

Ensaio termográfico de edificação histórica: Igreja de Nossa Senhora da Conceição de Almofala

Thermographic test of historical heritage: Igreja de Nossa Senhora da Conceição de Almofala

DOI:10.34117/bjdv7n10-401

Recebimento dos originais: 07/09/2021

Aceitação para publicação: 28/10/2021

Jennifer Braga Luz

Bacharel em Engenharia Civil, Universidade de Fortaleza – UNIFOR
luzbjennifer@gmail.com

Ivna de Oliveira Silveira

Bacharel em Engenharia Civil, Universidade de Fortaleza – UNIFOR
ivna.o.s@gmail.com

Marcos Andrew Rabelo Soeiro

Mestre, Universidade de Fortaleza – UNIFOR
marcos@duosestruturais.eng.br

RESUMO

A termografia por infravermelho tem sido utilizada na identificação de patologias, como fissuras, umidade, descolamento de revestimento, dentre outros. Por ser uma técnica não intrusiva, que não causa danos na edificação, ela vem sendo utilizada de forma eficiente em países europeus para manutenção preventiva de patrimônios históricos. O trabalho visa a utilização da termografia para identificação de elementos possivelmente danificados na Igreja de Nossa Senhora da Conceição de Almofala, em Itarema, no estado do Ceará. A edificação foi erguida no século XVIII, foi soterrada pela areia em 1897 e, passados mais de quarenta anos, os ventos a descobriram. Em 1980 foi tombada pelo IPHAN, levando-se a uma restauração em 1983. Este trabalho realizou pesquisa de campo para obtenção de termogramas da referida igreja, cujo procedimento baseou-se na revisão bibliográfica das normas e trabalhos científicos pertinentes ao tema. Através da análise dos termogramas, o trabalho concluiu que, apesar das limitações do método, é possível obter um panorama preliminar da situação da edificação. Desta forma, o trabalho ganha importância por contribuir com a análise de edificação de significativo valor cultural para a região e por fomentar o debate sobre a eficiência da termografia como meio de identificação de patologias.

Palavras-chave: Patrimônio, Patologia, Termografia.

ABSTRACT

Infrared thermography has been used to identify pathologies, such as cracks, humidity, coating detachment, among others. As it is a non-intrusive technique, which does not cause damage to the building, it has been used efficiently in European countries for preventive maintenance of historical heritage. The work aims to use thermography to

identify damaged elements in the Church of Nossa Senhora da Conceição of Almofala, in Itarema, in the state of Ceará. The building was erected in the 18th century, was buried under sand in 1897 and, after more than forty years, the winds discovered the building. In 1980 it was listed by IPHAN, leading to a restoration in 1983. This work resulted in field research to obtain thermograms from the church, whose procedure was based on the bibliographic review of the norms and scientific papers relevant to the theme. Through the analysis of thermograms, the work developed that, despite the limitations of the method, it is possible to obtain a preliminary overview of the situation of the building. In this way, the work gains importance for contributing to the analysis of edification of significant cultural value for the region and for promoting the debate on the efficiency of thermography as a means of identifying pathologies.

Keywords: Heritage. Pathologie. Thermography.

1 INTRODUÇÃO

É sabido que o patrimônio histórico representa a identidade e cultura de um povo, sendo importante que haja esforços no sentido de assegurar sua permanência para usufruto das gerações presentes e futuras. Isso posto, com objetivo de contribuir para a preservação desse patrimônio, o presente trabalho visa a utilização da termografia para identificação de elementos possivelmente danificados na Igreja da Nossa Senhora da Conceição de Almofala, em Itarema, no estado do Ceará.

Os testes destrutivos tradicionais não são possíveis de se realizar na maioria dos edifícios históricos, uma vez que são procedimentos invasivos, que podem vir a danificar a edificação, por isso é necessário selecionar testes não destrutivos que permitam analisar a situação da edificação. Dentre os ensaios não destrutivos, destaca-se no presente trabalho o ensaio de termografia, que além de ser um ensaio não intrusivo, totalmente inofensivo ao patrimônio em estudo, alcança grande área em pouco tempo.

A termografia tem sido amplamente utilizada no continente europeu para fins de identificação de patologias, possuindo normas vigentes desde o ano de 1999, que orientam os procedimentos para realização do ensaio. No Brasil, o ensaio não é empregado com esta mesma frequência e carece de normas regulatórias específicas para executar o procedimento em edificações.

Apesar destas limitações, é possível realizar o ensaio baseando-se em parâmetros internacionais e referências bibliográficas de trabalhos correlatos ao tema. A cuidadosa interpretação dos resultados, pode levar a localização de áreas comprometidas, que deverão ser submetidas a uma posterior análise por meio de outros métodos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Verati (2011) e Pelliari (2006), citados por Abreu *et al.* (2012), a Inspeção Termográfica é uma técnica de inspeção não destrutiva realizada com a utilização de sistemas infravermelhos para a medição de temperaturas ou observação de padrões diferenciais de distribuição de calor, sendo baseada na medida da radiação eletromagnética emitida por um corpo a uma temperatura acima do zero absoluto, já que todos os objetos com temperatura acima de 0 Kelvin emitem radiação na faixa do infravermelho.

A NBR 15424 (2016) que trata das terminologias do ensaio termográfico, conceitua dois tipos de termografia: Ativa e Passiva. A técnica de inspeção termográfica ativa requer estímulo térmico adicional (fontes externas), podendo ser óptico, sônico (ultrassom), indutivo, micro-ondas ou outra forma de energia. A técnica de inspeção termográfica passiva mede a radiação infravermelha emitida pelos objetos sem a necessidade de estímulos térmicos adicionais. Nas edificações ocorre a predominância de trabalhos de termografia passiva, pelas dificuldades na excitação térmica externas, pelas dimensões do alvo e pela grande quantidade de energia necessária (HOLST, 2000).

Quando da avaliação térmica, Tavares (2006) explica que o esperado é obter uma distribuição uniforme da temperatura quando o material é homogêneo, ou seja, sem defeitos, mas quando há presença de falhas, a variação das propriedades no ponto em que elas estão presentes influencia na difusão do calor, o que ocasiona normalmente a queda da temperatura.

A imagem obtida a partir da radiação infravermelha emitida pelos objetos, em função de sua temperatura, recebe o nome de termograma e conforme explica a NBR 15424 (2016), esta imagem pode ser em tons de cinza ou diferentes cores, representando a temperatura aparente da superfície.

Quanto ao método de análise das imagens obtidas no monitoramento das edificações, pode ser quantitativo ou qualitativo. A análise qualitativa é considerada uma técnica da termografia infravermelha que fornece laudos instantâneos, pois o enfoque dela é o perfil e não os valores (ITC, 2014 apud SILVA *et al.* 2019), sendo uma comparação do valor relativo ao acesso local em relação a um ponto de referência, enquanto a análise quantitativa dos dados permite uma determinação precisa da temperatura de um ponto ou de uma região (BAGAVATHIAPPAN *et al.*, 2013 apud SILVA *et al.* 2019).

Para Rocha e Povoas (2017) a termografia infravermelha se apresenta como uma técnica rápida, não-invasiva, sem contato, e que por estas características, pode ser aplicada

a grandes distâncias, sendo possível analisar e inspecionar grandes áreas em pouco tempo. Além disso, sua utilização torna-se bastante relevante para o estudo de patrimônios históricos, por seu caráter totalmente não invasivo, pois de acordo com Inagaki et al. (1999, apud TAVARES, 2006) o diagnóstico utilizando a tecnologia infravermelha é absolutamente inofensiva, seja a sistemas vivos, seja a equipamento e estruturas.

Cortizo et al. (2008) observa que na construção civil, esta técnica tem sido empregada para a detecção de vazamentos, inspeção térmica de entorno de novas obras e testes térmicos para conservação de patrimônio histórico. Em síntese, as técnicas de termografia permitem a visualização da edificação, possibilitando a identificação de anomalias e manifestações patológicas.

A identificação e quantificação de anomalias e manifestações patológicas em edificações com termografia é bem complexa, porque as diferenças de temperatura entre as zonas com e sem anomalia são relativamente pequenas, se comparadas com outras áreas da engenharia onde se estudam componentes e equipamentos que geram calor durante seu funcionamento. (BAUER e PAVÓN, 2015). Além disso, o clima, horário e local em que foi realizado o ensaio, exposição ao sol, sombreamento, acuracidade dos equipamentos utilizados, dentre outros fatores, podem influenciar o resultado obtido no termograma.

Segundo Cortizo et al. (2011), citado por Freitas et al. (2014), apesar de a técnica ser bastante difundida nos países europeus, graças ao grande acervo histórico, no Brasil sua utilização é relativamente nova, podendo ser motivada pela dificuldade de aplicação prática.

2.1 EQUIPAMENTO UTILIZADO

O equipamento utilizado nas medições foi a câmera Flir i7, com as seguintes características:

Campo de Visão (FOV): 29° x 29°

Resolução espacial (IFOV): 3.7 mrad

Faixa espectral: 7.5–13 μm

Faixa de temperatura de objetos: -20°C to 250°C

Emissividade: 0.1 a 1.0

Frequência da imagem: 9,0 Hz

2.2 CRITÉRIOS DE ANÁLISE E PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO TÉRMICA

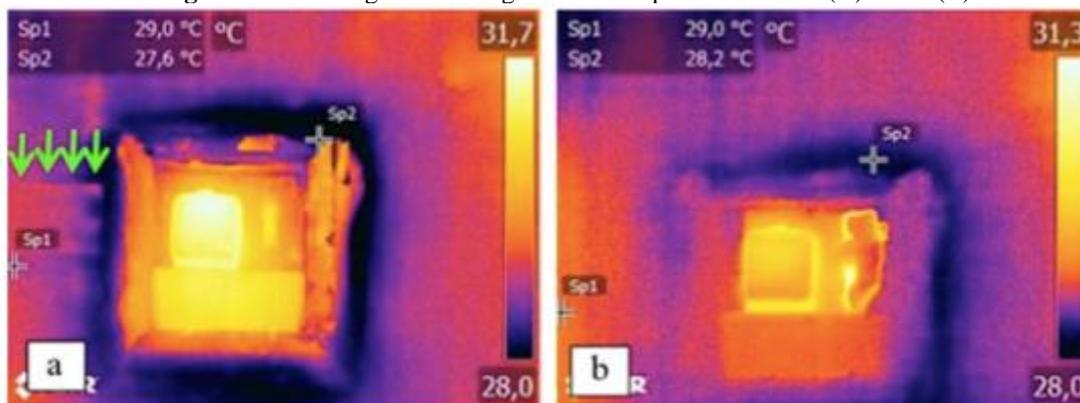
Para realizar análise dos termogramas, os critérios utilizados foram trabalhos científicos com temas correspondentes ao do presente trabalho. Para cada uma das patologias estudadas, listou-se os parâmetros para interpretação dos resultados obtidos, conforme segue.

2.2.1 Umidade

Fé (2017) explica que a água modifica a densidade, o calor específico e a condutividade térmica. Como a água tem calor específico mais elevado do que materiais comuns de construção, isto faz com que as áreas com elevado conteúdo de umidade apareçam com temperaturas diferentes às áreas vizinhas. Devido esta característica, a presença de umidade em locais superficiais aparece como a patologia de mais simples detecção.

Santos (2018) realizou estudo em parede de edificação residencial em Pernambuco, que recebe incidência direta de radiação solar durante o período da tarde. O ensaio termográfico foi realizado em dois momentos: tempo chuvoso e ensolarado. Em ambas as situações, a umidade apareceu como uma área mais fria tanto nas medições feitas pela manhã, nos horários de 08h e 11h, como também pela tarde, nos horários de 14h e 17h. Concluiu-se também através do referido estudo, que em tempo ensolarado, ao final da tarde, a umidade aparece de forma menos nítida, devido ao processo de equilíbrio térmico entre a parede e o ambiente.

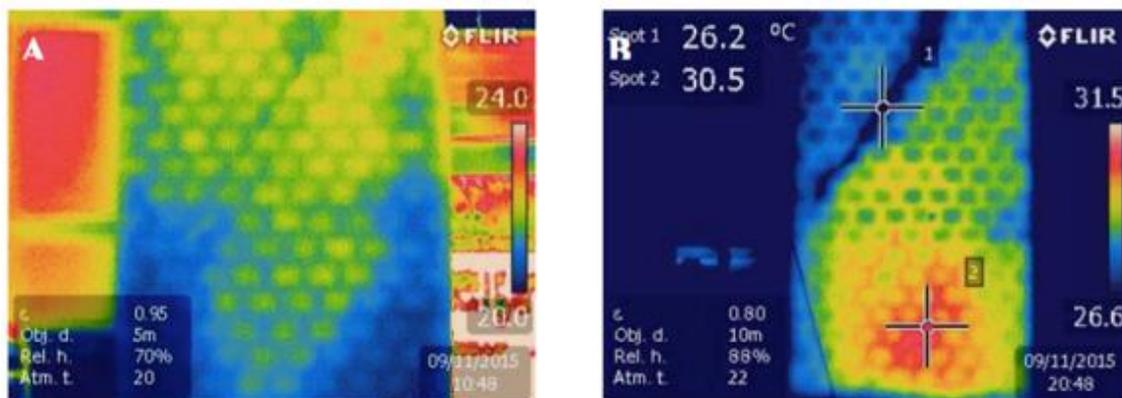
Figura 01 - Termogramas de região úmida capturados às 11h (A) e 17h (B).



Fonte: Santos (2018).

Takeda e Mazer (2018) registraram termograma de trecho de fachada sem exposição direta à irradiação solar no período da manhã às 10:48 e no período da noite às 20:48. O estudo foi realizado no Campus Curitiba, a uma temperatura ambiente de 22 °C. Pela manhã, conforme consta na figura A, a umidade aparece com menor temperatura, enquanto na figura B, aparece com temperatura maior, devido à maior capacidade de reter calor, se comparada a dos materiais constituintes do revestimento.

Figura 02 - Termogramas de região úmida capturados às 10:48h (A) e 20:48h (B).



Fonte: Takeda e Mazer (2018).

Rocha, Santos, Oliveira, Albuquerque e Povoas (2018) utilizaram a termografia para identificar infiltrações no interior de edificações localizadas no estado de Pernambuco. Em todos os termogramas a umidade apareceu como área mais fria, tanto em paredes que recebiam incidência de sol, como as demais.

Diante dos casos relatados, como parâmetro para análise dos termogramas, entende-se que a umidade, em climas tropicais, manifesta-se majoritariamente com temperatura menor, podendo ocorrer o equilíbrio térmico, geralmente ao final da tarde, acarretando em redução da diferença de temperatura e menor contraste de cores no termograma. Após certo período em que se encerra a exposição ao sol e se inicia o processo de resfriamento, a umidade passa a se apresentar como região mais quente, devido à retenção de calor pela água.

2.2.2 Degradação

Degradação é “qualquer fator externo que afete de maneira desfavorável o desempenho de um edifício ou de suas partes, incluindo nisto as intempéries, agentes biológicos, esforços, incompatibilidade e fatores de uso” (JOHN, 1987, apud PEREIRA, 2012).

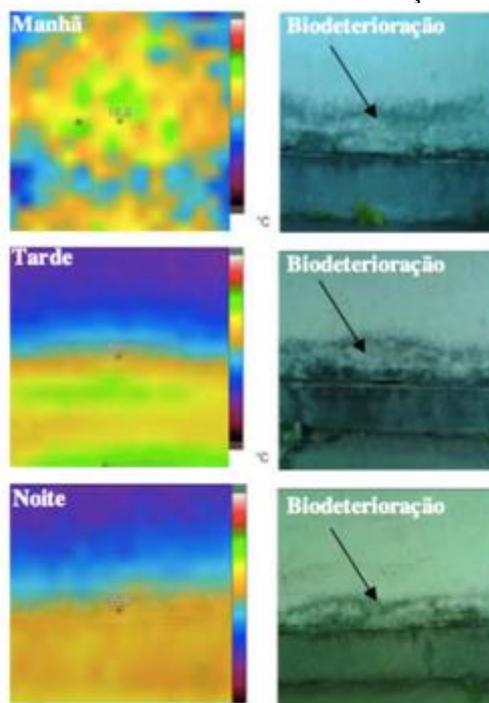
Os materiais de construção em geral estão submetidos a esforços mecânicos e a fatores naturais, dentre os quais, deve-se destacar: a radiação solar, a temperatura, a água, a umidade, bem como a ação de agentes microbiológicos, principais características que influenciam no processo de deterioração de uma edificação (PEREIRA, 2012).

Moresco *et al* (2015) apresentaram os termogramas presentes na Figura 03, de área com biodeterioração no prédio onde se localiza a biblioteca da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, na cidade de São Leopoldo, Rio Grande do Sul.

As áreas com menores temperaturas, representadas pela cor azul, coincidem com os locais onde não existe a manifestação patológica. Neste caso, os três termogramas registrados em diferentes períodos do dia apresentaram uma maior temperatura nos locais da superfície onde existe a biodeterioração, estas indicadas pela cor laranja.

Isso pode ser explicado pelo fato de que os microrganismos geram calor em seu metabolismo, aquecendo a superfície e gerando uma diferença de calor nos locais onde existe e não existe a presença da biodeterioração (MORESCO, 2015 apud SOUZA, 2014).

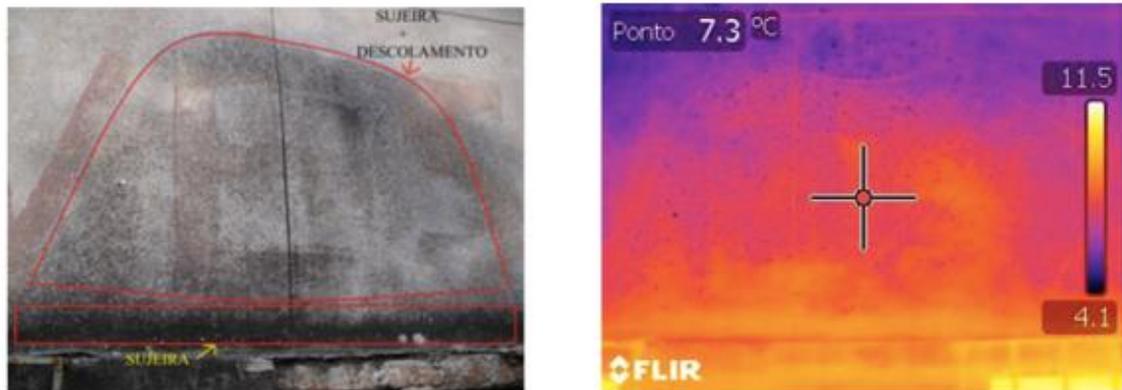
Figura 03 - Termogramas realizados na área com biodeterioração. Fonte: Moresco *et al* (2015).



Fonte: Moresco *et al* (2015).

Mario (2011) registrou termograma de revestimento com sujeira, descolamento e possível biodeterioração juntos. A imagem termográfica apresentou uma alteração de cor nestas regiões comparando com seu entorno.

Figura 04 - Foto e termograma de revestimento com descolamento, sujidade e possível biodeterioração.



Fonte: Mario (2011).

Desta forma, espera-se que a degradação, principalmente se originada por fatores biológicos, se apresente como zona mais quente.

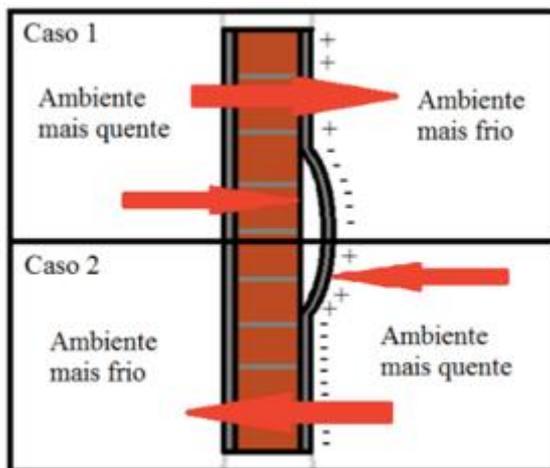
2.2.2 Descolamento

Quando há perda de aderência, forma-se uma camada de ar entre a peça e o substrato. A presença de ar perto da superfície gera nessa área diferenças de temperatura comparada com uma área vizinha em condições normais. (Fé, 2017).

Mario (2011) detectou diversas áreas de descolamento nas fachadas com revestimento em argamassa do prédio do Observatório Astronômico da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em que a temperatura ambiente ao realizar o ensaio era de 18°C. Nos locais em que foram observadas visualmente falhas no revestimento, a temperatura detectada pela câmera termográfica foi mais alta.

Segundo o autor, este comportamento pode ser explicado pelo mecanismo de transporte do calor. Quando o bolsão está em ambiente com temperatura superior, na zona onde há descolamento, há formação de um bolsão de ar com uma camada de ar aquecida, gerando temperatura superficial mais alta (Caso 2 da Figura 05). Quando o fluxo de calor é inverso, o descolamento presente no revestimento vai dificultar o transporte do calor para a superfície (Caso 1 da Figura 05).

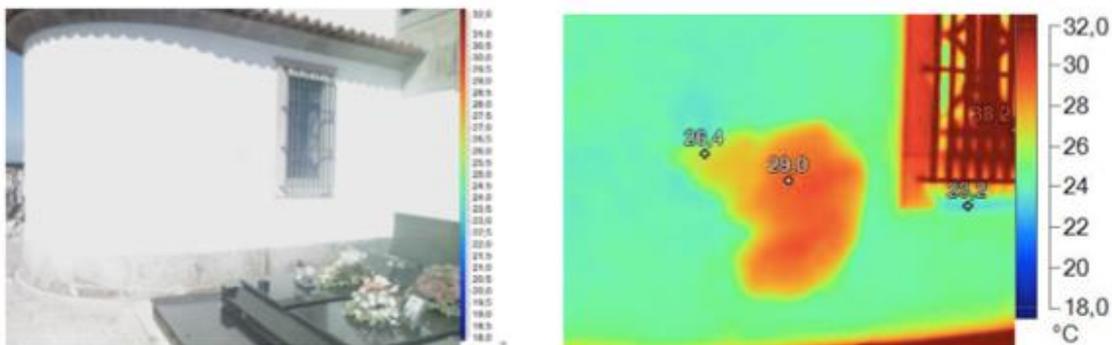
Figura 05 - influência do descolamento do revestimento no transporte de calor.



Fonte: Mario (2011).

Pereira, Clara e Venceslau (2017) registraram termograma de parede externa rebocada de um edifício que recebe irradiação solar direta. Na imagem termográfica identificaram uma zona mais quente da parede, possivelmente resultante da presença de uma lâmina de ar atrás da camada de revestimento.

Figura 06 - Foto e termograma de fachada com possível descolamento do revestimento.



Fonte: Pereira, Clara e Venceslau (2017).

Cerdeira *et al* (2011) analisaram a possibilidade de empregar a termografia na avaliação de descolamentos em revestimentos com placas de granito mediante um estudo de laboratório. Os descolamentos apareceram como áreas mais frias na imagem devido ao aquecimento ter sido pela parte traseira da parede.

Cunha (2016) realizou ensaio no Centro Universitário de Brasília – Uniceub, no início da manhã às 8h gerando a imagem termográfica da fachada representada na Figura 07, que recebe irradiação solar em sua lateral no horário observado. Foram indicadas as regiões onde o revestimento está parcialmente destacado concluindo-se que a temperatura aferida pela câmera termográfica é mais alta nos locais em que há falhas.

Figura 07 - Imagem termográfica evidenciando anomalias do revestimento cerâmico.



Fonte: Cunha (2016).

Em estudo realizado por Bauer et al (2015) foi aplicado o método de termografia ativa em laboratório, utilizado corpo de prova desenvolvido por Freitas et al. (2013) para avaliar o potencial da termografia na detecção de rebocos destacados na fachada. O corpo de prova foi constituído sobre uma base de concreto, em que foi criada artificialmente uma delaminação do reboco, inserindo um pequeno espaço de ar entre o suporte e o reboco polimérico. No estudo foi possível constatar a patologia qualitativa e quantitativamente, no entanto, apenas a abordagem quantitativa permite classificar a gravidade da anomalia.

Avaliando a variação da temperatura entre a zona sem defeito e a área do defeito, constatou-se que era imperceptível antes da exposição ao calor. Quando se adicionou fonte de calor, a diferença de temperatura foi elevando, à medida que o tempo de exposição ao calor foi aumentando e variou até aproximadamente 3,0 °C, sendo a temperatura superior na área com defeito. Já na fase de resfriamento, a variação foi em torno de 0,3 °C, sendo a temperatura inferior na zona com defeito.

Em relação à transição entre aquecimento e resfriamento, podem ocorrer situações em que o defeito não é detectado devido a mudanças no regime de fluxo de calor. Assim, os autores do experimento advertem que, em inspeções de campo, quando a termografia passiva está sendo usada, diferentes regimes de fluxo térmico precisam ser implementados. Então, avaliando a fachada em diferentes condições de temperatura (sob a ação do sol, à noite, entre outras) é possível identificar danos e anomalias comparativamente aplicando critérios quantitativos.

Fé (2017) conclui que, a princípio, em uma condição direta, quando está entrando o calor para o interior da edificação, os descolamentos devem aparecer como áreas mais quentes e, em uma condição reversa, quando o calor estiver saindo pela superfície revestida o descolamento deve aparecer como uma área mais fria. No entanto, como as condições climáticas são diferentes dependendo da região do estudo e mudam durante o

dia, o momento para avaliar a patologia constitui uma das principais dificuldades, tendo em vista que, para que o sistema se encontre em uma condição direta ou reversa, depende, no mínimo, do clima, da orientação, elemento e das camadas que o compõem.

2.3 IGREJA DE ALMOFALA

As terras onde se localiza o povoado de Almofala, segundo informações obtidas no site do IPHAN, foram doadas através de Carta Régia do Governo Português, datada de 08/01/1697. A medida tinha como objetivo a fixação dos índios Tremembé, que à época, vagavam nômades pela costa Brasileira.

A Igreja de N. Sra. da Conceição foi erguida no século XVIII, substituindo a anterior capela de taipa com cobertura em madeira. Presume-se que parte dos materiais utilizados na construção veio da Bahia, por mar, desembarcando no porto de Aracaú, e seguindo deste em carros-de-boi, até o local da construção. A construção foi realizada em tijolos, argila e cal, acrescido com búzios colhidos no litoral. (IPHAN, 2020).

Ainda segundo informações do IPHAN, a igreja foi soterrada pela areia em 1897, tendo início nessa época, a formação de uma duna em torno da mesma, acabando por cobri-la por completo. Em 1898, o Bispo da Província do Ceará, Dom Joaquim José Vieira, autorizou a retirada dos objetos de culto de seu interior, transferindo-os para a capela de N. Sra. dos Navegantes, em Itarema.

Figura 08 – Igreja de Almofala parcialmente soterrada em 1892.



Fonte: Acervo do IPHAN.

Passados mais de quarenta anos, os ventos a descobriram, revelando a estrutura de alvenaria. Em 1944, as imagens retornaram ao templo e uma reforma foi realizada pela população local, em meio à falta de recurso e sem maior rigor técnico, que foi dada por

concluída em 1947 (SPHAN, 1984). A igreja foi tombada pelo SPHAN, em 1980, tombamento n° 652-T-62, que inclui todo o seu acervo.

Figura 09 – Igreja de Almofala depois da retirada da areia.



Fonte: SPHAN pró-memória n. 28 (1984).

Conforme boletim SPHAN (1983), foi realizada pesquisa fotográfica de fotos que se presume serem anteriores ao soterramento e logo após ele, com a finalidade de definir alternativas para a recuperação do templo.

A primeira etapa de obras foi a prospecção, demolição do reboco, demolição da cobertura da nave e capela-mor, execução do madeiramento e telhamento da cobertura, imunização do madeiramento, execução do reboco, do tabuado do couro e das esquadrias, além de pintura. A segunda etapa foi de completar os serviços da igreja e promover o agenciamento da praça fronteira ao templo.

O boletim SPHAN (1984), informa que em 17 de fevereiro de 1984 foi realizada procissão para recondução das imagens à Igreja de Almofala já totalmente recuperada.

Figura 10 – Igreja de Almofala recuperada em 1984.



Fonte: SPHAN pró-memória n. 28 (1984).

Coelho e Monteiro (2013) relatam que em 1997 com a visita anual de fiscais do Instituto Federal responsável pelo tombamento, viu-se a necessidade de uma nova reforma, dessa vez incluindo apicamento das pedras dos arcos da porta da frente, das laterais e do altar. Além de recuperação do piso em pedra da capela-mor e recuperação do beiral em beira-seveira.

Segundo Monteiro *et al* (2015), outra reforma ocorreu em 2005, em que mais alguns reparos foram solicitados, como a realização técnicas de manutenção preventiva, pois observou-se a presença de algumas manifestações patológicas, como infiltrações e faixas de eflorescência. Essas manifestações patológicas estão associadas com a permeabilidade à água das paredes da Igreja. Outro problema observado é a presença de microfissuras no cobrimento, causada por retração hidráulica na pintura à base de cal. Pode-se perceber também o exercício incorreto de técnicas corretivas, que não compatibilizam os materiais originais da construção, como a aplicação de massa corrida, de base cimentícia, em parte da parede sem reboco, sem preparo do local para recebimento do material. Os resultados desta reforma são mostrados na Figura 11.

Figura 11 – Vista frontal e lateral da igreja após manutenção de 2005.



Fonte: Monteiro *et al* (2015)

A igreja de Nossa Senhora da Conceição de Almofala continua com as atividades de culto religioso e é submetida a reparos apenas referentes à pintura todos os anos, para a festa da padroeira. (Monteiro *et al*, 2015)

3 RESULTADOS

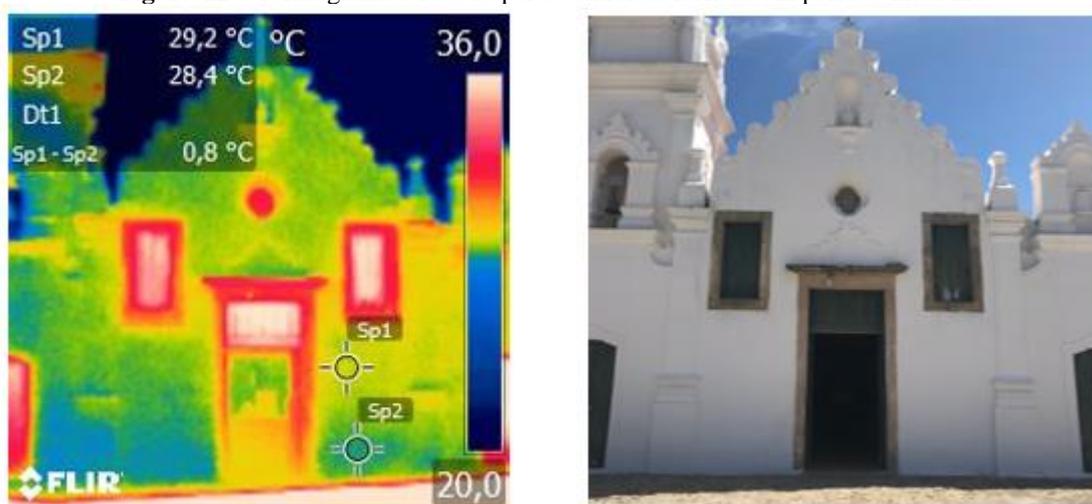
No momento do ensaio, foram coletados os dados da temperatura, da umidade relativa do ar e velocidade do vento na cidade através do site weather.com. As informações estão listadas na Tabela 01:

Tabela 01: Dados Climáticos Itarema-CE. Fonte: Weather.com (2020).

Data	Período	Temperatura	Umidade	Vento
21/12/2020	Matutino 10h	30°C	63%	27km/h
21/12/2020	Vespertino 14h	31°C	59%	27km/h

Em termograma obtido do centro da fachada em período matutino, observa-se na Figura 12 que o trecho Sp2 em destaque apresenta temperatura inferior, se comparado às regiões adjacentes. Esta característica normalmente é justificada pela presença de água no local, pois considerando que a água tem calor específico mais elevado do que materiais comuns de construção, isto faz com que demore mais a esquentar e resfriar.

Figura 12 – Termograma e foto da parte central da fachada em período matutino.



Fonte: Acervo pessoal.

No entanto, a mesma região que anteriormente apresentava temperatura inferior, durante o período da tarde, apareceu no termograma com temperatura um pouco superior às das regiões adjacentes, conforme pode ser visto no destaque Sp3 da figura 13. Além disso é possível identificar uma outra zona com temperatura mais elevada, conforme destaque Sp2 da figura 13.

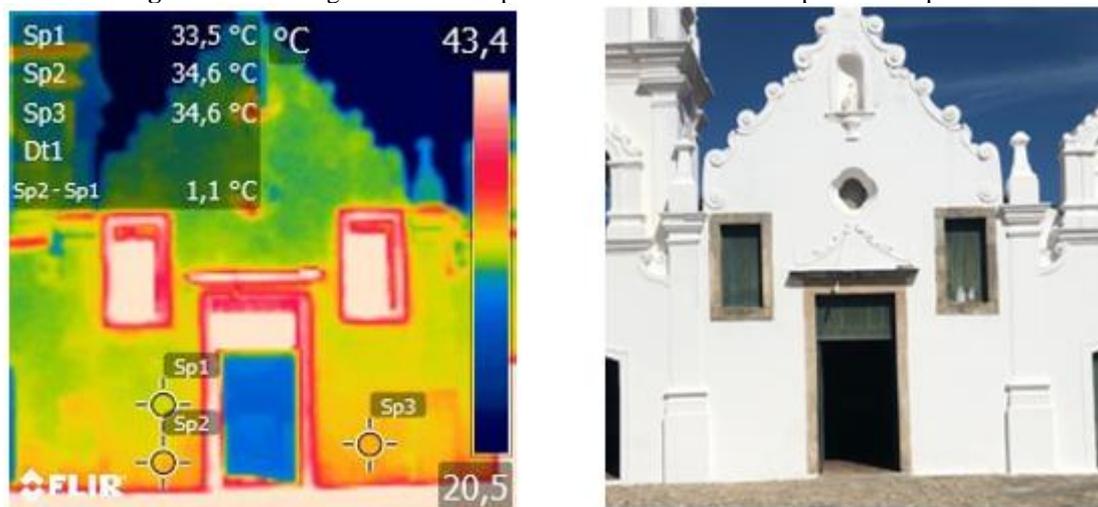
Este comportamento não é o esperado para regiões com presença de umidade, pois durante o dia, quando há presença de água, a evaporação causa uma redução da temperatura superficial nestas regiões.

Importante observar que Monteiro et al (2015) informa que houve intervenção realizada na Igreja em 1983 pelo Instituto Brasileiro de Patrimônio Histórico e Cultural (IBPC) e Fundação Nacional Pró-memória, em que as pinturas das paredes e esquadrias externas e internas tiveram tratamento prévio da alvenaria com selador antes de receber a pintura em locais de maior umidade e que atualmente a igreja recebe reparo anual relacionado à pintura.

Além disso, Coelho e Monteiro (2013) observam que desde que a igreja vem sendo acompanhada, vem se observando a presença de algumas manifestações patológicas, como infiltrações e salitre.

Diante do exposto, as zonas inferiores mais quentes não descartam a presença da umidade, pois pode estar associada a outra patologia, como deterioração, presença de microorganismos ou pode haver material com emissividade diferente que foi aplicado nas manutenções anuais.

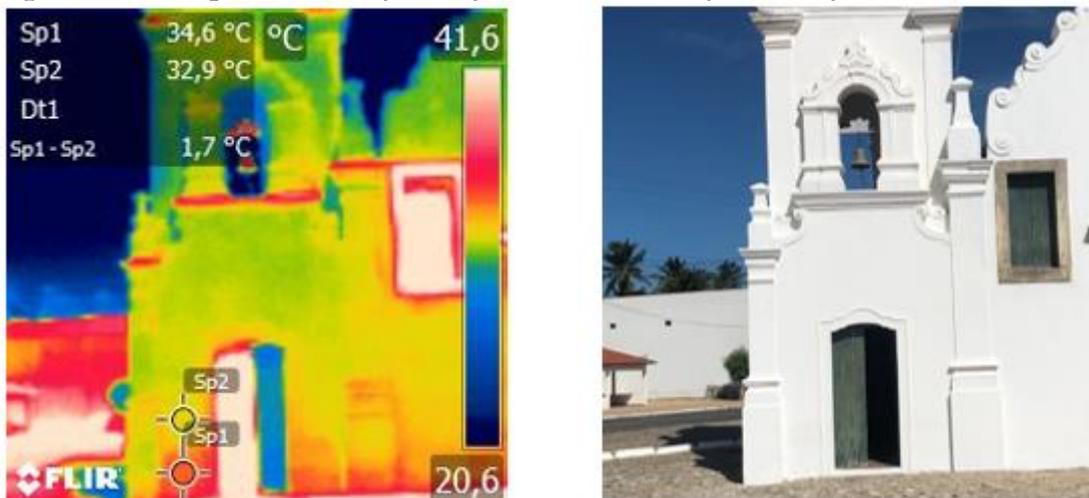
Figura 13– Termograma e foto da parte central da fachada em período vespertino.



Fonte: Acervo pessoal.

Ao focar a torre que fica na parte esquerda da fachada, avista-se fenômeno semelhante ao descrito anteriormente, em que a zona contida no destaque Sp1 da Figura 14 apresenta temperatura superior, em aproximadamente 1,7°C (Dt1), às das zonas adjacentes no período da tarde.

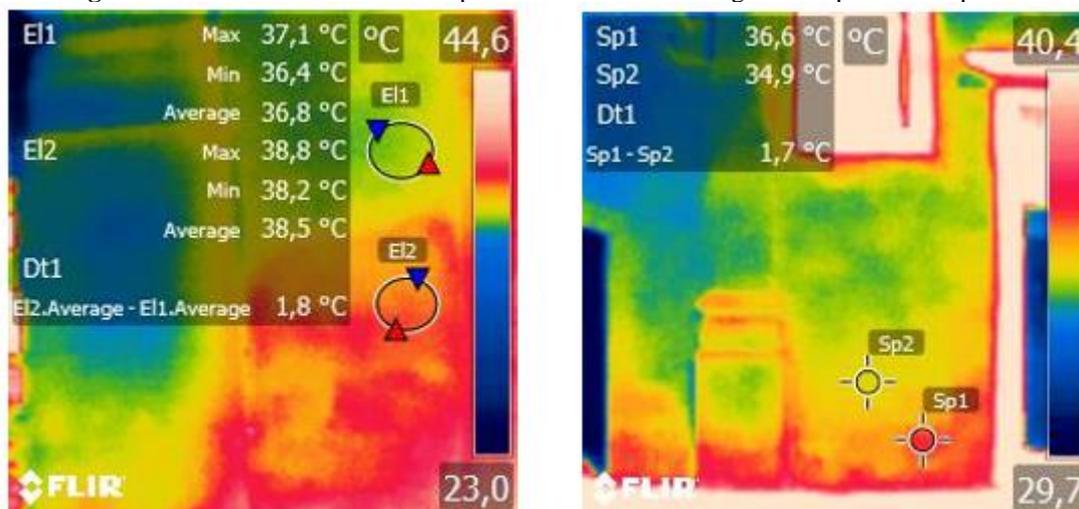
Figura 14 – Termograma e foto da parte esquerda da fachada em período vespertino.



Fonte: Acervo pessoal.

Registrando termograma com maior proximidade, é possível observar de forma mais clara a distribuição de temperatura no local e confirmar a existência da anomalia térmica na região. Apesar de haver variação na medição da temperatura absoluta a depender da distância em que o termograma foi registrado, a diferença de temperatura (Dt1) entre as regiões permanece em aproximadamente 1,7°C.

Figura 15 – Detalhe da zona de comportamento térmico divergente em período vespertino.

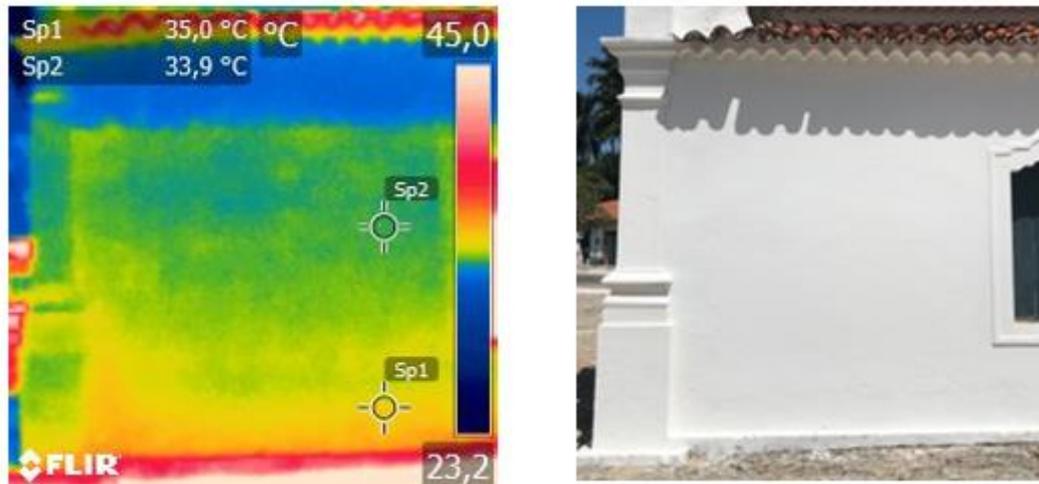


Fonte: Acervo pessoal.

Em inspeção visual identificou-se que a parte inferior da parede lateral estava deteriorada por baixo da pintura podendo ser a responsável pela anomalia térmica que aparece em tom amarelado no termograma da Figura 16. Provavelmente a parede havia recebido recentemente a pintura que é feita anualmente, pois na Figura 17 registrada em outra data, pode-se evidenciar as manchas escuras características da biodeterioração. A

presença de agentes microbiológicos pode justificar a área com maior temperatura do termograma.

Figura 16 – Termograma e foto de parede externa lateral em período matutino.



Fonte: Acervo pessoal.

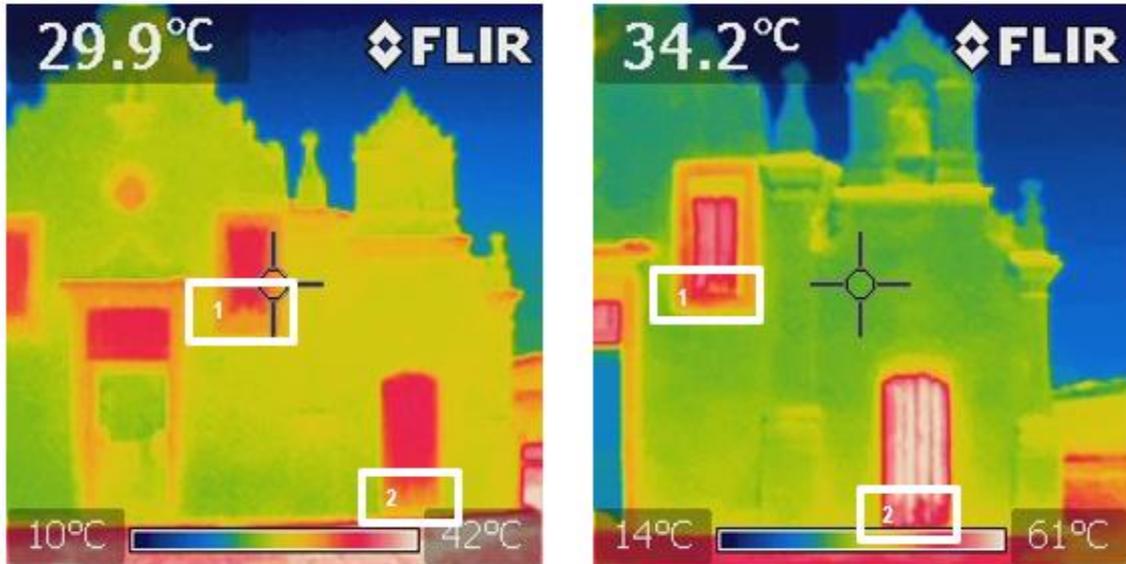
Figura 17 – Área com biodeterioração.



Fonte: Coelho e Monteiro et al (2013).

Na Figura 18, é possível perceber que os desgastes na pintura e madeira da porta e janela aparecem no termograma como zonas mais frias, e que mesmo no período da manhã em que não há incidência de luz solar na fachada, o desgaste surge com cor diferente no termograma. Pondera-se que, neste caso, a coloração distinta pode ser ocasionada pela diferença de emissividade entre a tinta e madeira.

Figura 18 – Termograma da parte direita da fachada em período matutino e vespertino, respectivamente.

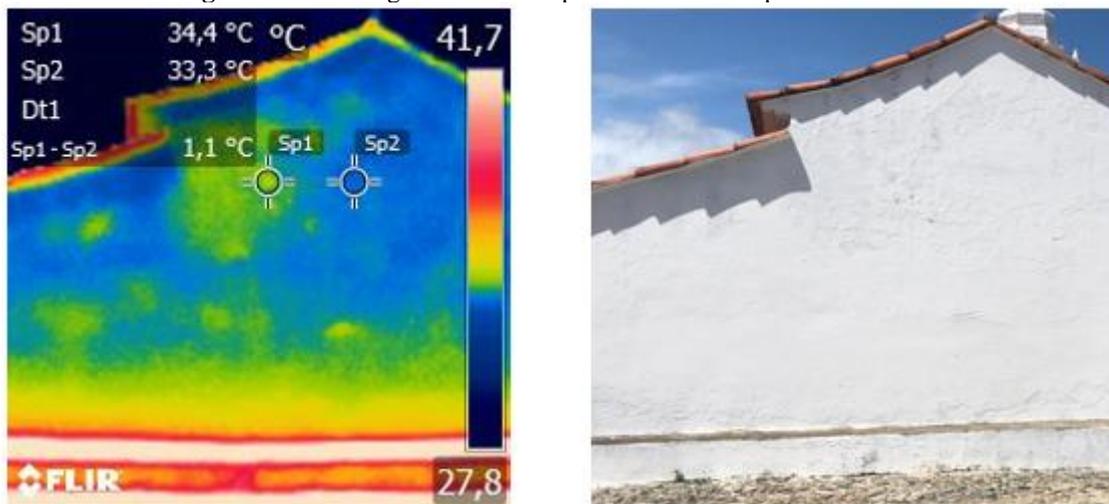


Fonte: Acervo pessoal.

Na parede posterior da igreja, através de inspeção visual, percebe-se que há zonas com texturas diferentes como consta na Figura 19. Pela situação observada, infere-se que houve desgaste do revestimento, o que demandou manutenção, passando esta área a apresentar diferente comportamento térmico. A área em que houve intervenção aparece como uma zona mais quente. Importante ressaltar que a patologia que gerou o desgaste, como umidade ou descolamento, por exemplo, podem ainda estar presentes, podendo ser também responsáveis pelas manchas amareladas que aparecem no termograma.

Monteiro et al (2015), em seu estudo sobre a conservação da Igreja de Almofala, percebeu o exercício incorreto de técnicas corretivas, que não compatibilizam os materiais originais da construção, como a aplicação de massa corrida, de base cimentícia, em parte da parede sem reboco, sem preparo do local para recebimento do material. Estas técnicas também podem ser responsáveis pelas anomalias térmicas presentes no termograma.

Figura 19 – Termograma e foto de parede externa em período matutino.

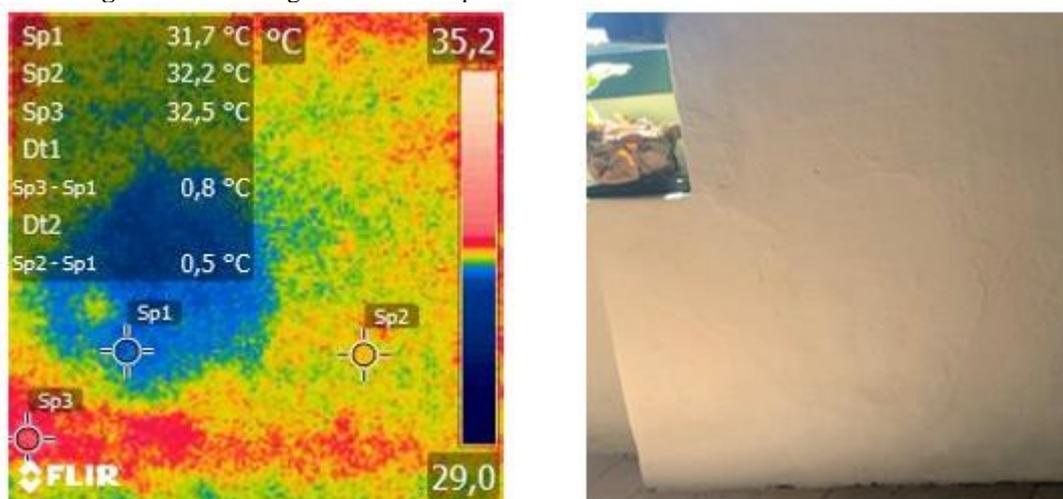


Fonte: Acervo pessoal.

Analisando a foto da parede interna da igreja representada na Figura 20, não é possível identificar qualquer patologia a olho nu, no entanto, a utilização da câmera termográfica revelou a presença de uma zona mais quente. Ao perceber este defeito, como estava na parte inferior, conseguimos verificar que toda a área que apareceu em tons amarelados e avermelhados no termograma apresentava ar sob o revestimento, portanto a área azul era a que se encontrava saudável.

A área em que o revestimento possui qualidade apresentou temperatura média de 31,7°C (Sp1), enquanto o local com defeito apresentou temperatura superior em aproximadamente 0,5 °C a 0,8 °C (Dt1 e Dt2).

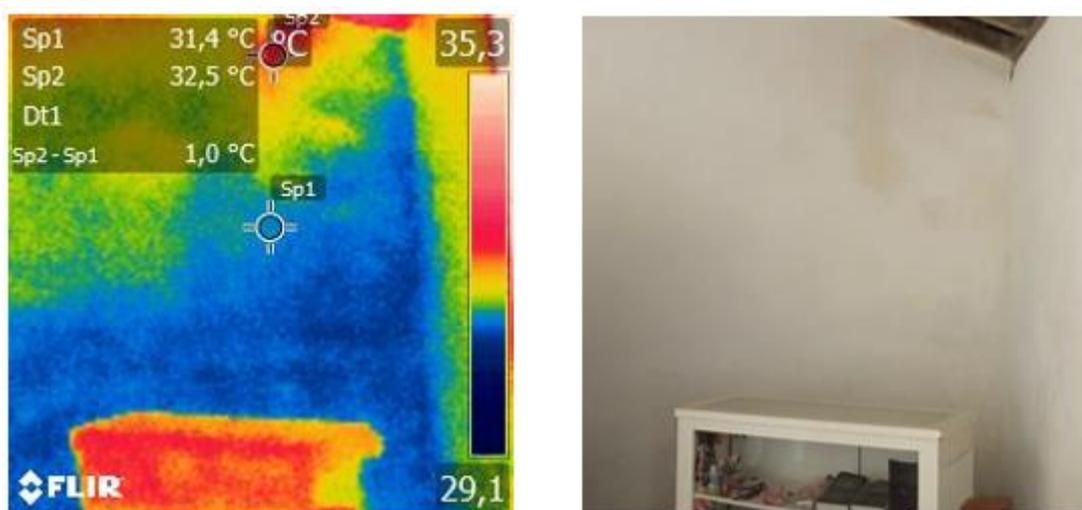
Figura 20 – Termograma e foto de parede interna com descolamento de revestimento.



Fonte: Acervo pessoal.

Em outra parede interna em que era possível avistar a olho nu uma mancha escurecida, ao registrar o termograma, esta zona apresentou temperatura mais elevada. Neste caso não foi possível tocar na área destacada para confirmar a presença de descolamento. Se analisarmos de forma análoga ao registro da Figura 20, em que a zona avermelhada de descolamento apareceu com temperatura de $32,5^{\circ}\text{C}$, portanto mais quente que as demais regiões, o descolamento na Figura 21 seria a área de tonalidade também avermelhada, que apresentou temperatura similar, de $32,5^{\circ}\text{C}$, estando aproximadamente 1°C mais quente que a região azulada, como medido em Dt1.

Figura 21 – Termograma e foto de parede interna com mancha.



Fonte: Acervo pessoal.

4 CONCLUSÕES

O ensaio foi feito pelo método de termografia por infravermelho do tipo passiva para obter termogramas de áreas possivelmente comprometidas na Igreja de Nossa Senhora da Conceição de Almofala.

A partir da análise dos resultados obtidos, pela metodologia qualitativa, percebeu-se que a termografia mostra-se como um ensaio adequado para a detecção de algumas patologias, como por exemplo o descolamento do revestimento, umidade e degradação, sendo então possível obter um panorama preliminar da situação da edificação.

Destaca-se, no entanto, que não é possível identificar a gravidade da patologia utilizando-se apenas da análise qualitativa das imagens e que a reflexão solar, a interferência da radiação dos objetos que estão ao redor e as condições ambientais como sombreamento e incidência solar interferem no ensaio, de forma que as anomalias térmicas podem se comportar de maneiras distintas ao longo do dia. Além disso, a falta

de conhecimento dos materiais utilizados nas intervenções feitas na edificação e a presença de mais de um tipo de patologia em uma mesma região comprometem a interpretação dos termogramas.

No entanto, apesar das limitações, o método se confirma como um programa promissor para a manutenção preventiva e preditiva de edificações históricas em que não se pode realizar procedimentos invasivos que possam vir a danificar a edificação, uma vez que é possível identificar áreas com anomalias térmicas em que podem vir a emergir algum tipo de patologia.

Então se torna importante realizar outros ensaios, com a finalidade de obter diagnóstico mais seguro. Relevante também obter maiores informações das manutenções que vem sendo efetuadas na edificação de forma que se possa conhecer os materiais e métodos que estão sendo empregados, pois possibilitaria uma interpretação mais precisa dos termogramas.

Sugere-se ainda a realização do ensaio em período noturno, em que há o fluxo reverso do calor, com a finalidade de verificar o comportamento das anomalias térmicas encontradas em diferentes condições de propagação de calor.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. M.; SOARES, I. M.; SOUZA, S. T. O. Termografia em manutenção preditiva: conceitos e aplicabilidades em máquinas e equipamentos industriais. *Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense*, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 89-94, [s.d]. 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C-1060: Standard Practice For Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings. Chicago, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15424: Ensaios não destrutivos – Termografia – Terminologia. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16818: Ensaios não destrutivos – Termografia – Procedimentos para aplicações do método de termografia infravermelha. Rio de Janeiro, 2020.

BAGAVATHIAPPAN, S.; LAHIRI, B.; SARAVANAN, T., Philip, J.; JAYAKUMAR, T. Infrared thermography for condition monitoring - A review. *Infrared Physics & Technology*, v. 60, p. 35-55, 2013.

BAUER, E.; FREITAS, V. P. DE; MUSTELIER, N.; BARREIRA, E.; FREITAS, S. S. DE. Infrared thermography – evaluation of the results reproducibility. *Structural Survey*, v. 31, n. 3, p. 181–193, 2015.

BAUER, Elton; PAVÓN, Elier. Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios. *Revista Concreto & Construções*, São Paulo, edição 79, p. 93 – 98. Jul./ago./set. 2015. Disponível em: http://ibracon.org.br/site_revista/concreto_construcoes/revista-interna_79.php. Acesso em: 26 janeiro 2021.

CERDEIRA, F.; VÁZQUEZ, M. E.; COLLAZO, J.; GRANADA, E. Applicability of infrared thermography to the study of the behaviour of stone panels as building envelopes. *Energy and Buildings*, v. 43, n. 8, p. 1845–1851, ago. 2011.

CLIMATE-DATA. Dados climáticos para cidades mundiais. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/>. Acesso em: 10 nov. 2020.

COELHO, Francisco; MONTEIRO, Livia. A Igreja de Almofala: aspetos históricos e de conservação. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO Y XI JORNADA TECNICAS DE RESTAURACION Y CONSERVACION DEL PAGRIMONIO, 3., 2013, [S.l.: s.n.], 2013.

CORTIZO, E. C. Avaliação da técnica de termografiainfravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: Ênfase em Edificações do Patrimônio Histórico. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica, UFMG, Belo Horizonte, 2007.

CORTIZO, E. C.; BARBOSA, M. P.; SOUZA, L. A. C. Estado da Arte da Termografia. Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, ago. 2008.

CUNHA, Letícia Shirozaki. Avaliação de Edificações com a utilização da Termografia como ensaio não destrutivo – Estudo de caso. 2016. 39f. TCC (Graduação), UniCEUB, Brasília, 2016.

FÉ, Elier Pavón de La. Critérios e padrões de comportamento para avaliação de descolamentos cerâmicos com termografia de infravermelho. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UnB. Brasília, 2017.

FREITAS, J. G. DE; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 57-73, jan./mar. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ac/v14n1/v14n1a06.pdf>. Acesso em: 10 dezembro 2020.

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

IPHAN. Igreja de Nossa Senhora da Conceição de Almofala. [s.d.]. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/ans.net/tema_consulta.asp?Linha=tc_hist.gif&Cod=2992. Acesso em: 12 jan. 2021.

MARIO, M. Uso da termografia como ferramenta não destrutiva para avaliação de manifestações patológicas ocultas. TCC (Graduação), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2011.

MONTEIRO, Livia; SANTOS, David; SANTOS, Esequiel; COELHO, Francisco. A Igreja de Almofala: aspetos históricos e de conservação. [S.l.: s.n.], 2015.

MORESCO, Joana Michelon; BORDIN, Fabiane; VERONEZ, Maurício Roberto; Tutikian, Bernardo Fonseca. Detecção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento argamassado por termografia infravermelha. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 17., 2015, João Pessoa. Anais[...]. São José dos Campos: INPE, 2015, p. 3958-3965.

PELLIZARI, E.; Martins C. O. D.; MENEZES, A. F. S.; REGULY, A. Aplicações da termografia como ferramenta de manutenção preditiva em conectores elétricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DE MATERIAIS, 7., 2006, Foz do Iguaçu. [S.l.: s.n.], 2006.

PEREIRA, Luís Bravo; VALE, Clara Pimenta do; VENCESLAU, Ruben. Imagens multiespectrais e termográficas aplicadas ao estudo de Património Arquitectónico. Congresso da Reabilitação do Património, Universidade de Aveiro, p.205-214, 2017.

PEREIRA, L. M. Avaliação das patologias e da biodeterioração na biblioteca central da UFSM. 2012. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

ROCHA, J. H. A.; POVOAS, Y. Detección de delaminaciones en puentes de concreto armado usando Termografía Infrarroja. Revista ingeniería de construcción, Santiago, v.34, n.1, p. 55-64. Abr. 2019. Disponível em: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v34n1/0718-5073-ric-34-01-00055.pdf>. Acesso em: 18 dezembro 2020.

ROCHA, Joaquin Humberto Aquino et al . Detecção de infiltração em áreas internas de edificações com termografia infravermelha: estudo de caso. Ambiente Construído, Porto Alegre , v. 18, n. 4, p. 329-340, Oct. 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000400329&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 06 dezembro 2020.

SANTOS, Cynthia Firmino dos; BATISTA, Pedro Igor Bezerra; ROCHA, Joaquin Humberto Aquino; TAVARES, Yêda Vieira Póvoas. Potencialidade da termografia infravermelha na detecção de infiltrações em edificações. In: CONFERÊNCIA SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS, 6., 2018, Rio de Janeiro. [S.l.: s.n.], 2018.

SILVA, G. P., BATISTA, P. I. B., POVÓAS, Y. V. O uso da termografia infravermelha para o estudo do desempenho térmico de paredes: revisão bibliográfica. Revista ALCONPAT, 9 (2), p. 117 – 129, 2019.

SPHAN. Igreja da N. S. da Conceição de Almofala e Mercado de Carnes de Aquiraz entregues à comunidade. Revista SPHAN pró-memória, Rio de Janeiro, n.22, p. 33-34. Jan./Fev.1983. Disponível em: <http://memoria.bn.br/docreader/DocReader.aspx?bib=408352&Pesq=almofala&pagfis=520>. Acesso em: 16 janeiro 2021.

SPHAN. Igreja da N. S. da Conceição de Almofala sera recuperada. Revista SPHAN pró-memória, Rio de Janeiro, n.28, p. 15-17. Jan./Fev.1984.

TAKEDA, O. T.; MAZER, W. Potencial da análise termográfica para avaliar manifestações patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas. Revista ALCONPAT, 8 (1), p. 38 – 50, 2018.

TAVARES, S. G. Desenvolvimento de uma metodologia para aplicação de ensaios térmicos não destrutivos na avaliação da integridade de obra de arte. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica, UFMG. Belo Horizonte, 2006.

WEATHER. The Weather Channel. Disponível em: <https://weather.com>. Acesso em: 10 nov. 2020.