

DETECÇÃO DE FALHAS EM MONUMENTOS HISTÓRICOS DE OLINDA ATRAVÉS DE IMAGENS POR INFRAVERMELHO – UMA ANÁLISE PRELIMINAR

Rita de Cássia Fernandes de Lima (*); Fábio Santana Magnani (*); Renata Nunes(*)
 (*) Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco

Introdução

Imagens por infravermelho são freqüentemente utilizadas em todo o mundo em ensaios não-destrutivos, nos quais se enquadra o presente trabalho: a detecção de falhas estruturais, reformas e alterações em monumentos históricos. Neste trabalho será mostrada uma breve fundamentação teórica do procedimento, assim como alguns tópicos que têm sido pesquisados pela Universidade Federal de Pernambuco (Magnani et al., 2005). Nessa instituição de pesquisa, têm sido efetuados estudos sobre fenômenos básicos de emissão, transmissão, espalhamento e reflexão na detecção das imagens, desenvolvimento de softwares para qualificar e analisar o processo térmico, assim como determinar áreas do conhecimento que permitam a real aplicabilidade da técnica. Pretende-se também alertar sobre particularidades da técnica em clima tropical. Ludwig et al. (2004), na Itália, e Al-Kassir et al. (2005), na Espanha, apresentaram um estudo da detecção de umidade usando medições por infravermelho. Meola et al. (2004) mostraram um método de uso da termografia para caracterização de material, e na Espanha, Guerrero, Ocaña and Requena (2005) estudaram a influência de alguns fatores, tais como material, cor, forma e incidência solar na precisão dos termogramas. Ibarra-Castanedo et al. (2004), no Canadá, apresentaram vários métodos de análise de dados, necessários no processamento de termogramas quando usados na análise de detecção de falhas.

Fundamentos físicos

Todos os materiais emitem ondas eletromagnéticas. Embora o comportamento de propagação destas ondas (ou partículas) seja governado pelas mesmas equações, a interação com a matéria pode ser bastante diferente. Enquanto os corpos humanos são transparentes às ondas de rádio e semitransparentes ao raio-X, eles são completamente opacos à luz visível. Alguns tipos de onda, como a ultravioleta, podem causar mutações irreversíveis ao tecido humano. Do ponto de vista da interação com a matéria, a luz visível tem o mesmo comportamento que o infravermelho. A única diferença entre os dois tipos de onda é que o olho humano evoluiu para detectar a luz visível e não para detectar o infravermelho.

O tipo de onda emitido é função da temperatura. Corpos acima de 650 °C começam a emitir luz visível (como o avermelhado do ferro aquecido). O sol, a cerca de 6000 °C, emite predominantemente luz visível. Abaixo de 650°C, apenas infravermelho é emitido. Para cada temperatura e para cada tipo de material, há um espectro de radiação particular. Desta forma, um detector de radiação em infravermelho pode ser usado para a determinação da temperatura de objetos. Ondas tam-

bém podem ser emitidas a partir de reações nucleares (raios gama) ou oscilações de campos magnéticos (ondas de rádio), mas essas fontes não são de interesse no presente trabalho.

Para a maioria dos materiais utilizados em edificações (inclusive o vidro, que é opaco à radiação de infravermelho), as ondas emitidas no interior do objeto são absorvidas por moléculas próximas. Desta forma, a radiação emitida pelo objeto é praticamente aquela emitida pela sua superfície. No objeto, a temperatura da superfície é função do comportamento térmico do interior do objeto. Por exemplo, na Figura 1, é mostrado o campo de temperatura de um bloco de gesso. Na parte superior esquerda há um cilindro de aço incrustado, mas não visível frontalmente. A placa foi aquecida e depois deixada resfriar por alguns segundos. Como o aço possui uma condutividade térmica mais alta que o gesso, a placa é resfriada mais rapidamente pela parte de trás, causando, desta forma, um resfriamento maior também na parte da frente. Assim é possível detectar esta “falha” interna a partir de medições da superfície.

No caso de edificações, muitas vezes não é possível provocar o gradiente de temperatura por meios artificiais (lâmpada de infravermelho ou jato de ar quente). Mas, por sorte, há o aquecimento diário provocado pela incidência solar, ou o resfriamento noturno, que fazem com que sempre haja uma diferença de temperatura entre o interior e o exterior da edificação.

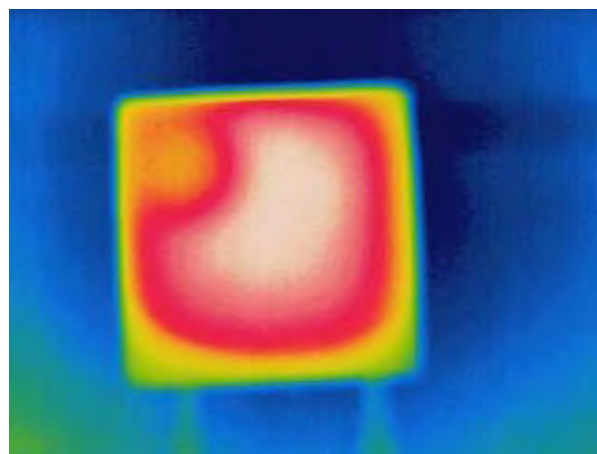


Figura 1. Termograma frontal de uma placa de gesso, com incrustação de uma peça de aço, visível apenas na parte traseira.

Materiais e Métodos

As imagens termográficas aqui apresentadas foram adquiridas pela utilização de uma câmera de infravermelho S45 (FLIR). Sua sensibilidade é de 0,08 °C, precisão de ± 2 °C, possui um detector de microbolômetro não-resfriado de 240x320, e freqüência de aquisição de imagem de 60 Hz. Trabalha num intervalo

espectral de 7,5 a 13 μm , onde há uma menor atenuação pelo vapor d'água e pelo CO_2 presentes na atmosfera e opera nos seguintes intervalos: $-40\text{ }^\circ\text{C}$ a $+120\text{ }^\circ\text{C}$, $0\text{ }^\circ\text{C}$ a $500\text{ }^\circ\text{C}$, e acima de $+1500\text{ }^\circ\text{C}$.

As imagens a serem analisadas foram tomadas em Olinda, PE, em uma tarde de verão, entre 15 e 19 h. Os monumentos analisados foram a Igreja do Carmo, o Mosteiro de São Bento e a Igreja da Sé. Nos dois primeiros prédios foram tomadas imagens exteriores e interiores, enquanto no último, apenas imagens da fachada frontal. Na Igreja do Carmo, foram obtidos termogramas da fachada às 15h30 e posteriormente, às 19h. Imagens ópticas digitais equivalentes foram efetuadas.

Resultados

As alterações mais importantes foram verificadas na fachada da Igreja do Carmo (Fig.2), mostrando um ponto quente no campanário sem que fosse visualizada opticamente falha alguma naquele ponto, nem na parede lateral contígua. Na Fig. 3 é mostrada a imagem óptica do local. Imagens ópticas internas não apresentaram quaisquer falhas visíveis que justificassem o ponto mencionado. Uma possível explicação, é que haja neste ponto, uma falha na junção do material da parede, onde houve um aprisionamento de ar, elevando a temperatura local, uma vez que a parede lateral recebe sol durante boa parte da tarde. Foi feita uma nova imagem no local, às 19h, e o ponto quente desapareceu, fato que pode explicar a diferença entre as duas imagens, pois o calor armazenado no pequeno ponto observado já teria se dissipado. As imagens colorida e preto e branca podem ser observadas nas Figs. 4 e 5.

No nártex do Mosteiro de São Bento foi possível verificar a presença de madeiramento estrutural sobre o teto de madeira, quando se estava em movimento com a câmera, o que não foi possível de ser constatado na imagem estática. Uma explicação preliminar é que o cérebro humano, sendo "programado" para reconhecer padrões, quando está em movimento, não conseguiu visualizar o madeiramento com o operador parado.

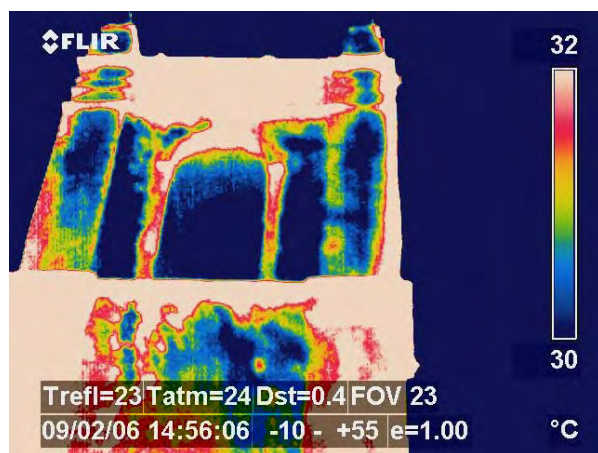


Figura 2. Termograma do campanário da Igreja do Carmo, obtido às 15h30min.



Figura 3. Fotografia digital do campanário da Igreja do Carmo às 15h30min.

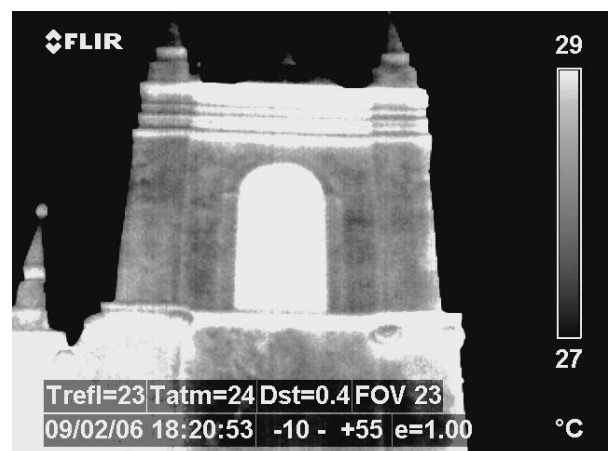


Figura 4. Termograma do campanário da Igreja do Carmo obtido às 19h.

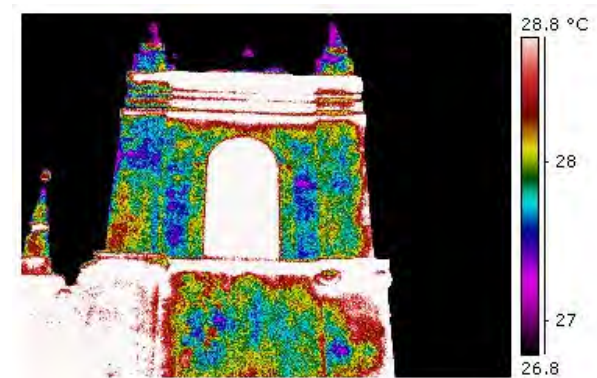


Figura 5. Termograma do campanário da Igreja do Carmo, obtido às 19h.

A técnica também pode ser utilizada para detecção de animais de sangue quente, em locais de difícil acesso, como pode ser constatado na Fig. 6, que mostra a presença de morcegos na Capela-Mor do Mosteiro de São Bento.

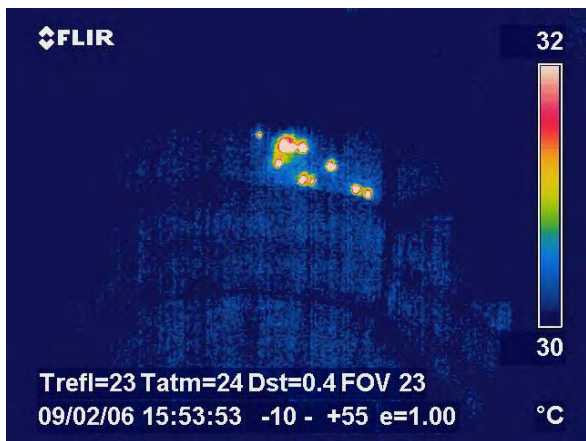


Figura 6. Termograma da Capela-Mor do Mosteiro de São Bento.

Da fachada da Igreja da Sé, foram efetuadas diversas imagens, pelo fato de ter havido intervenções neste local, principalmente de colocação de argamassa sobre pedra de cantaria. Nas Figs. 7 e 8 são vistas, respectivamente o termograma e a imagem óptica da porta principal, evidenciando-se a diferença de materiais.

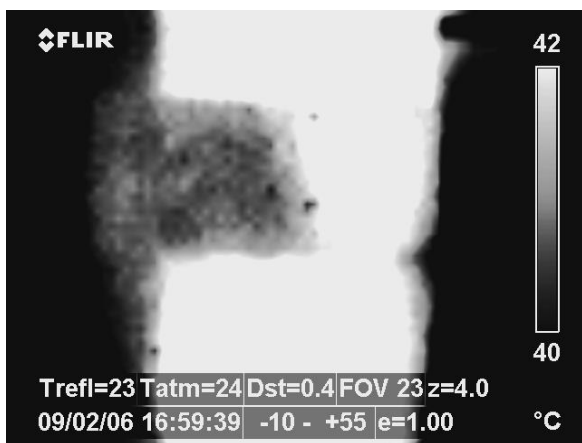


Figura 7. Termograma de detalhe da porta principal da Igreja da Sé.

Detalhes de argamassa sobre pedra de cantaria na fachada da Igreja da Sé, e invisíveis a olho nu, puderam ser verificados nos termogramas. (Vide Figs. 9 e 10).

Finalmente, neste mesmo monumento, é possível se detectar à distância, pequenos defeitos invisíveis a olho nu, e em foto digital, obtida sem muita aproximação. (Figs. 11,12 e 13). Apenas na imagem óptica, usando o *zoom*, foi possível se constatar a presença de um prego, com um pequeno pedaço de arame em torno dele.



Figura 8. Fotografia digital de detalhe da porta principal da Igreja da Sé



Figura 9. Termograma de detalhe da porta principal da Igreja da Sé.

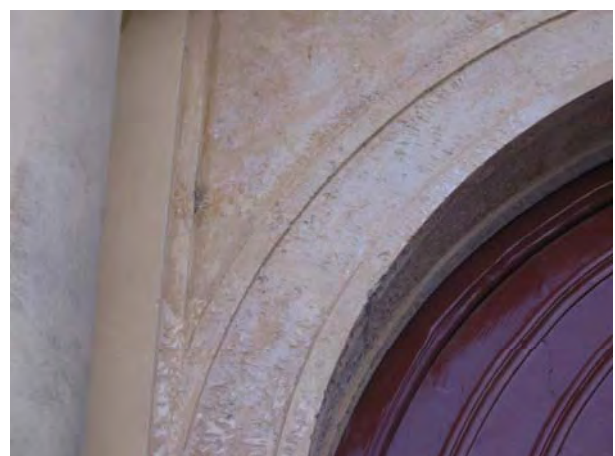


Figura 10. Fotografia digital de detalhe da porta principal da Igreja da Sé.

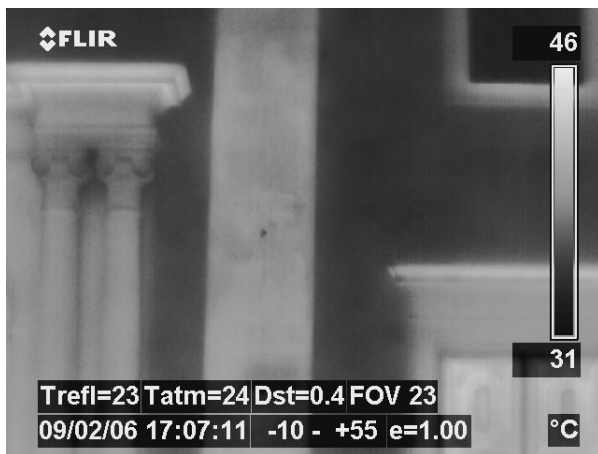


Figura 11. Termograma de detalhe da fachada principal da Igreja da Sé.



Figura 12. Fotografia digital de detalhe da fachada principal da Igreja da Sé.



Figura 13. Fotografia digital aproximada do detalhe da fachada principal da Igreja da Sé.

Conclusões

Apesar de ser uma técnica ainda pouco utilizada em algumas áreas de conhecimento, a termografia demonstra ser uma ferramenta importante na análise e entendimento, quantitativos ou qualitativos, de fenômenos, ou na descoberta de efeitos encobertos à visão humana.

Pelas imagens termográficas adquiridas é possível se afirmar que a técnica de análise por infravermelho é capaz de identificar algumas falhas e/ou intervenções não visíveis ao olho humano ou que estejam situadas em pontos de difícil acesso. Constitui-se portanto em recurso de grande potencial, especificamente em locais com poucos recursos financeiros, ou para uma primeira vistoria de monumentos históricos.

Porém, devido à pequena variação de temperatura existente na região, recomenda-se que as imagens sejam tomadas à noite ou no início da manhã. Necessita-se entretanto, que a técnica seja mais explorada no que se refere à sua aplicabilidade em regiões de clima tropical.

Agradecimentos

À ARPE pelo apoio técnico concedido e à FINEP, pelo financiamento concedido para aquisição da câmera FLIR S45.

Referências

- (1) Al-Kassir, A.R., Fernandez, J., Tinaut, F.V. and Castro, F., 2005, "Thermographic study of energetic installations", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 25, pp. 183–190.
- (2) Guerrero, I.C., Ocaña, S.M. and Requena, I.G., 2005, "Thermal-physical aspects of materials used for the construction of rural buildings in Soria (Spain)", *Construction and Building Materials*, Vol. 19, pp. 197–211.
- (3) Ibarra-Castanedo, C., González, D., Klein, M., Pilla, M., Vallerand, S. and Maldague, X., 2005, "Infrared image processing and data analysis", *Infrared Physics & Technology*, Vol. 46, pp. 75–83.
- (4) Ludwig, N., Redaelli, V., Rosina, E. and Augelli, F., 2004, "Moisture detection in wood and plaster by IR thermography", *Infrared Physics & Technology*, Vol. 46, pp. 161–166.
- (5) Magnani, F. Lima, Guerrero, J. R. H., Lima, R de C. F de, Nunes, R. 2005, "Studies on the applicability of infrared imaging of thermal processes in tropical regions", *Anais do COEM2005, 18th International Congress of Mechanical Engineering*, publicado em CDROM.
- (6) Meola, C., Carlomagno, G.M. and Giorleo, L., 2004, "The use of infrared thermography for materials characterization", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 155–156, pp. 1132–1137.

E-Mails dos Autores

ritalima@ufpe.br; magnani@ufpe.br