

Estudo termográfico das manifestações patológicas devidas à umidade e do estado de conservação da cobertura da Basílica de Santa Maria

D. Bru^{1*}, S. Ivorra¹

* Autor de Contato: david.bru@ua.es

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v12i1.567>

Recepção: 01/11/2021 | Aceitação: 13/12/2021 | Publicação: 01/01/2022

RESUMO

Este trabalho analisa o estado atual da cobertura da Basílica de Santa María, Alicante, Espanha. Este edifício data do século XIII e está catalogado. Para a análise das eflorescências observadas foi efetuada uma análise da tipologia da construção, bem como uma análise visual do estado dela, descrevendo as manifestações patológicas existentes, tanto na zona exterior das coberturas, como na área interna dos ambientes abaixo dela. Para a análise técnica de possíveis vazamentos através da cobertura para os ambientes interiores da basílica, foi efetuado um ensaio de estanqueidade e verificação através do controle da variação de temperatura por meio de análise termográfica. O procedimento foi adequado para entender e comprovar a existência e localização de vazamentos que danificaram este edifício.

Palavras-chave: danificaram este edifício.

Palavras-chave: termografia.

Citar como: Bru, D., Ivorra, S. (2022), “*Estudo termográfico das manifestações patológicas devidas à umidade e do estado de conservação da cobertura da Basílica de Santa Maria*”, Revista ALCONPAT, 12 (1), pp. 110 – 126, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v12i1.567>

¹ Departamento de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante, Alicante, España.

Contribuição de cada autor

Neste trabalho o autor David Bru contribuiu 100% com a atividade de coleta de dados e experimentação, com a atividade ideia original, redação do trabalho e discussão dos resultados em 50%. O autor Salvador Ivorra contribuiu com a atividade de ideia original, redação do trabalho e discussão dos resultados em 50%.

Licença Creative Commons

Copyright (2022) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discussões e correções pós-publicação

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no terceiro número do ano 2022, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do segundo número do ano de 2022.

Thermographic study of the pathological manifestations due to humidity and of the conservation state of the Santa Maria Basilica's roof

ABSTRACT

This paper analyzes the current state of the roof of the Basilica of Santa Maria, Alicante, Spain. This building dates back to the 13th century and is catalogued. For the analysis of the efflorescence observed, an analysis of the constructive typology is carried out, as well as a visual analysis of the state of the same, describing the existing pathological manifestations, both in the exterior area of the roofs, as well as in the interior area of the rooms under them. For the technical analysis of the possible leaks from the roof to the interior rooms of the basilica, a watertightness test and the verification through the control of the variation of temperatures by means of thermographic analysis are carried out. It can be concluded the existence and position of leaks that have damaged this listed building.

Keywords: thermography, humidities, filtrations, efflorescence, historical building.

Estudio termográfico de las manifestaciones patológicas por humedades y del estado de conservación de la cubierta de la Basílica de Santa María

RESUMEN

El presente trabajo analiza el estado actual de la cubierta de la Basílica de Santa María, Alicante, España. Este edificio data del siglo XIII y está catalogado. Para el análisis de las eflorescencias que se observan se realiza un análisis de la tipología constructiva, así como un análisis visual del estado de las mismas, describiendo las manifestaciones patológicas existentes, tanto en la zona exterior de las cubiertas, como en la zona interior de las salas bajo las mismas. Para el análisis técnico de las posibles filtraciones de la cubierta a las salas interiores de la basílica se realiza una prueba de estanquidad y la verificación a través del control de la variación de temperaturas mediante análisis termográfico. Se puede concluir la existencia y posición de filtraciones que han dañado este edificio catalogado.

Palabras clave: termografía, humedades, filtraciones, eflorescencias, edificio histórico.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é a avaliação técnica das manifestações patológicas atuais do sistema de impermeabilização da cobertura da Basílica de Santa Maria, Alicante, Espanha, Figura 1. A Basílica de Santa Maria, localizada nas coordenadas 38°20'46"N 0°28'45"W e a menos de 300 m da costa, foi catalogada como um Bem de Interesse Cultural dentro dos monumentos catalogados no Patrimônio Cultural Valenciano. As partes mais antigas do edifício foram datadas entre os séculos XIII e XIV. Do ponto de vista arquitetônico, a estrutura é de nave única sem transepto, com capelas laterais localizadas entre os contrafortes e uma abside poligonal, Fig. 2. A nave principal é coberta por seis abóbadas nervuradas com arcos pontiagudos, separadas umas das outras por arcos torais, que juntamente com as nervuras partem do capitel numa solução típica do final do século XV e das primeiras décadas do século XVI (Beviá et al, 1997).



Figura 1. Vista aérea da Basílica de Santa Maria, Alicante. Sup. esquerda: fachada noroeste. Sup. direita: fachada sudeste. Abaixo: Vista plana da Basílica de Santa Maria, Alicante. Identificação das coberturas do estudo. Fonte: Imagens ©2016 Google, Dados do mapa ©2016 Google, Inst. Geogr. Nacional.

Quanto aos principais materiais que constituem os elementos de alvenaria da Basílica de Santa Maria, não foram realizados estudos laboratoriais para identificar a sua origem. No entanto, e de acordo com os dados históricos, fornecemos na presente investigação os dados associados às rochas da mesma origem dispostas nos Palácios Cívicos da Rua Gravina (Louis et al. 2001), próximo ao local da Basílica. Os dados obtidos nesta pesquisa permitem classificar a tipologia da rocha utilizada, sua resistência à compressão e coeficiente de absorção. Nesse sentido, a rocha é constituída por uma biocalcarenita com granulometria variável, desde areia média a grossa e até

conglomerado (>2mm), com alta porosidade e resistência à compressão de 6,1 MPa. Por outro lado, em relação ao coeficiente de absorção, são apresentados valores entre 6% e 15%. Nesse sentido, é importante destacar o alto valor de absorção das mesmas em comparação com outras pedras do tipo calcário ou marga, com valores entre 0,56% e 2,05% (Thomas et al. 2008). Outros dados associados ao conteúdo de calcita e densidade deste material são mostrados na Tabela 1.

Por fim, Louis et al (2001), também destacam um aspecto importante para a análise de manifestações patológicas devido à presença de umidade neste tipo de materiais. Especificamente, avaliam a presença de eflorescências e destacam o efeito altamente prejudicial da cristalização de sal no processo de erosão alveolar e principalmente em áreas com fachadas expostas ao vento marinho, visto que este efeito favorece a cristalização de sais e contribui com grande quantidade de sal marinho devido ao efeito do respingo de maré. Essas afirmações são confirmadas pela presença de halita na eflorescência no interior da estrutura. Além disso, mostram que parte do cloreto de sódio do meio marinho ou da água de infiltração atingiu parte do edifício analisado devido a fenômenos de capilaridade. Portanto, com base nos resultados anteriores de Louis et al (2001), pode-se confirmar a hipótese da presença de sais nos materiais constituintes da Basílica analisada.

Tabela 1. Dados de composição e algumas propriedades físicas da Pedra San Julián (Brotóns et al. 2013).

Pedra San Julián	Pedreira	Edifícios
Calcita (%)	80-85	65-85
Absorção de água (%)	7.6-15.1	6.2-13.0
Massa específica absoluta (g/cm ³)	2.64-2.67	2.59
Massa específica unitária (g/cm ³)	1.85-2.29	1.8-2.4

O edifício analisado neste estudo enquadra-se nas tipologias de construções históricas, sendo a sua abordagem construtiva muito diferente das edificações da atualidade. Do ponto de vista higrotérmico, sua principal diferença é a sua concepção como um edifício permeável à água (na forma de vapor ou líquido), tanto do exterior como do interior (Paricio, 1985), ao contrário dos edifícios atuais que são concebidos como elementos isolados, para evitar a perda de energia para o exterior. Esquemáticamente, o edifício estudado, conforme referido no ponto 1, apresenta um recinto perimetral que se estima (com os meios disponíveis) ter uma chapa de grande espessura. Este fato faz com que, frente à ação da água externa, a parte externa da folha em contato com a água se molhe e difunda a água na forma líquida através da espessura da parede. O avanço da água através da parede forma uma "frente úmida" até que cesse a precipitação. Esta quantidade de água permanece absorvida na alvenaria devido à elevada capacidade de absorção dos materiais constituintes da alvenaria e depois evapora nas duas faces da parede. Portanto, é possível intuir a importância da espessura e permeabilidade do material, a fim de evitar que a frente úmida apareça no interior da sala e, sobretudo, para que uma vez terminada a fonte de umidade, a água evapore no menor tempo possível, especialmente para evitar a sobreposição de frentes úmidas entre diferentes ciclos de precipitação. Portanto, também é claro que a evacuação da água neste tipo de edifício ocorre de forma diferida por difusão e evaporação. Portanto, é comum observar neste tipo de construção processos de saturação do revestimento pela água da chuva, uma vez que os poros estão saturados, e processos de escoamento superficial ao longo do revestimento, produzindo o umedecimento de outras áreas do elemento dispostas para o recinto da construção.

Por outro lado, em relação aos fenômenos dinâmicos da água no interior do edifício na forma de vapor, é importante notar que, devido à ausência de folhas de plástico ou barreiras de vapor como as atualmente utilizadas em coberturas e recintos modernos, o edifício foi caracterizado como eminentemente permeável. É comum que a umidade específica mínima de um ambiente seja a mesma do exterior, pois o ar pode penetrar do exterior sem ser submetido a nenhum processo de

barreira. Portanto, os problemas usuais deste tipo de construção quando se deparava com a umidade em sua concepção original era tentar eliminar o excesso de vapor gerado dentro das salas devido à respiração e transpiração humana, de forma a equalizar a umidade específica dentro da sala a do lado de fora. Assim, conforme mencionado acima, se a sala não tivesse janelas ou aberturas para eliminar o excesso de vapor d'água acumulado na sala, este era eliminado por difusão pelas paredes, convecção por aberturas e fendas, ou por absorção do vapor nos materiais, que depois eram transferidos para o meio ambiente após a secagem.

Uma vez considerada a concepção técnica da abordagem dos sistemas de fechamento dos edifícios históricos, é necessário analisar as possíveis causas que geram a formação de umidade, sendo esta a principal razão da redação deste estudo. A presença de umidade pode ser decorrente de processos de infiltração por contato direto com a água ou por capilaridade. Em ambos os casos, a transferência de água através da alvenaria pode implicar no arrastamento de sais solúveis, quer da própria rocha, quer da própria infiltração. Esses sais solúveis podem ser retidos nos vazios quando a água evapora, cristalizando nos poros e causando o aparecimento de eflorescências (Giovannacci et al, 2017). A saturação dos poros devido à presença de cristalização do sal diminui os processos de evaporação e provoca um deslocamento das manchas de umidade devido à busca por novas zonas de saída do vapor d'água presente nos materiais porosos.

Por outro lado, se o acúmulo dos sais mencionados acima correspondesse a sais higroscópicos, estes tenderiam a reter água do ar quando a umidade relativa do ar ultrapassasse um determinado valor limite, o que poderia gerar um falso mecanismo de presença de umidade devido à higroscopia condensação, com possível aparecimento de manchas, mas causada simplesmente pela absorção de vapor d'água do ar devido ao efeito da higroscopicidade dos sais e não pela presença real de uma fonte de água por infiltração ou capilaridade. Por esse motivo, uma causa geral da patologia da umidade em edifícios históricos é o aparecimento de eflorescências devido a fenômenos de infiltração locais causados anos atrás que foram posteriormente reativados. Ou seja, o aparecimento de novas umidades na alvenaria não seria devido à presença real de uma nova infiltração de água, mas devido à higroscopicidade dos sais na superfície das rochas. Grossi e Esbert (Grossi e Esbert, 1994) apresentam uma profunda revisão bibliográfica sobre os efeitos dos sais solúveis na deterioração de rochas monumentais. Nesse sentido, no interior da igreja analisada, observam-se diferentes eflorescências e manchas, que sugerem a existência de infiltrações, Fig. 2.

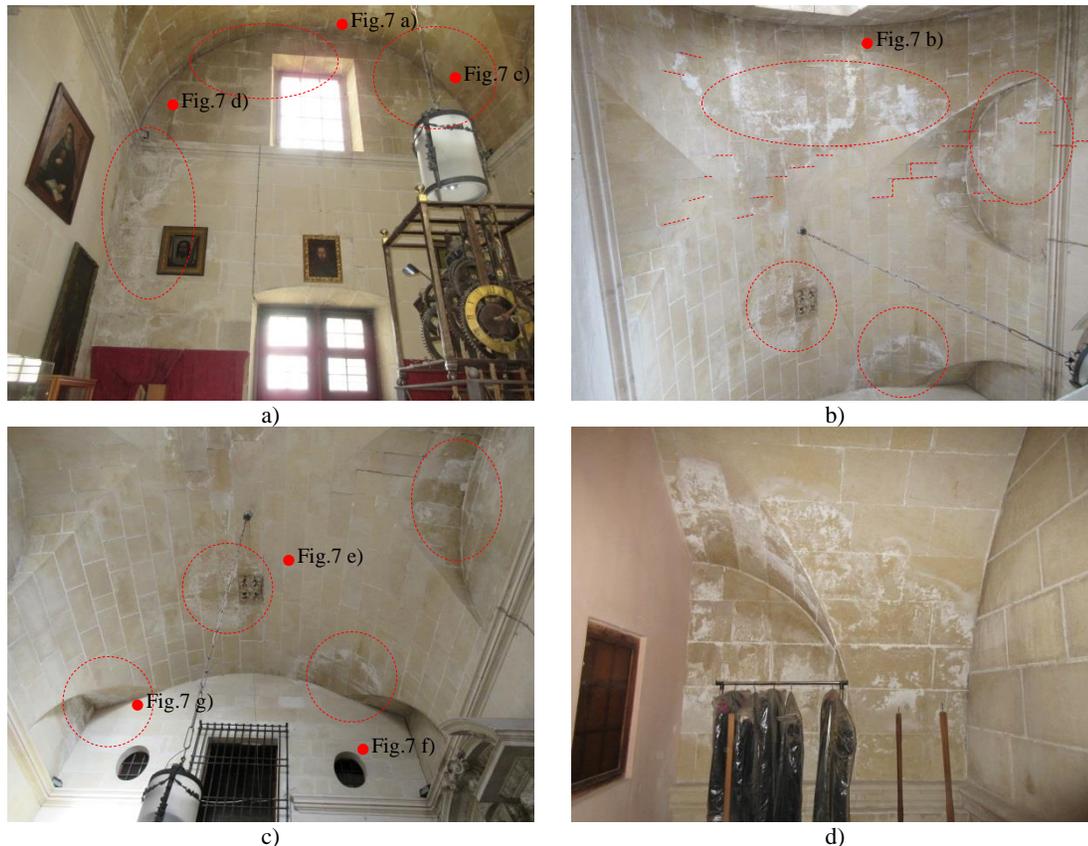


Figura 2. Fotos dos ambientes abaixo da cobertura 2: a) Fachada leste, b) Vista inferior da cobertura, c) Vista inferior da cobertura com parede divisória em abóbada, d) Ambiente adjacente superior após divisão com parede divisória. Fotos dos ambientes sob cobertura 1: e) Vista inferior da área da cobertura próximo à fachada externa, f) Vista inferior da cobertura em contato com o corpo da igreja. As Figuras a), b), c) incluem os pontos de tomografia da Fig. 7 com um ponto vermelho.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Foi efetuada uma análise visual comparativa, com base na realização de um ensaio de estanqueidade, analisando o estado dos ambientes antes e depois do processo de alagamento das coberturas, com o objetivo de detectar fugas com rápido acesso da cobertura. Por fim, foi realizada uma análise da termografia infravermelha da cobertura e dos cômodos citados, a fim de detectar a existência de pontes térmicas localizadas e áreas com presença significativa de umidade (Takeda, 2018), (Silva et al, 2019).

Para determinar as condições gerais de funcionamento da cobertura em relação as suas inclinações, o estado do sistema de impermeabilização, bem como o estado de execução dos elementos singulares, tais como bordas, junções, ralos e juntas, propôs-se realizar um ensaio de estanqueidade para observar o aparecimento ou não de umidades debaixo da cobertura ou nas paredes, prestando atenção aos pontos críticos associados aos detalhes construtivos de acordo com os regulamentos em vigor à data da impermeabilização da cobertura (NBE QB-90). O ensaio de estanqueidade consistiu no alagamento até um nível de aproximadamente 3-7 cm acima do nível de drenagem, garantindo um nível de sobrecarga suficientemente baixo para não afetar as condições de segurança estrutural da cobertura. O alagamento foi mantido por 72h, sendo os ralos lacrados com sistema de impermeabilização de plástico para evitar que o nível de água na cobertura diminuísse. Finalmente, decorrido o tempo necessário para o ensaio de estanqueidade, foram retirados os sistemas de

vedação dos ralos para manter o seu funcionamento atual.

Por outro lado, para determinar a presença de umidades e possíveis pontes térmicas, que evidenciem um funcionamento incorreto da cobertura, foi efetuado um ensaio com uma câmara termográfica modelo FLIR E30, com base no disposto na norma EN 13187:1998. Alguns exemplos publicados recentemente da aplicação desta técnica podem ser encontrados nas seguintes referências (Vijay et al, 2019), (Valluzzi et al, 2019), (Lucchi, 2018), (Ruiz Valero, et al, 2019), (Garrido et al, 2020), (Martínez-Garrido et al, 2018), (Zhang et al, 2018), (Barreira et al, 2020) and (Barbosa et al, 2021)).

O teste foi realizado durante dois dias consecutivos. Durante o primeiro dia, foi realizada a gravação térmica dos decks 1 e 2, bem como da sala abaixo da cobertura 2. Esta gravação foi realizada entre 19h45 e 20h45. Os valores máximos e mínimos variaram ao longo do dia entre 10,7 °C e 17,4 °C, registrando-se um valor no momento da coleta de dados de 15 °C externo, e 16,7 °C, com um valor de umidade relativa entre 38-40%. Por outro lado, para os dados registrados no segundo dia, 15 de janeiro, os valores máximos e mínimos de temperatura atingiram valores entre 16,6 °C e 8,7 °C, registrando-se um valor externo de 13 °C e 15,9 °C no momento da coleta de dados, com um valor de umidade relativa entre 52%. Durante este segundo dia, foram analisadas as salas do pavimento 1, bem como o edifício anexo à sala do pavimento 2. O teste consistiu na análise dos pontos críticos detectados durante as fases de inspeção visual, a fim de corroborar os resultados experimentalmente. Em relação à superfície, foi considerado um material granular com valor de emissividade de 0,95 com base na biblioteca de materiais fornecida pelo fabricante, homogêneo para todas as superfícies analisadas. Outros exemplos publicados relacionados à emissividade deste tipo de materiais podem ser encontrados em (Barreira et al, 2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em relação à análise do fluxo de água durante o ensaio de estanqueidade, os resultados mostram que, no caso da cobertura 1, a zona superior canaliza a água perimetralmente em direção à calha através das inclinações (caimentos) estabelecidas. No caso da cobertura 1, na zona inferior, foi possível verificar que as inclinações convergem na área de drenagem. A ausência de transbordamentos impede o escoamento da água em caso de saturação do dreno devido ao acúmulo de elementos sólidos em sua entrada. Este fato facilita que o nível de água parada atinja a parede lateral da capela da Comunhão, favorecendo a entrada de água no cruzamento da saia vertical.

Em relação aos resultados da análise termográfica da cobertura 1, a Fig. 3 mostra as imagens das áreas superior e inferior da cobertura. A Fig. 3 (a) mostra uma visão geral da parte superior da cobertura. Nesta imagem, todas as possíveis manifestações patológicas anteriormente mencionadas podem ser identificadas. Em primeiro lugar, pode-se perceber como após o ensaio de estanqueidade e do despejo de água sobre parte dos vazios verticais da fachada e 10 h após o ensaio, parte da umidade é preservada devido à alta capacidade de absorção da pedra em o revestimento. Nesta imagem também pode ser visto como na área do parapeito, a água acumulou-se mais do que na área localizada apenas na área da calha. Um detalhe desta área pode ser visto na Figura 3c, onde pode-se observar não só a entrada e o acúmulo de água na área inferior, mas também a água infiltrada pelas juntas entre as peças de alvenaria. Por outro lado, deve-se observar também a mudança abrupta das características térmicas na junta entre o parapeito e a parede correspondente à proteção rígida da saia superior, Fig. 3a-3c. A junção entre os dois materiais é claramente observada e pode-se perceber como parte da água despejada do final da saia escorreu pelo revestimento, ficando armazenada na área da junta, devido à ausência da correta realização do detalhe final da saia. Em relação à calha, entretanto, não foram detectados problemas de vazamento. Por outro lado, a Fig. 3b mostra um detalhe da calha para passagem das instalações. Nesta imagem, pode-se observar em verde, a parte posterior da calha, onde ficou armazenada água, devido à falta

de estanqueidade da junta e ausência de dispositivo de proteção para evitar que a água goteje pela face e vaze atrás da sarjeta. Por outro lado, a Figura 3d mostra um detalhe da falta de estanqueidade da extremidade direita do parapeito, na área de ligação da ponta da saia, do parapeito e do contraforte, marcando a área que atualmente se encontra muito deteriorada, sendo um sinal óbvio de falta de impermeabilização. Ainda em relação aos problemas de impermeabilização, pode-se observar na Fig. 3e, a ausência da impermeabilização na área de contato da saia inferior com o parapeito, bem como a presença de vegetação na área mais à direita da foto, onde está a maior temperatura. Além disso, o estado atual de impermeabilização da área danificada do peitoril pode ser avaliado por meio desta imagem. Os resultados apresentados pela termografia não mostraram a presença de problemas de estanqueidade. Por fim, as Fig. 3g-3h mostram a área represada durante o teste, onde pode-se observar claramente o processo de ascensão capilar pelo revestimento, ultrapassando claramente os 5 cm de fita impermeabilizante atualmente instalada na junção da saia com o revestimento vertical, nas áreas onde foi colocada, visto que há ausência deste detalhe construtivo em várias partes da saia inferior.

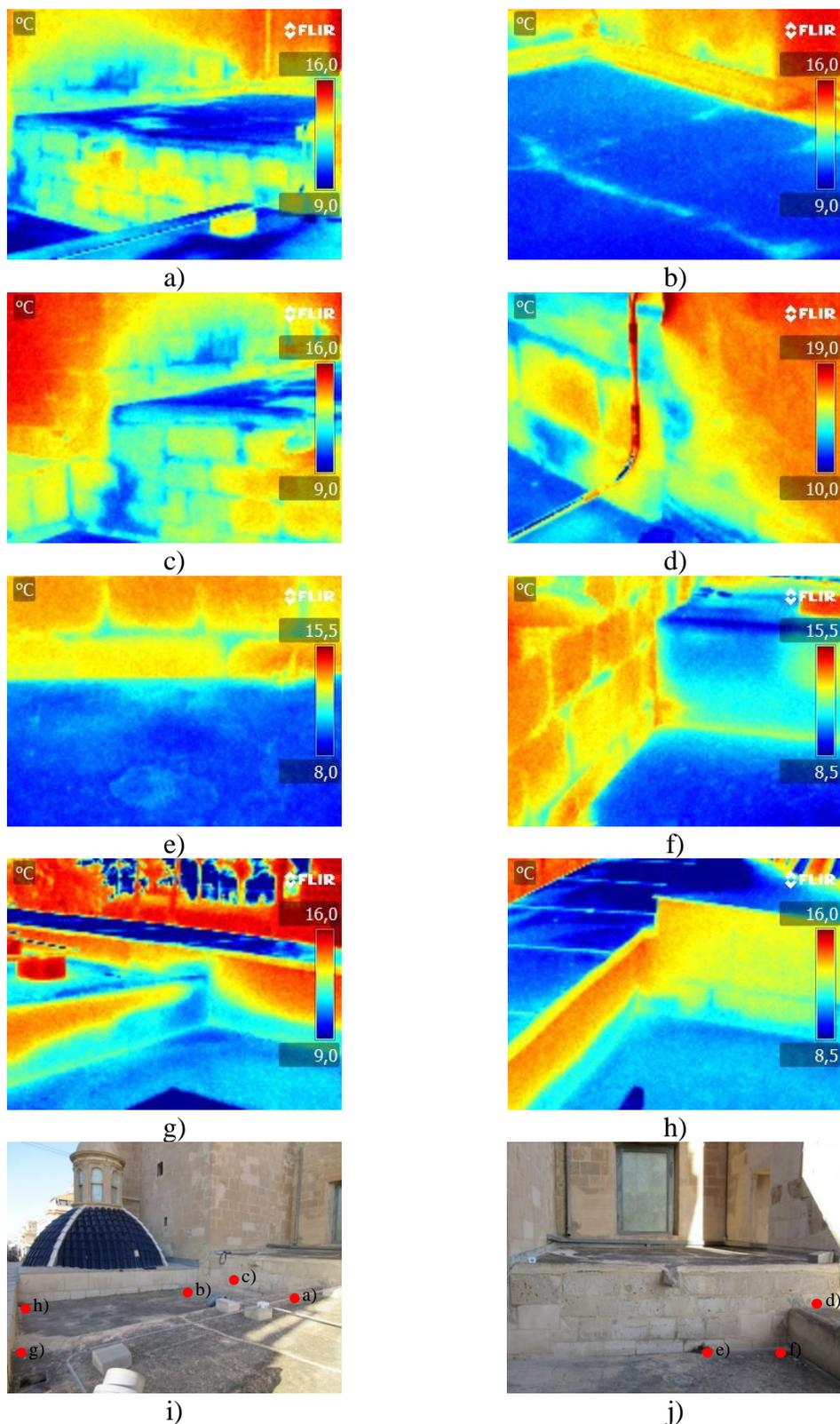


Figura 3. Termografia da cobertura 1: a) Vista geral da área superior, b) Detalhe da calha das instalações, c) Umidade na face vertical e canto do parapeito, infiltração através das juntas de alvenaria, d) Falta de estanqueidade no parapeito e contraforte, e) Saia inferior e face vertical, f) Conexão lateral da saia do parapeito, g) e h) Capilaridade, i) e j) localização dos termógrafos. Os pontos vermelhos indicam a localização da termografia na imagem associada.

Em relação aos resultados da análise da cobertura 2, as Fig. 4a e 4b mostram o detalhe da ausência da junta perimetral, mostrando a diferença de temperaturas nas áreas onde a argamassa está totalmente deteriorada, e a junta está sem argamassa entre o final da saia e do forro. É importante não confundir com a linha vermelha associada à passagem de um tubo de instalação, uma vez que a área analisada é aquela associada ao final da ligação com a face vertical da fachada. Essas imagens mostram a falta de isolamento térmico nos trechos do revestimento vertical, bem como áreas com tom mais frio, devido ao derramamento de água durante o teste de carga. As Fig. 4c e 4d mostram um detalhe desta área sem aplicação de câmara térmica. Por outro lado, a Fig. 4e mostra a zona de extremidade da saia lateral. Nesta imagem pode-se observar a falta de isolamento térmico nos trechos de face vertical, bem como áreas de tom mais frio, devido à água despejada durante o teste de carga. Esta área é mostrada em um tom mais esverdeado na área central da foto. Destaca-se também o contraste na junta da aba da saia, mostrando claramente a posição da junta horizontal entre o material superior e o material de suporte. Esta junta, representada por uma linha amarela com tons de ciano, apresenta um importante estado de deterioração, como pôde ser observado durante a análise visual da cobertura, Fig. 4g. Por fim, a Fig. 4f mostra um detalhe da extremidade perimetral da saia, na área próxima à porta de acesso a cobertura. A Fig. 4 também inclui imagens de câmeras digitais das áreas analisadas por imagens térmicas. A comparação dessas imagens permite observar os benefícios do uso da termografia na detecção de patologias, sendo esta uma técnica de apoio à inspeção visual.

Por outro lado, as Fig. 5, 6 e 7 mostram os detalhes da distribuição da temperatura no interior dos três ambientes internos analisados. Note-se que devido aos baixos níveis de diferenças térmicas entre os diferentes elementos estruturais que compõem o recinto, a nitidez das imagens não apresenta um comportamento tão diferenciado como no caso da análise das coberturas. Para aumentar o contraste térmico, em algumas salas os refletores foram mantidos acesos antes da realização do ensaio, a fim de garantir o posicionamento das bordas da sala, uma vez que as fotos térmicas foram tiradas com a luz desligada.

Analisando o comportamento térmico da sala sob a área inferior da cobertura 1, Fig. 5, referida ao longo do estudo como a sala adjacente à Capela da Comunhão, pode ser observada na Fig. 5a, correspondente ao canto de ligação entre a fachada exterior e o arco principal que dá acesso à Capela da Comunhão e, disposto na zona junto à presença de ralo na cobertura da parte superior, que seja claramente definida a diferença térmica entre a parte correspondente à fachada e a cobertura da abóbada. Porém, com as condições climáticas registadas durante o ensaio, não foi detectada a presença de irregularidades térmicas específicas nas zonas potencialmente danificadas associadas à ligação entre a fachada e o arco toral da abóbada de aresta analisada. Além disso, observa-se parte da janela externa, que serve de referência para poder enquadrar a foto. A Fig. 5b mostra um detalhe da área da janela. Nesta imagem, o efeito de ponto frio é claramente visível devido à maior transparência térmica do vidro em comparação com as altas espessuras da fachada. Além disso, nota-se a falta de isolamento térmico nas zonas de ligação entre a fachada e a cobertura, marcando claramente o bordo de junção entre os dois, e apresentando um gradiente de temperatura desde o início até à zona central da abóbada. Na Fig. 5c, é mostrada a termografia do outro canto da fachada exterior, semelhante à descrita na Fig. 5a. Como se pode verificar nesta imagem não existem indícios patológicos relevantes, sendo detectado apenas o desnível térmico entre as faces verticais e a cobertura da abóbada. Finalmente, a Fig. 5d mostra uma imagem geral da cobertura. Esta imagem mostra a presença de uma parte da cobertura ligeiramente mais fria que a outra, principalmente devido ao efeito do acúmulo de água durante o ensaio.

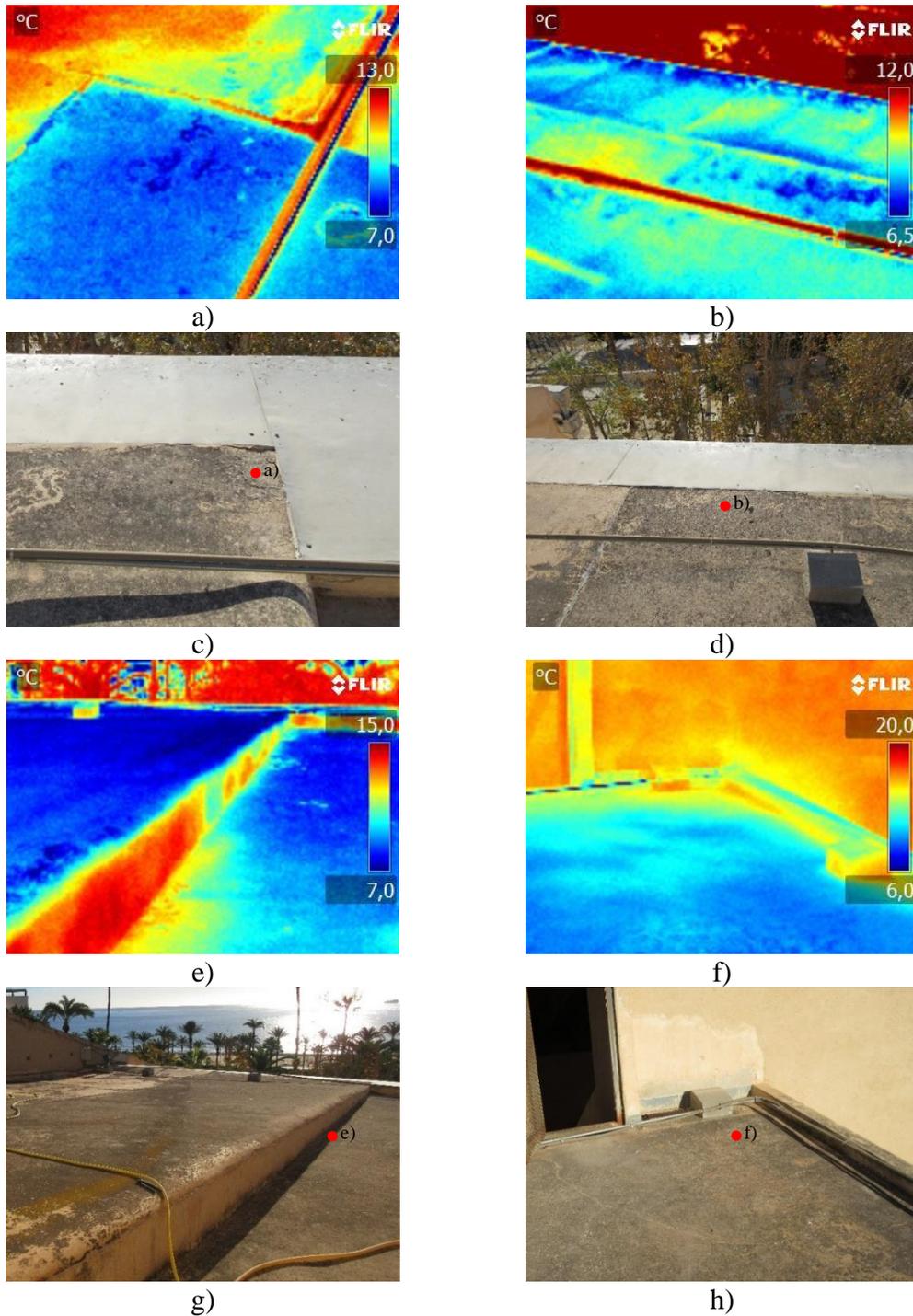


Figura 4. Termografia da cobertura 2: a) Deterioração da junta perimetral, b) Detalhe da falha na junta perimetral em contato da saia com a fachada, c) e d) Imagem a) e b) com câmera digital, e) Detalhe da extremidade lateral da saia e ligação à cobertura; f) Zona perimetral da saia na zona de acesso à cobertura; g) e h) Imagem e) e f) com câmera digital. Os pontos vermelhos indicam a localização da termografia na imagem associada.

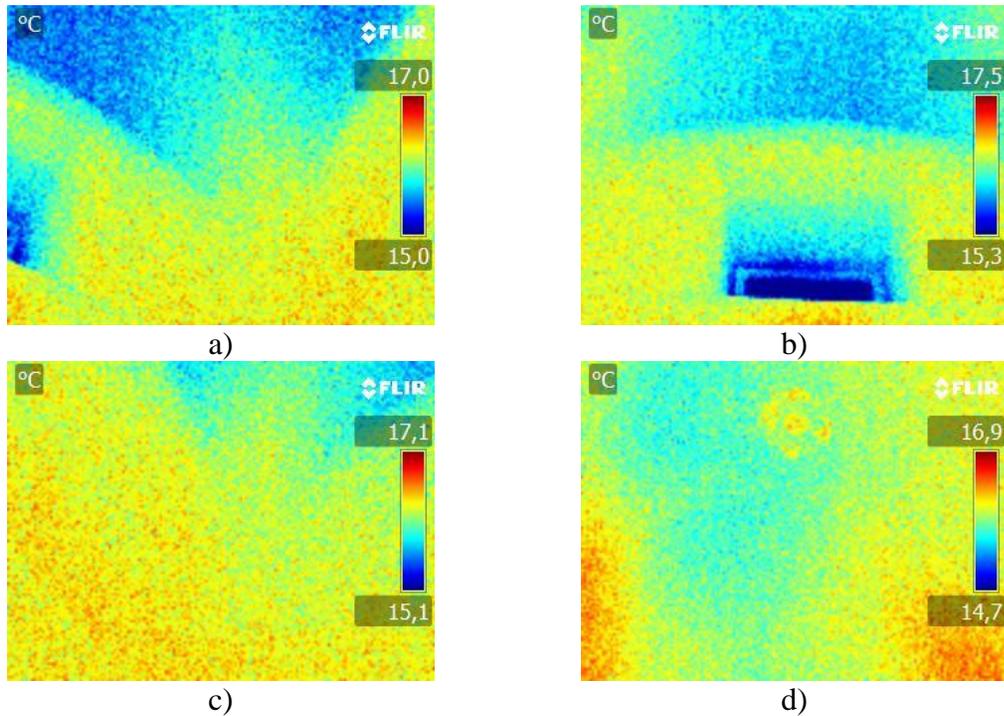


Figura 5. Termografia das salas sob a cobertura 1, adjacentes à Capela da Comunhão: a) Ligação do arco principal com a fachada exterior, na zona de acesso à Capela da Comunhão, b) Ligação da fachada com a cobertura em janela área, c) Segundo canto da parede da fachada, equivalente à imagem (a), d) Vista geral da cobertura vista de baixo.

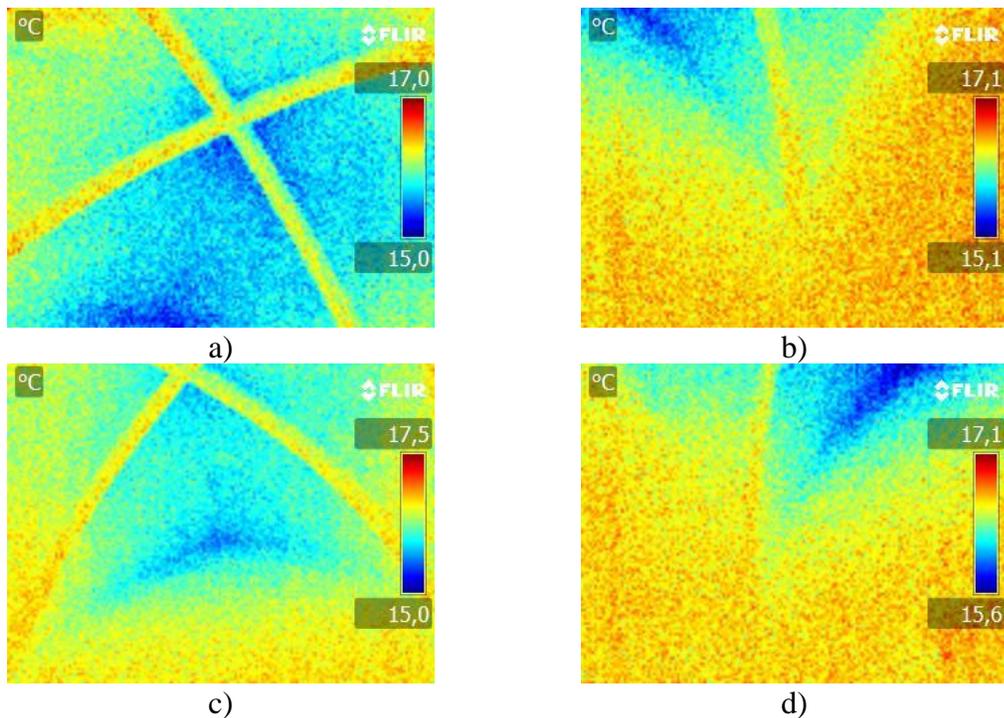


Figura 6. Termografia dos ambientes sob a cobertura 1, adjacentes ao edifício lateral: a) Vista geral do telhado, b) Ligação entre fachada e esquina lateral, c) Ligação entre fachada e a cobertura, d) Ligação entre fachada e esquina lateral oposta.

Em relação à análise por termografia realizada para a sala localizada na nave lateral, contígua à nave central da basílica, a Fig. 6 mostra a distribuição das temperaturas nos diferentes pontos críticos analisados nas seções anteriores. Em primeiro lugar, a Fig. 6a mostra uma vista inferior da cobertura em abóbada de arestas. Pode-se observar a diferença de temperaturas entre os arcos perpendiculares e o restante da laje que compõe a abóbada. Por outro lado, as Fig. 6b e 6d mostram a termografia detalhada dos cantos de conexão entre os arcos perpendiculares e as paredes da fachada. Observa-se um padrão de comportamento semelhante aos descritos para a sala anterior, com a diferença da temperatura mais elevada do início das arcadas. De referir que a análise destes pontos foi efetuada sem a presença de fontes de luz próximas antes ou durante o ensaio, pelo que a distribuição térmica se deve ao equilíbrio higrotérmico entre o exterior e o interior do edifício. Por fim, a Fig. 5c mostra o mesmo problema de falta de isolamento da sala anterior, devido à junta de ligação entre a fachada vertical e a cobertura.

Por fim, em relação à análise termográfica realizada para a sala sob a cobertura 2, a Fig. 7 mostra a distribuição das temperaturas nos diferentes pontos críticos analisados nas seções anteriores. Em geral, o comportamento térmico é muito semelhante aos detectados nas divisões anteriores, exceto que neste caso não se observou uma grande diferença térmica entre os pontos da fachada interior e a cobertura. Ou seja, as Fig. 7a, 7b, 7c e 7d mostram o detalhe do contato entre a fachada e a cobertura, mostrando os vazamentos térmicos na parte superior da área da janela, bem como na própria janela. A Fig. 7e mostra uma termografia da parte da cobertura correspondente à ancoragem do lustre, onde se observa uma distribuição uniforme das temperaturas sem a presença de danos detectados. Nas Fig. 7f e 7g, observam-se as termografias associadas às Fig. 7c e 7d, mas neste caso, na fachada oposta à externa. Nesse caso, as variações térmicas podem ser observadas nas áreas afetadas pelo aquecimento das fontes de luz. Isso se deve à presença de pontos frios nas zonas de contato entre a parede lateral e a fachada. Esses pontos frios, especialmente aqueles detectados na Fig. 7g, estão relacionados às manchas de umidade detectadas. Nessas imagens, o orifício circular mais frio é mostrado como referência para localizar a posição das fotos. É importante ressaltar que tais manchas de umidade, além de estarem relacionadas à presença de zona fria, também estão relacionadas à presença de zona de acúmulo de água na parte superior da cobertura 2, próximo à cúpula. Nesta área a água captada na cúpula é descarregada, sendo que a falta de vedação lateral na ponta da saia, aliada ao baixo nível de ventilação do ambiente mostrado, causam o aumento da umidade, e consequentemente o aparecimento de tal eflorescência.

Por fim, é de notar a presença de uma fuga detectada no edifício anexo com acesso à sala 2. Esta fuga é na cobertura do piso superior. Não foi possível detectar se a presença de umidade se deve a um erro no telhado da cobertura, ou na própria cobertura 2. Porém, devido à sua posição geométrica, está muito próximo da posição do ralo da cobertura, o que pode ser um indício da falta de estanqueidade da cobertura.

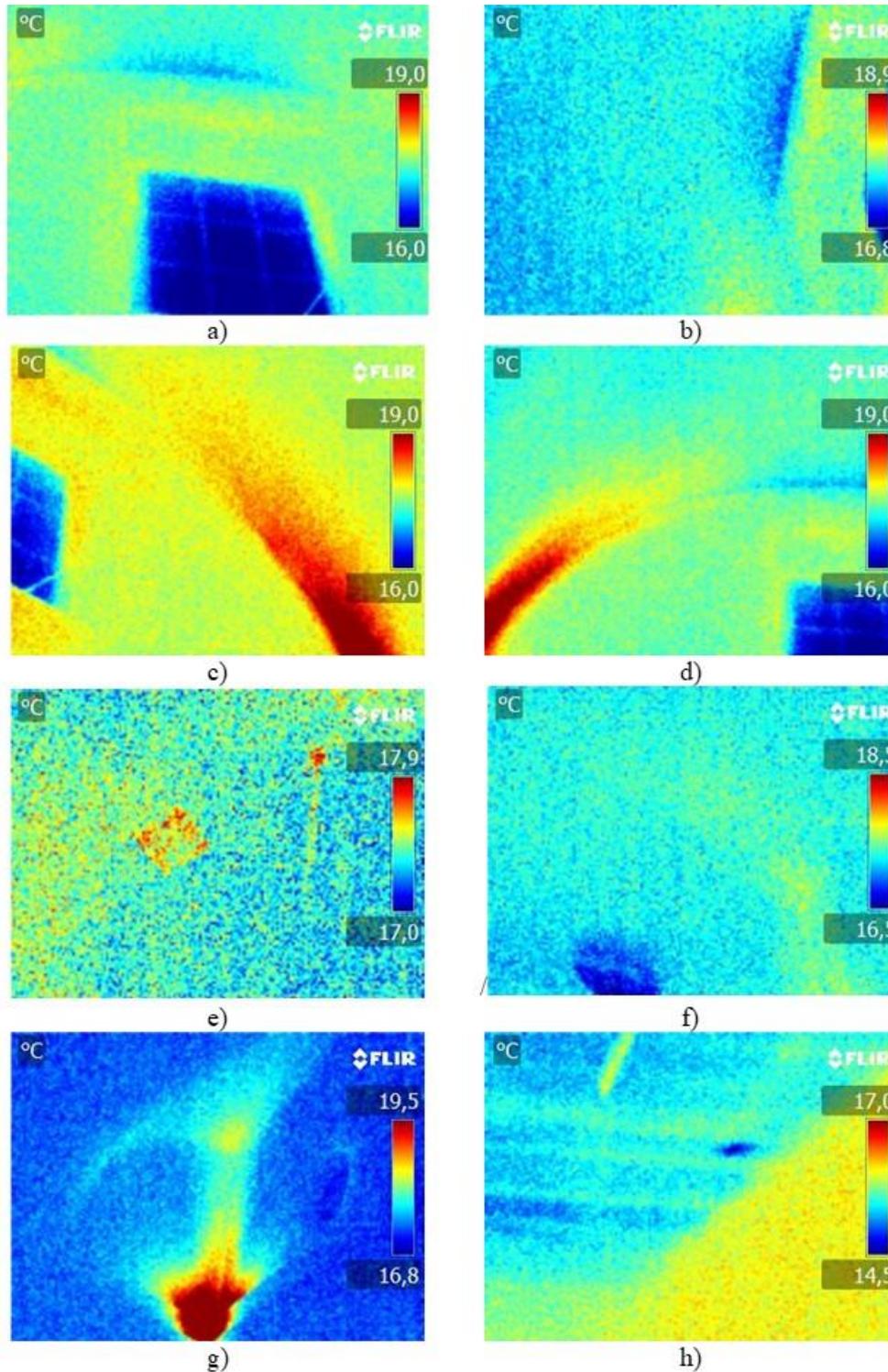


Figura 7. Termografia da sala sob a cobertura 2: a) janela e área da laje, b) vista inferior da cobertura, c) vista da conexão da parede lateral da laje, d) vista da conexão da parede lateral da laje, e) área central da cobertura, f) vista da parede divisória traseira, g) vista da conexão da parede lateral e da parede traseira, h) vazamento na área externa.

4. CONCLUSÕES

Após a realização do estudo técnico de avaliação do estado de estanqueidade e da análise das umidades das coberturas analisadas na Basílica de Santa Maria, pode-se concluir que o estado atual da cobertura não cumpre as condições técnicas mínimas com base no corrente estado dos detalhes de construção de acordo com as disposições da norma (NBE QB-90). Da mesma forma, o estado de umidade e eflorescência presente nas zonas interiores deve-se a um problema de condensação higroscópica, pois a umidade aumenta devido à proximidade com a zona marítima, bem como à falta de ventilação das divisões interiores estudadas. Além disso, esta manifestação patológica é intensificada pelos possíveis problemas de infiltração causados durante os meses de outubro e novembro, devido ao maior índice de chuvas. Essa água se acumula no interior dos elementos construtivos e elimina o excesso de umidade por transmissão de vapor conforme as condições térmicas do edifício mudam. Além disso, a presença de sais marinhos em edifícios próximos e a alta capacidade de absorção dos materiais estudados, apresentam um comportamento propenso ao arraste de sais em solução durante o período chuvoso, o que favorece o aparecimento de eflorescências, o que aumenta o risco de condensação umidificações. Por outro lado, em relação ao uso de técnicas de análise termográfica, as imagens permitiram detalhar com maior precisão as patologias existentes, principalmente as decorrentes de vazamentos térmicos e áreas de acúmulo de umidade, imperceptíveis à exploração visual. Esse fato evidencia a viabilidade do uso da termografia para identificar patologias em edificações em alvenaria que possam estar ocultas por revestimentos ou condições geométricas que impeçam sua detecção a olho nu. Além disso, com o uso dessa técnica é possível delimitar com mais precisão as superfícies de reparo do ponto de vista de uma futura intervenção em comparação com uma análise visual direta sem termografia como comentado por Barbosa (Barbosa et al, 2021).

5. ACKNOWLEDGEMENTS AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Bispo de Orihuela-Alicante a disponibilidade para realizar este estudo num imóvel catalogado.

6. REFERÊNCIAS

- Barbosa, M.T.G., Rosse, V. J., Laurindo, N. G. (2021), “*Thermography evaluation strategy proposal due moisture damage on building facades*”, Journal of Building Engineering, 43, art. no. 102555, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102555>
- Barreira, E., Almeida, R.M.S.F., Simões, M.L., Rebelo, D. (2020), “*Quantitative infrared thermography to evaluate the humidification of lightweight concrete*”, Sensors (Switzerland), 20 (6), art. no. 1664, DOI: <https://doi.org/10.3390/s20061664>
- Barreira, E., Almeida, R.M.S.F., Simões, M.L. (2021), “*Emissivity of building materials for infrared measurements*”, Sensors, 21 (6), art. no. 1961, pp. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21061961>
- Bevià García, M., Azuar Ruiz, R. (2005), “*Santa María descubierta: Arqueología, arquitectura-cerámica: Excavaciones en la Iglesia de Santa María de Alicante (1997-1998)*”. Alicante. Fundación MARQ. ISBN: 84-609-7478-2
- Brotóns, V., Tomás, R., Ivorra, S., Alarcón, J.C. (2013), “*Temperature influence on the physical and mechanical properties of a porous rock: San Julian's calcarenite*. Engineering Geology”, 167, pp. 117-127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.10.012>

- Giovannacci, D., Brissaud, D., Mertz, J.-D., Mouhoubi, K., Bodnar, J.-L. (2017), “*Nonintrusive tools to detect salts contamination in masonry: Case study of Fontaine-Chaalis church*”, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 10331, art. no. 1033103. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2269727>
- Grossi, C. M. Esbert, R. M. (1994), “*Las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales. Revisión bibliográfica*”. Materiales de Construcción, Vol. 44, nº 235. DOI: <https://doi.org/10.3989/mc.1994.v44.i235.579>
- Louis, M., García del Cura, M. A., Spairani, Y., de Blas. D. (2001), “*The Civil Palaces in Gravina Street, Alicante: building stones and salt weathering*. Materiales de Construcción”, Vol. 51, nº262. DOI: <https://doi.org/10.3989/mc.2001.v51.i262.369>
- Lucchi, E. (2018), “*Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review*”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, pp. 3077-3090. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.031>
- Paricio Ansuateguie, I. “*La construcción de la Arquitectura. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya*”, 1985, T.2, p. 26. ISBN: 978-84-7853-375-6
- Norma Básica de la Edificación. Cubiertas con materiales bituminosos: “*NBE QB-90*”. Gobierno de España.
- Ruiz Valero, L., Flores Sasso, V., Prieto Vicioso, E. (2019), “*In situ assessment of superficial moisture condition in façades of historic building using non-destructive techniques*”, Case Studies in Construction Materials, 10, art. no. e00228, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00228>
- Silva, G. P., Batista, P. I. B., Povóas, Y. V. (2019), “*Uso de termografía infrarroja para estudiar el desempeño térmico de paredes: una revisión bibliográfica*”, Revista ALCONPAT, 9(2), pp. 117 – 129, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.341>
- Takeda, T. Mazer, W. (2018), “*Potencial da análise termográfica para avaliar manifestações patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas*”, Revista ALCONPAT, 8 (1), pp. 38 – 50, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.181>
- Valluzzi, M.R., Lorenzoni, F., Deiana, R., Taffarel, S., Modena, C. (2019), “*Non-destructive investigations for structural qualification of the Sarno Baths, Pompeii*”, Journal of Cultural Heritage, 40, pp. 280-287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.04.015>
- Vijay, P.V., Tulasi Gadde, K., Gangarao, H.V.S. (2019), “*Structural Evaluation and Rehabilitation of Century-Old Masonry and Timber Buildings*”, Journal of Architectural Engineering, 25 (2), art. no. 05019001, DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000350](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000350)
- Garrido, I., Solla, M., Lagüela, S., Fernández, N. (2020), “*Irt and gpr techniques for moisture detection and characterisation in buildings*”, Sensors (Switzerland), 20 (22), art. no. 6421, pp. 1-38. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20226421>
- Martínez-Garrido, M.I., Fort, R., Gómez-Heras, M., Valles-Iriso, J., Varas-Muriel, M.J. (2018), “*A comprehensive study for moisture control in cultural heritage using non-destructive techniques*”, Journal of Applied Geophysics, 155, pp. 36-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.03.008>
- Zhang, F., Zhang, X., Li, Y., Tao, Z., Liu, W., He, M. (2018), “*Quantitative description theory of water migration in rock sites based on infrared radiation temperature*”, Engineering Geology, 241, pp. 64-75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.05.006>

Thomas, c., Lombillo, I., Setién, J., Polanco, J. A., Villegas, L. (2008), “*Absorción por capilaridad y consolidación de materiales pétreos del patrimonio histórico construido impermeabilizados y reforzados con productos hidrofugantes y consolidantes comerciales*”. Tecnología de la rehabilitación y la gestión del patrimonio construido (REHABEND). ISBN: 978-84-692-5650-3.

UNE EN 13187 (1998). “*Prestaciones térmicas de edificios. Detección cualitativa de irregularidades en cerramientos de edificios. Método de infrarrojos*”. Asociación Española de Normalización.