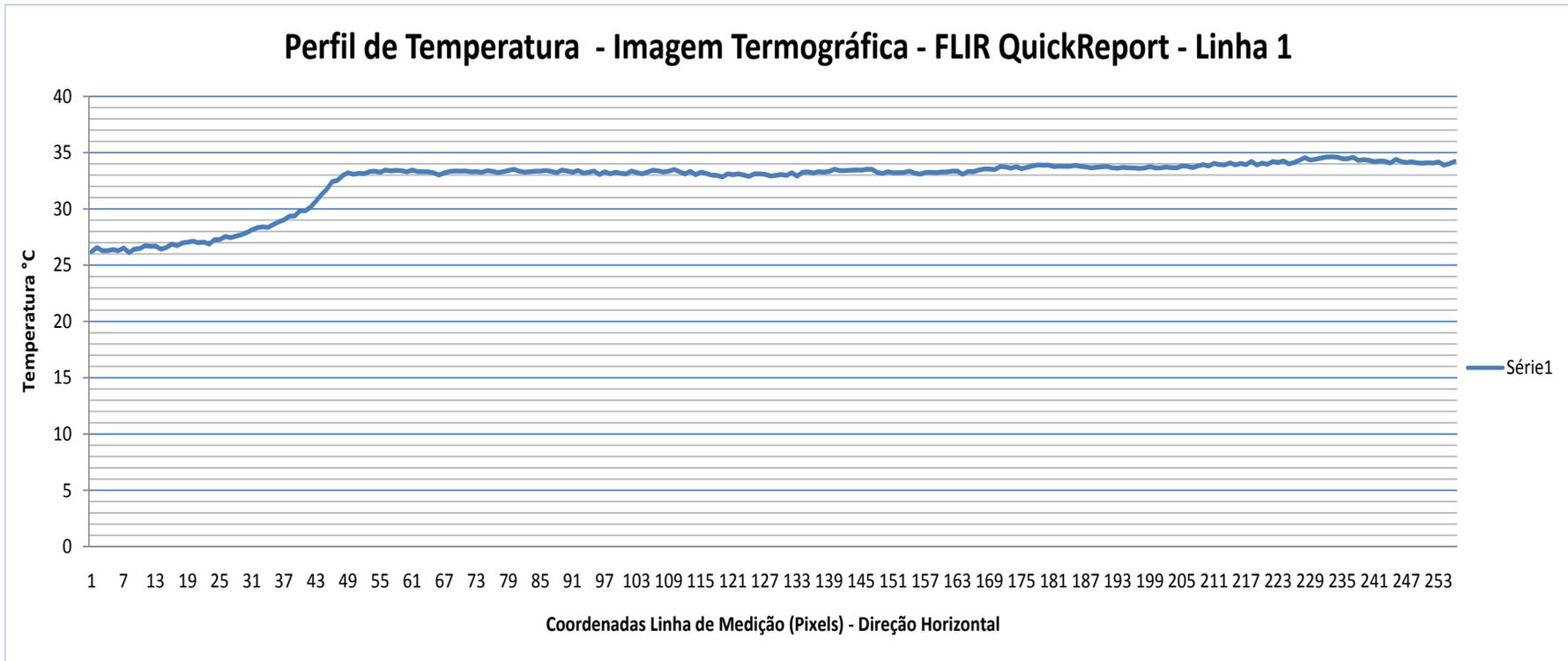
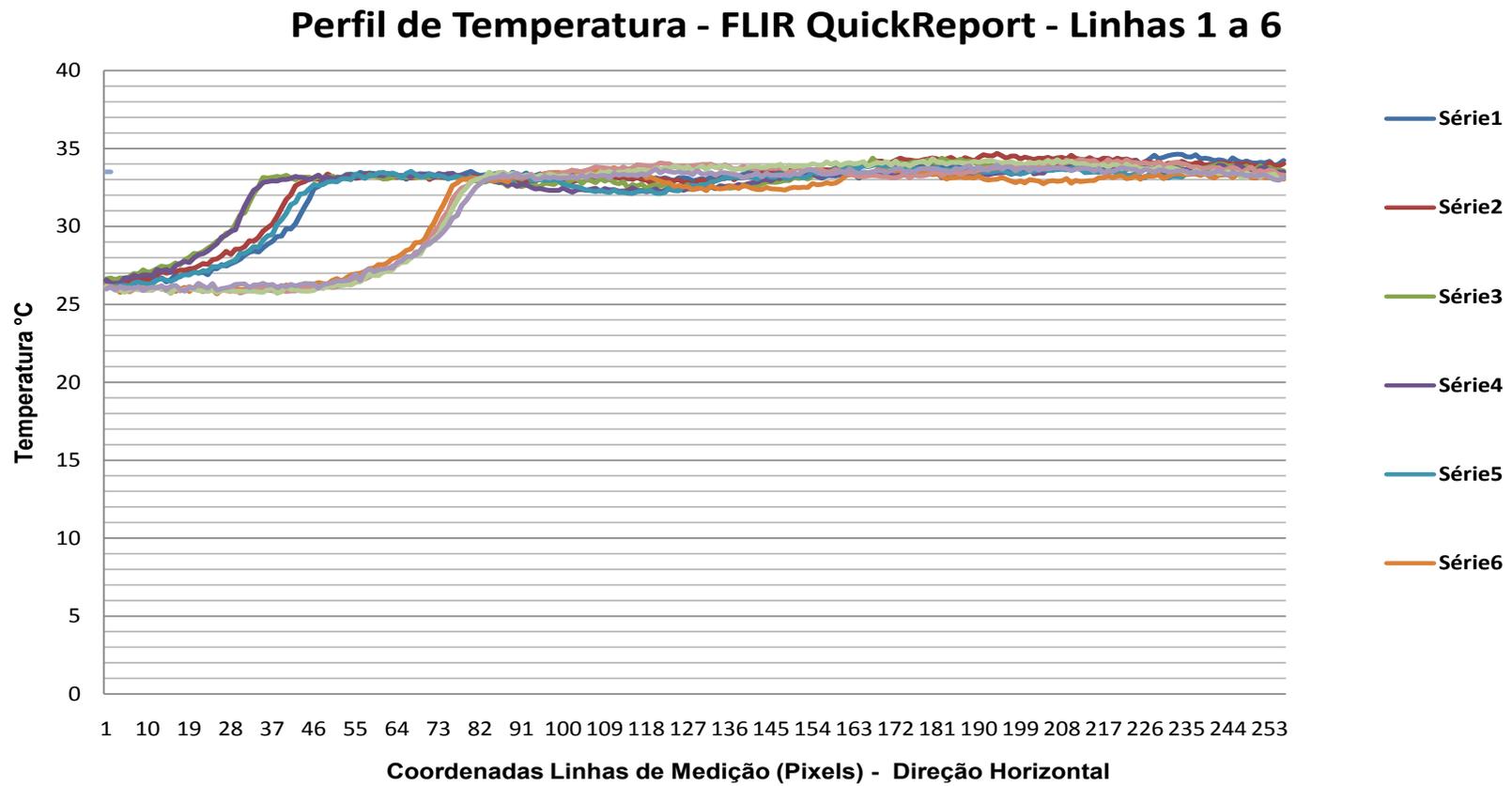


Figura 5.26 – Gráfico de imagem termográfica com o software FLIR® QuickReport 1.2.



Os seguintes valores foram obtidos para os parâmetros calculados, com base nos dados da matriz de temperaturas retornado pelo *software* FLIR® *QuickReport* 1.2 (Tabela 5.7).

Tabela 5.7 – Valores de parâmetros encontrados após cálculo de matriz de temperaturas fornecida pelo *software* FLIR® *QuickReport* 1.2.

| Parâmetro Calculado | Valor Encontrado |
|---------------------|------------------|
| Desvio Padrão       | 2,69             |
| Variância           | 7,28             |
| Temperatura máxima  | 34,69 °C         |
| Temperatura mínima  | 25,67 °C         |
| Temperatura média   | 32,05 °C         |

No aplicativo desenvolvido, obteve-se a leitura da mesma imagem analisada pelo *software* FLIR® *QuickReport* 1.2 e os resultados comparativos obtidos estão dispostos nas Figuras 5.27 a 5.31 exibidas a seguir. A Tabela 5.8 mostra dados calculados a partir da matriz de temperaturas.

Figura 5.27 – Análise de imagem termográfica (aplicativo em LABVIEW®).

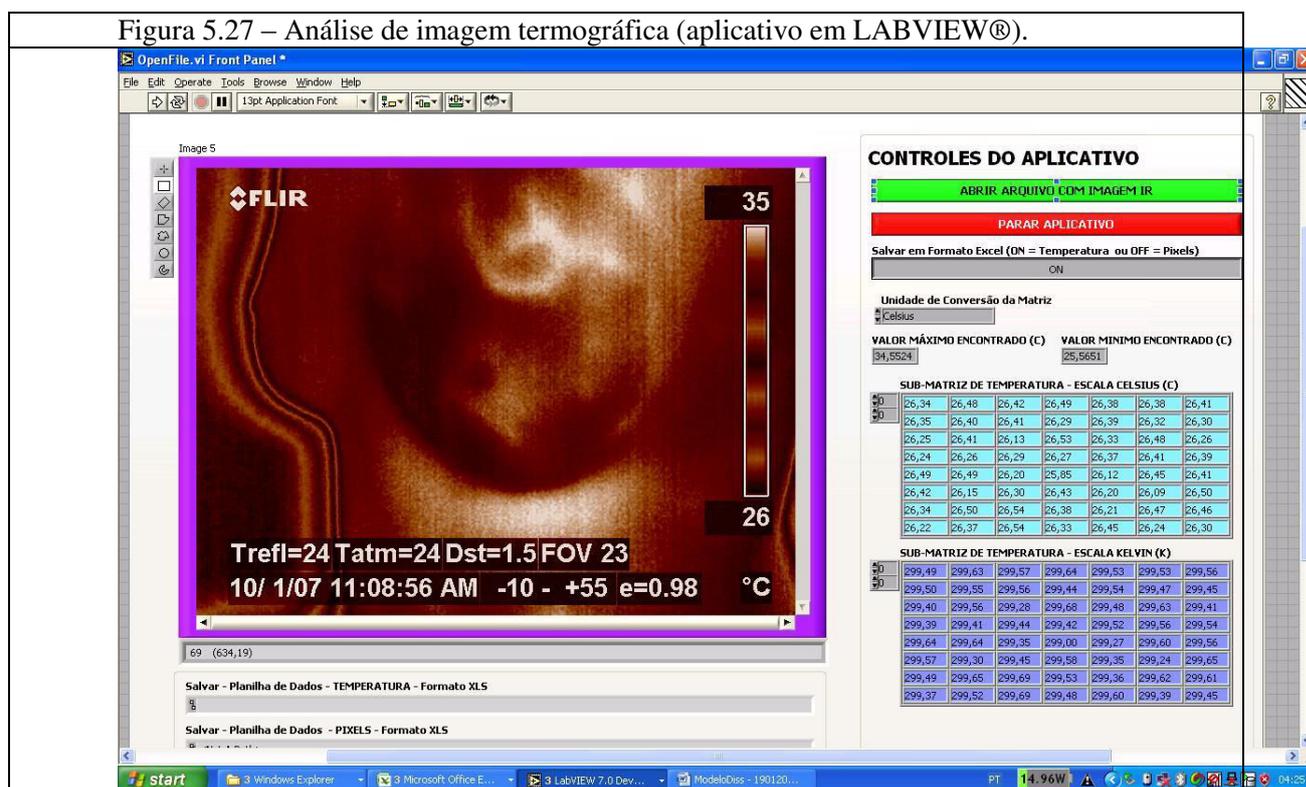


Figura 5.28 – Instruções de funcionamento do aplicativo em LABVIEW®.

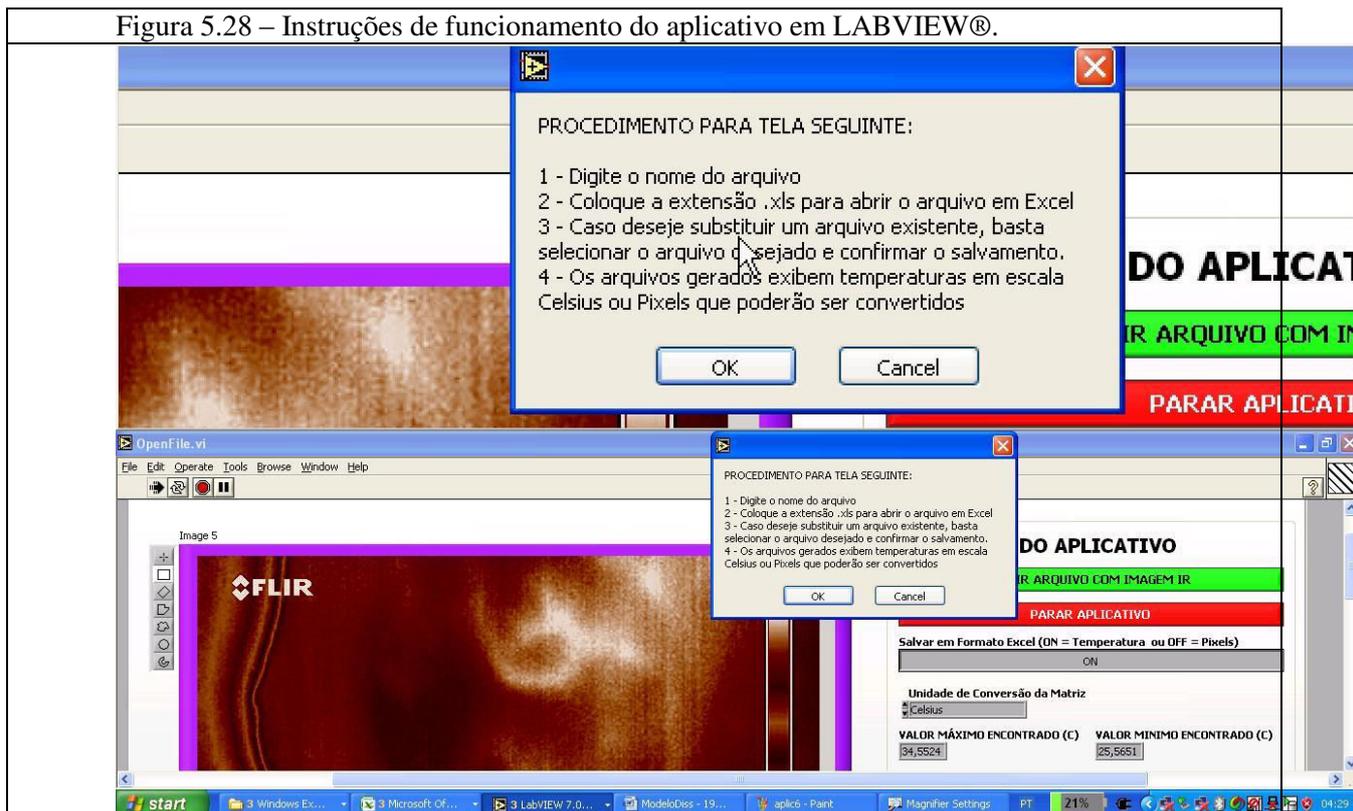
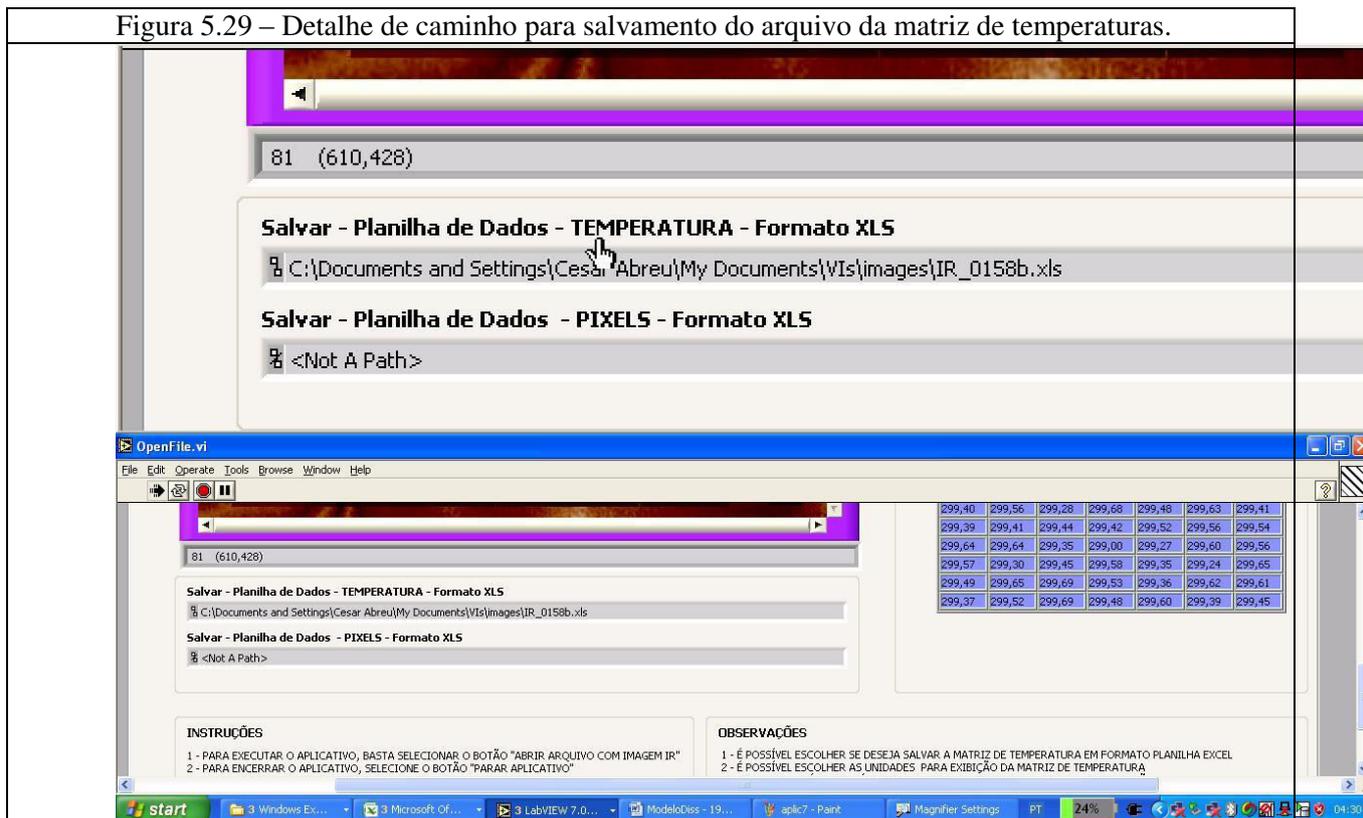


Figura 5.29 – Detalhe de caminho para salvamento do arquivo da matriz de temperaturas.



A matriz (320 x 240) de temperaturas, obtida com auxílio do aplicativo desenvolvido na plataforma LABVIEW®, é exibida a seguir:

Figura 5.30 – Matriz de temperaturas gerada pelo aplicativo LABVIEW®.

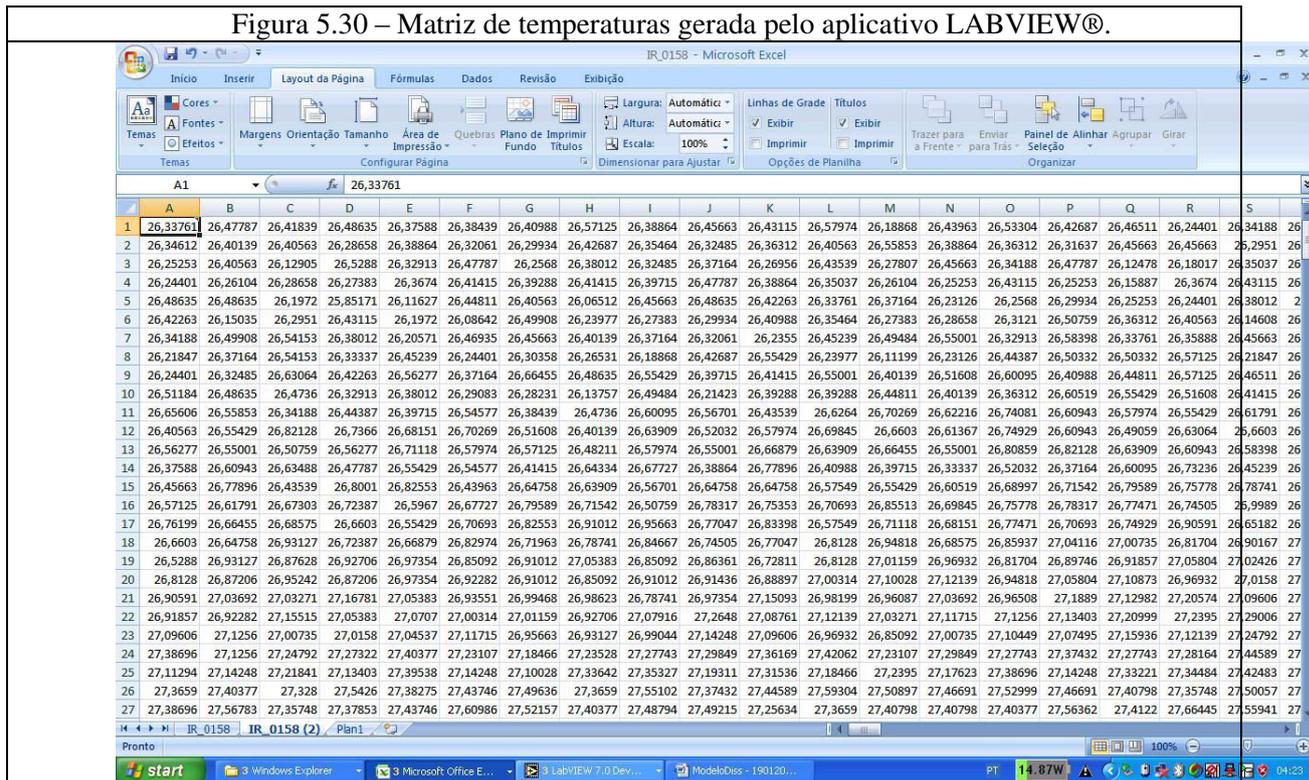
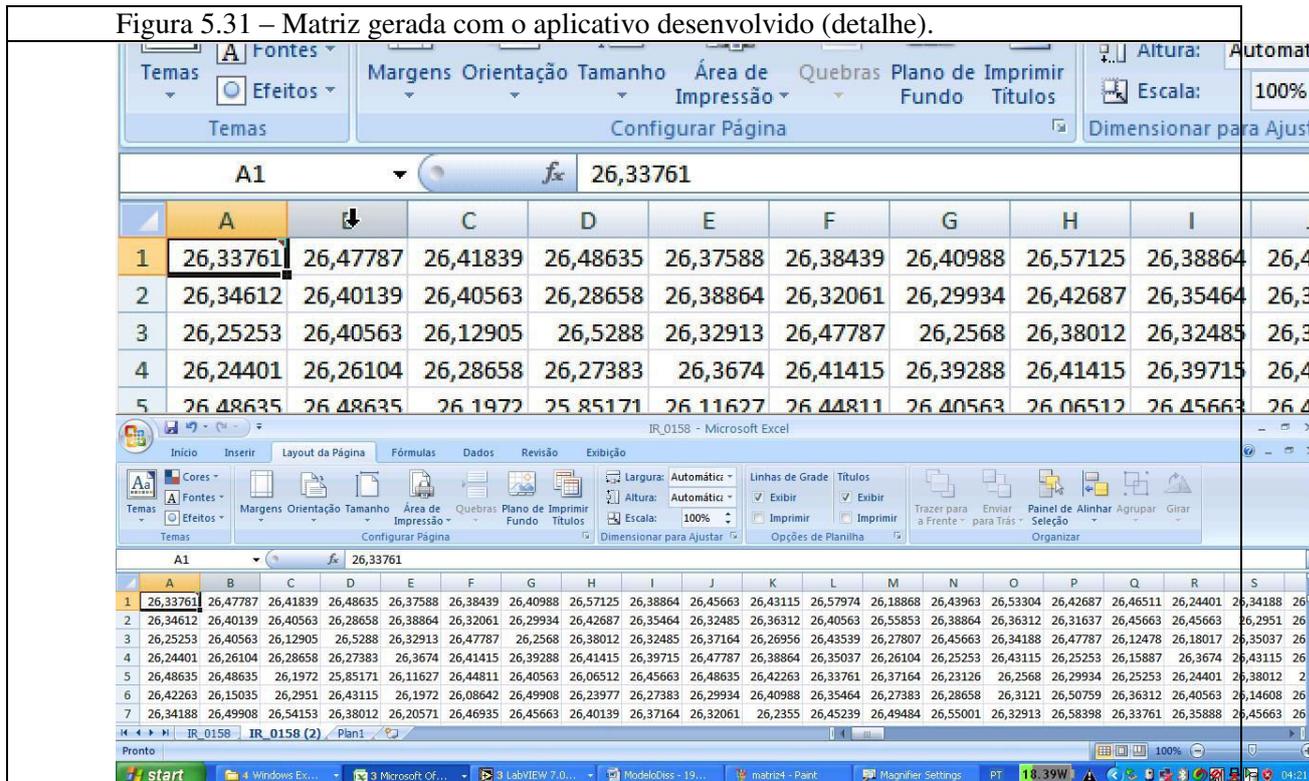


Figura 5.31 – Matriz gerada com o aplicativo desenvolvido (detalhe).



Os dados obtidos são similares, diferenciando-se pela precisão encontrada em cada um dos aplicativos utilizados.

Os seguintes valores foram obtidos dos parâmetros, com base nos dados da matriz de temperaturas retornada pelo aplicativo desenvolvido, conforme mostrado na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Valores de parâmetros encontrados após cálculo da matriz de temperaturas fornecida pelo aplicativo desenvolvido.

| Parâmetro Calculado | Valor Encontrado |
|---------------------|------------------|
| Desvio Padrão       | 2,38             |
| Variância           | 5,66             |
| Temperatura máxima  | 34,55 °C         |
| Temperatura mínima  | 25,56 °C         |
| Temperatura média   | 32,06 °C         |

## 6 CONCLUSÕES

O avanço da pesquisa com a termografia possibilitou incrementar as análises qualitativas das imagens obtidas através das câmeras com sensor infravermelho e das funcionalidades desenvolvidas com a ajuda do *software* LABVIEW®. Através da interface gráfica ao usuário foi possível agrupar diversas funcionalidades de maneira a facilitar o trabalho de exibição e recuperação de imagens geradas pelo equipamento, permitindo a análise de dados de temperatura gerados por este último.

Funcionalidades foram desenvolvidas possibilitando o uso e melhoria posterior dos dados recolhidos pelo equipamento no âmbito da pesquisa efetuada na UFPE. Estas funcionalidades podem ser divididas em duas categorias, agrupadas de acordo com sua complexidade de desenvolvimento.

As básicas foram:

- Controle de foco (manual ou automático);
- Exibição em janelas distintas;

E as avançadas são as seguintes:

- Gravação de imagens com possibilidade de armazenamento em dispositivos externos ao equipamento;
- Recuperação das informações de temperatura contidas na imagem em formato de arquivo universal texto, planilha eletrônica ou mesmo *XML (Extensible Mark-Up Language)*;
- Definição de áreas específicas da imagem com auxílio de ferramentas *ROI (Region of Interest)* associando a área destacada com perfil de temperatura traçado em gráfico associado.

Acerca da plataforma de desenvolvimento escolhida, LABVIEW®, é possível destacar aspectos positivos e negativos, sendo uma delas a flexibilidade para customização da interface gráfica do usuário, de acordo com as necessidades. Além disto, destacam-se as variedades de *drivers* para comunicação com *hardware* de aquisição de dados. Estes são pontos positivos da plataforma. Porém surgiram dificuldades que poderão se tornar fatores decisivos na escolha desta plataforma no tocante ao desenvolvimento de *software* em aplicação crítica.

A dificuldade de encontrar documentação adequada, tais como: referência e exemplos de aplicações na mesma área de atuação (geração de imagens), podem se constituir em fator limitante. Outro aspecto a destacar, refere-se ao gerenciamento de memória para execução de aplicações. Durante a etapa de desenvolvimento das funcionalidades já citadas, ocorreram problemas durante o funcionamento do aplicativo, tanto no módulo de exibição como no módulo de recuperação de imagens. A tentativa de integração das diversas funcionalidades constituiu em etapa crítica, atrasando por diversas vezes o andamento do trabalho. Ocorriam travamentos seguidos de interrupção de funcionamento, apesar de, aparentemente, a estrutura lógica apresentar sintaxe estruturada de forma conveniente.

É possível afirmar que a integração das funcionalidades para permitir execução a contento do aplicativo foi substancialmente mais difícil que o desenvolvimento da funcionalidade em si. Considerando-se que a versão utilizada da referida plataforma não é a mais atual existente no mercado, fica aberta a possibilidade de melhorias neste sentido por parte de versões mais modernas.

Especula-se que tal instabilidade da plataforma deva-se, em parte, à variedade de *drivers* de comunicação compartilhados pela plataforma, haja vista a diversidade de aplicações do LABVIEW®. Contudo não foram encontradas referências à questão citada aqui.

Em relação ao fabricante do equipamento de infravermelho, não foi possível obter uma colaboração efetiva. Vários contatos e pedidos de informações foram tentados nos diversos estágios da pesquisa por acreditar que seria uma maneira mais objetiva de conseguirmos informações a subsidiar o trabalho. Infelizmente encontrou-se uma resistência muito grande em repassar qualquer informação que o fabricante julgasse importante. Optou-se então pelo desenvolvimento do presente trabalho o qual usou as funcionalidades oferecidas pela própria plataforma observando as necessidades do grupo de pesquisa no DEMEC/UFPE.

Como sugestão para futuros trabalhos, cita-se:

- Aperfeiçoamento das funcionalidades já existentes – ajuste de parâmetros, captura, gravação e exibição de imagens - no presente trabalho;
- Obtenção de medidas de irradiância;
- Melhoria da integração entre as funcionalidades desenvolvidas para eliminação de possíveis causas de travamento e funcionamento;
- Tratamento de áreas *ROI (Region of Interest)* de qualquer formato, com seleção da matriz de temperaturas correspondentes;
- Desenvolvimento de versão para sistemas embarcados (*PDA's e Smartphones*) de maneira a facilitar o recolhimento de dados para aquisição em campo ou locais de difícil acesso em sistemas de processamento de imagens convencionais;
- Desenvolvimento de funcionalidade específica para análise de imagens em aplicações na engenharia ou na medicina.

## REFERÊNCIAS

- AVDELIDIS, N.P., MOROPOULOU, A., MARIOLI, Z.P., “The technology of composite patches and their structural reliability inspection using infrared imaging”, *Progress in Aerospace Sciences*, pp. 317 – 328, 2003.
- BENDADA, A., ERCHIQUI, F., KIPPING, A., "Understanding heat transfer mechanisms during the cooling phase of blow molding using infrared thermography", *NDT & E International*, Volume 38, Issue 6, pp. 433-441, 2005.
- CLARK, M., MCCANN, D.M., FORDE, M.C., “Infrared thermographic investigation of railway track ballast”, *NDT & E International*, Volume 35, Issue 2, pp. 83 – 94, 2002.
- FLIR® SYSTEMS INTERNATIONAL, *FLIR® ThermaCAM® S-45 User´s manual*, 2006. 218p.
- GONZÁLEZ, D.A., MADRUGA, F.J., QUINTELA, M.A., LÓPEZ-RIGUERA, J.M., “Defect assessment on radiant heaters using infrared thermography”, *NDT & E International*, Volume 38, pp. 428 – 432, 2005.
- GUIMARÃES, C.S.C., “Modelagem Computacional da Biotransferência de calor no Tratamento da Hipertermia em Tumores de Duodeno através do Método dos Volumes Finitos em Malhas Não Estruturadas, Recife, 2003, 80p”. (Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica/Universidade Federal de Pernambuco).
- KREIDER, J. F., KREITH, F., “*Solar Heating and Cooling – Engineer, Practical Designing and Economics*”, Hemisphere Publishing Corporation, Chapter 1, pp. 2, 6-18, 1977.
- LIMA, R.C.F., MAGNANI, F.S., SILVA, R.N.T., “Análise da viabilidade do uso da câmera termográfica como ferramenta auxiliar no diagnóstico de câncer de mama em hospital público localizado em clima tropical”, Projeto de pesquisa aprovado pelo comitê de ética da Universidade Federal de Pernambuco, 2005.
- MAGNANI, F.S., GUERRERO, J.R.H., LIMA, R.C.F., SILVA, R.N.T., “Studies on the applicability of infrared imaging of thermal processes in tropical regions”, In: Anais do 18<sup>th</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Ouro Preto, MG, 2005.
- NATIONAL INSTRUMENTS® *LABVIEW® User manual*, Austin, Texas, Estados Unidos, 2003. 349p.
- NATIONAL INSTRUMENTS® *LABVIEW® Getting Started with LABVIEW*, Austin, Texas, Estados Unidos, 2006. 91p.
- NATIONAL INSTRUMENTS® *NIVision® Concepts Manual*, Austin, Texas, Estados Unidos, 2005. 399p.
- OMAR M., HASSAN M., DONOHUE K., SAITO K. AND ALLOO R., “Infrared thermography for inspecting the adhesion integrity of plastic welded joints”, *NDT & E International* , Volume 39, Issue 1, pp. 1-7, 2006.

- OPENG. Sítio com informações sobre o padrão openG e sua comunidade virtual. Endereço eletrônico. <http://www.openg.org>
- REICHENBACH, S. E., PARK, S.K., HOWE, J.D., “Restoration and range performance in FLIR imaging systems”, *Infrared Physics & Technology*, pp. 177 – 192, 1997.
- SPARROW & CESS., “*Radiation Heat Transfer*”, Hemisphere Publishing Corporation, Chapter 1-2, pp. 1-40, 1978.
- SOURCEFORGE. Sítio com informações sobre G e projetos desenvolvidos com LABVIEW®. Endereço eletrônico. <http://www.sourceforge.net>
- TITMAN, J., “Applications of thermography in non-destructive testing of structures”, *NDT & E International*, Volume 34, Issue 2, pp. 149-154, 2001.
- ZIEGLER, J., BRUDER, M., FINCK, M., KRUGER, R., MENGER, P., SIMON, TH., WOLLRAB, R., “Advanced sensor technologies for high performance infrared detectors”, *Infrared Physics & Technology*, pp. 239 – 243, 2002.

## GLOSSÁRIO SOBRE TERMOGRAFIA

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>BMP</b>                | Formato Bitmap. Formato de imagem utilizado para armazenar o mapa de bits de uma imagem digital.  |
| <b>CCD</b>                | <i>Charged-Couple Device</i> . Registro de mudança que permite o transporte de sinais analógicos através de sucessivos estágios controlados por um sinal de relógio digital.  |
| <b>CMOS</b>               | <i>Complementary Metal-Oxide-Semiconductor</i> . Classe de circuito integrado, como circuitos analógicos de sensores de imagens.  |
| <b>EMISSIVIDADE</b>       | Quantidade de energia emitida de um objeto por unidade de tempo e área ( $W/m^2$ ).   |
| <b>FOV</b>                | <i>Field of View</i> . Campo de Visão - Ângulo horizontal que pode ser visualizado através de lentes.   |
| <b>FPA</b>                | Tipo de detector infravermelho.   |
| <b>IFOV</b>               | <i>Infrared Field of View</i> . Campo de Visão Infravermelho - Medida de resolução geométrica de uma câmera infravermelha.  |
| <b>INFRAVERMELHO (IV)</b> | Radiação eletromagnética invisível ao olho humano, comprimento de onda entre 2-13 $\mu$ m.  |
| <b>GIF</b>                | <i>Graphics Interchange Format</i> . Formato de armazenamento de imagens que resulta em arquivos de tamanho final menor por usar compressão de dados sem perda, do tipo LZW. Usa paleta de até 256 cores com tons de cinza. |
| <b>GUI</b>                | <i>Graphic User Interface</i> . Layer de interface com o usuário final.   |

|               |  |
|---------------|--|
| <b>JPEG</b>   | <i>Joint Photographic Experts Group</i> - Nome original do comitê que escreveu um padrão de compressão de imagens. <i>JPEG</i> foi criado para comprimir imagens fotográficas do mundo real, utiliza compressão com perda, mas não precisa de tabela de cor.               |
| <b>PALETA</b> | Conjunto de cores que podem ser selecionados para melhor visualização de imagens digitais.   |
| <b>PIXEL</b>  | Elemento fundamental da imagem. Anacronismo de <i>Picture Element</i> .  |
| <b>PNG</b>    | <i>Portable Network Graphics</i> . Formato de compressão de imagens que resulta arquivos de tamanho final menor sem perda de dado. Difere do formato <i>GIF</i> por não usar formato de compressão patenteado, usando compressão sem perda <i>LZW</i> .                    |
| <b>RAM</b>    | <i>Random Access Memory</i> . Quantidade de memória disponível para execução de tarefas computacionais.  |
| <b>RAW</b>    | Formato de imagem utilizado por vários fabricantes de equipamentos de captura de imagem que contém um mínimo de informações necessárias para serem processadas por um sensor.  |
| <b>ROI</b>    | <i>Region of Interest</i> . Região de Interesse. Área a ser analisada por ferramenta geométrica selecionada.   |
| <b>SEQ</b>    | <i>Sequence</i> . Formato de gravação de imagens da câmera infravermelha. Mantém as informações de temperaturas contidas na imagem.  |
| <b>TIFF</b>   | <i>Tagged Image File Format</i> . Formato de arquivo gráfico amplamente utilizado, desenvolvido pela Aldus® e Microsoft®. Manipula imagens monocromáticas de escala de cinza e coloridas de 8 e 32 <i>bits</i> . Pode ter ou não compressão de dados de diversos formatos. |
| <b>UV</b>     | Ultravioleta.  |