

**Variações na aplicabilidade da termografia infravermelha para a
detecção de manifestações patológicas em diferentes revestimentos de
fachada: uma revisão sistemática**

Vanessa Ayanna de Souza Costa

Mestranda, UPE-POLI, Brasil
vanessa.ayanna@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5463-6344>

Victor Henrique Vieira Braz

Mestrando, UPE-POLI, Brasil
victorbraz.obras@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1255-0571>

Girlândia de Moraes Sampaio

Mestra, UPE-POLI, Brasil
girlandasampaio@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0001-7804-0959>

Yeda Vieira Póvoas

Professora Doutora, UPE-POLI, Brasil
yvp@poli.br

<https://orcid.org/0000-0003-1907-415X>

Alberto Casado Lordsleem Júnior

Professor Doutor, UPE-POLI, Brasil
acasado@poli.br

<https://orcid.org/0000-0003-3276-0621>

Variações na aplicabilidade da termografia infravermelha para a detecção de manifestações patológicas em diferentes revestimentos de fachada: uma revisão sistemática

RESUMO

Objetivo – Identificar as variações na aplicabilidade da termografia infravermelha (TIR) para a detecção de manifestações patológicas em diferentes revestimentos de fachada, identificando desafios e tendências na área.

Metodologia – Foi conduzida uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) baseada no protocolo PRISMA. A seleção considerou 43 artigos, a partir da análise de 394 estudos importados via uma string de busca nas bases Science Direct, Scopus e Portal da CAPES, entre 2018 e 2024.

Originalidade/relevância – O estudo se insere na lacuna teórica referente à aplicação da TIR na inspeção de fachadas com diferentes tipos de revestimento, destacando-se como uma ferramenta de diagnóstico não destrutivo. A relevância acadêmica está na sistematização das variáveis que afetam a confiabilidade da técnica, considerando distintos materiais de revestimento e fatores ambientais.

Resultados – A pesquisa identificou que a TIR é amplamente empregada na inspeção de revestimentos cerâmicos, argamassados e de pedra, sendo menos frequente no concreto armado. A eficácia da técnica é influenciada por fatores como radiação solar, umidade e emissividade dos materiais. Para otimizar os resultados, recomenda-se uma diferença mínima de 10°C entre os ambientes interno e externo. Além disso, técnicas complementares, como radar de penetração no solo (RPS) e processamento avançado de imagens, são necessárias para aumentar a confiabilidade da detecção de anomalias.

Contribuições teóricas/metodológicas – O estudo evidencia os desafios da aplicabilidade da TIR em diferentes revestimentos, destacando que: (i) no cerâmico, a porosidade e a umidade influenciam a detecção; (ii) no argamassado, a heterogeneidade do material impacta os resultados; (iii) no de pedra, a variabilidade mineralógica interfere na análise; e (iv) no concreto armado, a absorção térmica elevada pode mascarar anomalias. Além disso, ressalta a importância de condições ambientais controladas e do uso de técnicas complementares para maior precisão.

Contribuições sociais e ambientais – A aplicação da TIR na manutenção preventiva de fachadas contribui para a gestão sustentável das infraestruturas urbanas, possibilitando inspeções não destrutivas e o monitoramento contínuo do estado de conservação das edificações.

PALAVRAS-CHAVE: Termografia infravermelha. Revestimento. Manifestações patológicas. Revisão sistemática.

Variations in the applicability of infrared thermography for detecting defects in different facade coatings: a systematic review

ABSTRACT

Objective – Identify variations in the applicability of infrared thermography (IRT) for detecting defects in different facade coatings, identifying challenges and trends in the field.

Methodology – A Systematic Literature Review (SLR) was conducted based on the PRISMA protocol. The selection included 43 articles, analyzed from 394 studies imported using a search string in the Science Direct, Scopus, and CAPES Portal databases, covering the period from 2018 to 2024.

Originality/Relevance – The study addresses the theoretical gap regarding the application of IRT in facade inspections with different types of coatings, highlighting its role as a non-destructive diagnostic tool. The academic relevance lies in the systematization of variables that affect the technique's reliability, considering different coating materials and environmental factors.

Results – The research identified that IRT is widely used for inspecting ceramic, mortar, and stone coatings, with less frequent application in reinforced concrete. The technique's effectiveness is influenced by factors such as solar radiation, humidity, and material emissivity. To optimize results, a minimum temperature difference of 10°C between indoor and outdoor environments is recommended. Additionally, complementary techniques such as ground-penetrating radar (GPR) and advanced image processing are necessary to enhance the reliability of defect detection.

Theoretical/Methodological Contributions – The study highlights the challenges of IRT applicability in different coatings, emphasizing that: (i) in ceramic coatings, porosity and humidity affect detection; (ii) in mortar coatings, material heterogeneity impacts results; (iii) in stone coatings, mineralogical variability interferes with analysis; and (iv) in reinforced concrete, high thermal absorption can mask defects. Furthermore, it underscores the importance of controlled environmental conditions and the use of complementary techniques for greater accuracy.

Social and Environmental Contributions – The application of IRT in façade preventive maintenance contributes to the sustainable management of urban infrastructure, enabling non-destructive inspections and continuous monitoring of building conservation status.

KEYWORDS: Infrared thermography. Coating. Defects. Systematic review.

Variaciones en la aplicabilidad de la termografía infrarroja para la detección de defectos en diferentes revestimientos de fachadas: una revisión sistemática

RESUMEN

Objetivo – Identificar las variaciones en la aplicabilidad de la termografía infrarroja (TIR) para la detección de defectos en diferentes revestimientos de fachada, identificando desafíos y tendencias en el área.

Metodología – Se llevó a cabo una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) basada en el protocolo PRISMA. La selección incluyó 43 artículos, analizados a partir de 394 estudios importados utilizando una cadena de búsqueda en las bases de datos Science Direct, Scopus y el Portal CAPES, cubriendo el período de 2018 a 2024.

Originalidad/Relevancia – El estudio aborda la laguna teórica sobre la aplicación de la TIR en la inspección de fachadas con diferentes tipos de revestimiento, destacándose como una herramienta de diagnóstico no destructivo. Su relevancia académica radica en la sistematización de variables que influyen en la confiabilidad de la técnica, considerando distintos materiales de revestimiento y factores ambientales.

Resultados – La investigación identificó que la TIR se emplea ampliamente en la inspección de revestimientos cerámicos, de mortero y de piedra, siendo menos frecuente en el hormigón armado. La efectividad de la técnica está influenciada por factores como la radiación solar, la humedad y la emisividad de los materiales. Para optimizar los resultados, se recomienda una diferencia mínima de temperatura de 10°C entre los ambientes interno y externo. Además, se identificó la necesidad de técnicas complementarias, como el radar de penetración terrestre (RPT) y el procesamiento avanzado de imágenes, para mejorar la confiabilidad en la detección de defectos.

Contribuciones Teóricas/Metodológicas – El estudio destaca los desafíos en la aplicabilidad de la TIR en diferentes revestimientos, enfatizando que: (i) en el cerámico, la porosidad y la humedad afectan la detección; (ii) en el mortero, la heterogeneidad del material impacta los resultados; (iii) en la piedra, la variabilidad mineralógica interfiere en el análisis; y (iv) en el hormigón armado, la alta absorción térmica puede enmascarar defectos. Además, resalta la importancia de condiciones ambientales controladas y el uso de técnicas complementarias para una mayor precisión.

Contribuciones Sociales y Ambientales – La aplicación de la TIR en el mantenimiento preventivo de fachadas contribuye a la gestión sostenible de las infraestructuras urbanas, permitiendo inspecciones no destructivas y el monitoreo continuo del estado de conservación de los edificios.

PALABRAS CLAVE: Termografía infrarroja. Revestimiento. Manifestaciones patológicas. Revisión sistemática.

1 INTRODUÇÃO

Diretamente expostas a agentes externos, as fachadas tornam-se vulneráveis a manifestações patológicas que comprometem sua integridade e funcionalidade. A falta de manutenção preventiva, aliada à exposição prolongada a fatores climáticos, intensifica essas condições e favorece o surgimento de anomalias (Souza *et al.*, 2018; Brito *et al.*, 2024), o que acelera a degradação dos revestimentos e aumenta a necessidade de intervenções corretivas, elevando, conseqüentemente os custos associados à reabilitação das edificações (Vasconcelos *et al.*, 2024). Assim, a inspeção periódica das fachadas é fundamental para atender os requisitos de desempenho que assegurem a segurança, a habitabilidade e a sustentabilidade, conforme especificado pela norma NBR 15575-1 (ABNT, 2024).

Nesse contexto, a utilização de técnicas não destrutivas tem se mostrado eficaz para o diagnóstico precoce de anomalias e na prevenção de danos severos. Dentre essas técnicas, a termografia infravermelha (TIR) destaca-se por sua capacidade de identificar defeitos superficiais e subsuperficiais, como fissuras, descolamentos, infiltrações de água e eflorescência (Garrido *et al.*, 2022; Alexakis *et al.*, 2024; Bersch *et al.*, 2021; Donato *et al.*, 2021; Fort *et al.*, 2022; Mendes *et al.*, 2022). Essas anomalias podem ser identificadas pela diferença de temperatura entre as áreas afetadas e as regiões adjacentes devido à presença de vazios ou de umidade, que alteram o fluxo de calor (Bauer *et al.*, 2018).

A aplicação da TIR como ferramenta de inspeção apresenta vantagens significativas, como a rapidez na coleta de dados e a possibilidade de realização de medições remotas e em tempo real (Tanaka; Pavon, 2021), podendo ainda ser acoplada a um veículo aéreo não tripulado (VANT) (Silva *et al.*, 2021) para alcançar maiores alturas e permitir um diagnóstico detalhado (Albuquerque *et al.*, 2024). No entanto, sua eficácia depende de variáveis como a resolução térmica da câmera, a distância entre o equipamento e a superfície inspecionada, e as condições ambientais durante a captura das imagens.

A termografia infravermelha pode ser usada também para fazer um scanner termográfico em sobrevoo oblíquo para indicar efeitos da vegetação urbana na regulação térmica, possibilitando apontar áreas com maior carga térmica pela reduzida presença de árvores na paisagem ao e/ou áreas com maior atenuação dos raios solares (Costa *et al.*, 2022).

Apesar das vantagens oferecidas pela TIR, muitos fatores influenciam as inspeções termográficas, como o tipo de câmera utilizada, a inclinação para o alvo, a emissividade dos materiais e as condições climáticas (Além disso, a precisão das medições termográficas está diretamente relacionada à calibração do equipamento, à consideração da emissividade do material e à adaptação às condições ambientais no momento da captura das imagens (Kowalski; Masiero, 2020; Yang; Guo; Li, 2023). A orientação das fachadas também pode impactar a degradação dos revestimentos, com variações na presença de sujeira, umidade e deslocamento, dependendo da exposição ao sol e ao vento (Sarunashi *et al.*, 2024; Nascimento *et al.*, 2024). Compreender esses fatores e seu impacto na inspeção de diferentes tipos de revestimentos é essencial para aprimorar a confiabilidade da técnica.

Dessa forma, esta pesquisa contribui para o avanço do uso da termografia no contexto da detecção de manifestações patológicas em revestimentos de fachadas, com ênfase na inspeção e manutenção de edificações, ao identificar, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), as variações na aplicabilidade da TIR para a detecção de manifestações

patológicas em diferentes revestimentos de fachadas, identificando desafios e tendências na área.

2 Método

Esta pesquisa apresenta uma RSL conduzida segundo o método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and MetaAnalyses) (Moher *et al.*, 2010; Zlatar; Kohlmanrabbani; Barkókebas Jr, 2019) com o auxílio do software Rayaan. A RSL teve como objetivo responder à seguinte questão: Quais são as principais variações na aplicabilidade da termografia infravermelha para a detecção de manifestações patológicas em diferentes tipos de revestimento de fachadas? sendo desenvolvida em três etapas principais: planejamento, elaborando do protocolo de pesquisa; execução, buscando e selecionando os artigos; e sumarização, analisando e tratando os dados, com a síntese das principais evidências encontradas sobre o tema.

As buscas foram realizadas nas bases de dados Science Direct, Scopus e Portal da CAPES, visando obter uma amostra diversificada de estudos. Foi empregada a string de busca: “(("facade" OR "façade") AND ("infrared" OR "thermography") AND ("damage" OR "defect" OR "problem")) NOT ("energyefficiency" OR "thermalcomfort"))”, sendo incluídos filtros conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Filtros utilizados na pesquisa

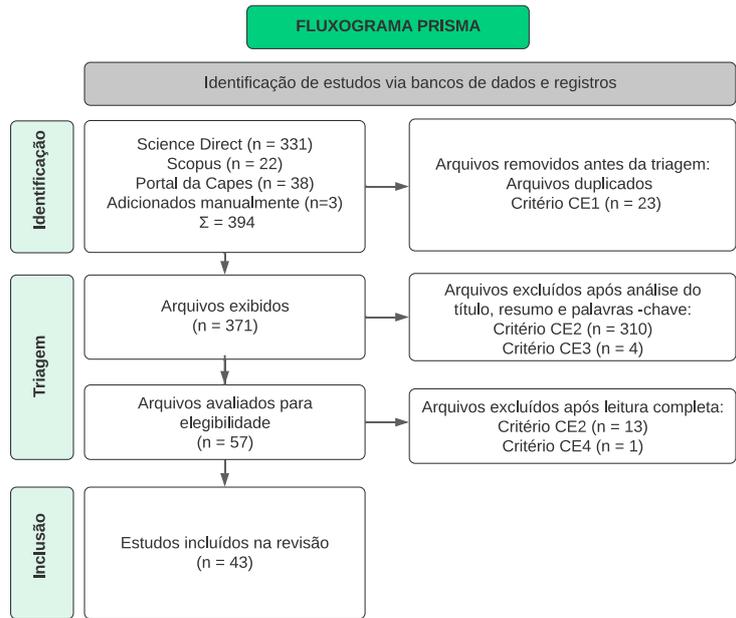
Tipo de filtro	Especificação
Período	2018-2024
Tipo de documento	Apenas artigos de pesquisa
Área de estudo	Engenharia Civil
Idioma	Português e Inglês

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os critérios de inclusão/exclusão foram estabelecidos para garantir a relevância dos artigos. CI1: artigos que usem termografia para detecção de manifestações patológicas em revestimentos de fachada; CE1: artigos duplicados; CE2: artigos que não usem termografia para detecção de manifestações patológicas em revestimentos de fachada; CE3: artigos de revisão; CE4: trabalhos não disponíveis integralmente nas bases científicas pesquisadas.

Ao todo, foram importados 394 artigos, dos quais 391 resultaram da *string* de busca e 3 foram adicionados manualmente por relevância. Na fase de elegibilidade, após a leitura dos títulos e resumos, foram aplicados os critérios de exclusão, resultando na categorização de 28 artigos como "talvez". Após a resolução de divergências, permaneceram 57 artigos. Em uma segunda triagem, 14 estudos foram descartados após a leitura integral, totalizando 43 artigos selecionados para a RSL. O processo seguiu o Diagrama de Fluxo PRISMA (PRISMA, 2020), conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Processo de seleção dos artigos



Fonte: Elaborado pelos autores.

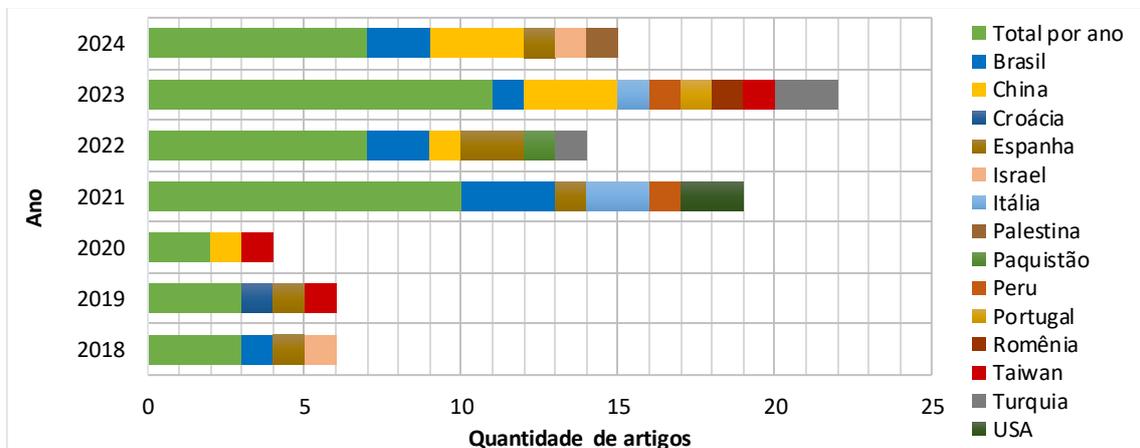
3 Resultados e discussões

Os resultados foram organizados em duas categorias: (i) distribuição temporal e geográfica das publicações e (ii) análise da aplicabilidade da TIR em diferentes tipos de revestimento de fachada.

3.1 Distribuição temporal e geográfica das publicações

O gráfico da Figura 2 apresenta a distribuição das publicações. Houve um aumento significativo nos estudos nos últimos quatro anos, indicando um crescente interesse na técnica. Brasil e China lideram as pesquisas, seguidos por Itália, Espanha e Portugal. Essa tendência sugere o crescente interesse global pela aplicação da TIR, com maior representatividade de países em desenvolvimento, onde a técnica tem potencial significativo para monitoramento e manutenção de infraestruturas.

Figura 2 – Distribuição Temporal e Geográfica das Publicações (2018–2024)



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2 Variações na aplicabilidade da termografia em diferentes tipos de revestimento de fachada

Ao analisar a distribuição percentual dos materiais inspecionados com o uso da termografia infravermelha, observa-se uma leve predominância do revestimento cerâmico, que corresponde a 32% das ocorrências (16 estudos), enquanto os argamassados e de pedra, com 30% cada (15 estudos), apresentam frequências bastante próximas. O concreto armado, por sua vez, registra a menor aplicação, com 8% (4 estudos). Esses resultados demonstram a versatilidade e a importância da TIR na identificação de anomalias em diferentes tipos de revestimentos de fachada. Vale ressaltar que alguns artigos abordam mais de um tipo de revestimento. Essa diferença de percentagem pode estar relacionada à necessidade de técnicas complementares para revestimentos de maior espessura e heterogeneidade.

De modo geral, os estudos destacam que os fatores ambientais são os que mais impactam a capacidade de detecção de anomalias térmicas, com destaque para a radiação solar, o vento, a umidade relativa do ar, a temperatura ambiente e as sombras. Esses elementos podem interferir nos gradientes térmicos necessários para a identificação precisa das anomalias. Frequentemente, a TIR precisa ser complementada por outras técnicas para validar os resultados obtidos. Além disso, os estudos indicam que fatores ambientais influenciam a detecção de anomalias, sendo recomendada uma diferença mínima de 10°C entre os ambientes interno e externo para otimização da técnica.

3.3 Revestimento cerâmico

Aguilar *et al.* (2023) verificaram que a porosidade das placas cerâmicas impacta significativamente a detecção de anomalias por termografia. Placas mais porosas (face posterior vermelha) apresentaram maior contraste térmico durante períodos de intensa radiação solar, facilitando a identificação de descolamentos e umidade. Já as menos porosas (face posterior bege) favoreceram a detecção no início do aquecimento e durante o resfriamento (Aguilar *et al.*, 2023).

Ao comparar o comportamento do revestimento cerâmico diante das anomalias de descolamento e umidade, Aguilar *et al.* (2023) observaram que o contraste térmico médio nas áreas com umidade, tanto durante o aquecimento quanto no resfriamento, foi superior ao das áreas com descolamento, devido à capacidade da água de armazenar e liberar calor. Esse resultado indica que a detecção de anomalias associadas à umidade é mais sensível às variações de temperatura, especialmente em materiais com maior porosidade.

Após 3h de exposição solar o gradiente de temperatura entre a região interna e externa atinge picos que favorecem a detecção de anomalias devido ao maior contraste térmico. No entanto, durante períodos de alta temperatura (~40°C) esse contraste diminui consideravelmente, dificultando a identificação das anomalias (Bauer; Milhomem; Aidar, 2018).

A termografia passiva demonstrou capacidade de detectar fissuras com até 5 cm de profundidade, embora sua eficácia diminua para defeitos mais profundos, evidenciando a necessidade de equipamentos de alta sensibilidade para tais situações (Bauer; Milhomem; Aidar, 2018). Já com relação ao descolamento em situação seca, a análise de Tanaka e Pavón (2021) revelou que diferenças na largura dos descolamentos aumentam significativamente a

probabilidade de identificação das anomalias, enquanto a profundidade não apresenta impacto relevante nos valores de Delta T.

A presença de sombras interfere na excitação térmica uniforme, dificultando a detecção de anomalias. Para mitigar esse problema, Huang *et al.* (2020) propuseram um modelo multiplicativo que, combinado com segmentação de imagens, permite identificar variações sutis de temperatura, mesmo com delta T reduzido entre 0,2°C e 0,3°C, garantindo maior precisão na delimitação de defeitos em fachadas com revestimento cerâmico. Huang, Chen e Chiang (2023) ampliaram essa abordagem ao combinar a análise robusta de componentes principais (RPCA) com segmentação de imagem para melhorar ainda mais a robustez da detecção em diferentes condições de sombra.

Micelli e Cascardi (2020) ressaltam que, embora a literatura já reconheça a influência da emissividade e da refletividade das pastilhas cerâmicas, bem como o mascaramento de sinais de umidade ou fissuras pelas juntas de argamassa, tais fatores ainda impõem desafios à prática da termografia infravermelha em revestimentos cerâmicos. Esses aspectos podem dificultar a leitura dos resultados ao alterar a distribuição do calor na superfície, demandando um controle mais rigoroso dos parâmetros de inspeção e uma análise criteriosa das imagens obtidas.

3.4 Revestimento argamassado

Devido à menor densidade de revestimentos argamassados, a TIR é altamente eficaz na detecção de descolamento e umidade (Ferreira *et al.*, 2024; Barbosa; Rosse; Laurindo, 2021). Entretanto, quando se trata de anomalias mais sutis, a identificação de forma qualitativa se torna mais difícil. As razões podem estar relacionadas à baixa resolução espacial da câmera, heterogeneidade do revestimento e às baixas variações térmicas geradas (Adamopoulos *et al.*, 2021). Para contornar esta dificuldade, Adamopoulos *et al.* (2021) partiram para uma análise detalhada a partir de processamento multibanda, integrando as imagens obtidas em três regiões espectrais (infravermelho-TIR, visível-VIS e infravermelho próximo-NIR) com o objetivo de melhorar a detecção e a caracterização das anomalias.

Gong *et al.* (2024) demonstraram que a temperatura superficial aumenta proporcionalmente com a espessura da anomalia até 11mm, acima disso ocorre uma anomalia térmica devido ao efeito de capacidade térmica: a cavidade de maior espessura retém mais calor, mas a transmissão desse calor é mais lenta, resultando em temperaturas inferiores às esperadas.

Regiões com argamassa à base de cimento apresentaram temperaturas superficiais significativamente mais alta sem comparação às áreas revestidas com argamassa de cal (DeltaT=3°C), devido à maior condutividade térmica do cimento (Batoool *et al.*, 2022). A maior deterioração do material, como perda de coesão, porosidade e desagregação da argamassa foi identificada pela termografia através da maior absorção e retenção de calor nessas áreas, resultando em temperaturas superficiais mais elevadas. Essa característica pode ser usada para avaliar o estado de conservação das paredes e indicar as regiões que necessitavam de reparo imediato (Batoool *et al.*, 2022).

Além da interferência de fatores externos, aplicabilidade da TIR em revestimentos argamassados apresenta limitações que podem gerar falsos positivos, incluindo sujeira, sombras (Garrido *et al.*, 2019; Ferreira *et al.*, 2024) e revestimentos adicionais, como painéis de madeira e camadas de tinta (Batoool *et al.*, 2022).

Resende *et al.* (2022) observaram que a exposição solar por um período de 1,5 a 3 horas foi suficiente para gerar contrastes térmicos adequados, permitindo a detecção de anomalias de descolamentos, fissuras e áreas com presença de umidade.

3.5 Revestimento de pedra

A termografia infravermelha demonstrou ser uma ferramenta valiosa na detecção de anomalias em revestimentos de edificações históricas, apesar dos desafios impostos pela geometria complexa dos monumentos e pela heterogeneidade dos materiais, como pedras naturais e juntas de argamassa (Alexakis *et al.*, 2024; Solla *et al.*, 2024), além de espessura não uniforme do revestimento e sua composição mineralógica (Alexakis *et al.*, 2018; Briceño *et al.*, 2021; Hatir; Ince; Bozkurt, 2022; Pescari; Budau. Vilceanu, 2023). Diferenças na capacidade térmica e condutividade dos componentes minerais podem criar gradientes térmicos complexos, dificultando a interpretação precisa dos termogramas, especialmente em revestimentos com múltiplas camadas ou misturas heterogêneas (Briceño *et al.*, 2021).

Chacara *et al.* (2023) apontam a limitação da TIR na detecção da profundidade e extensão de fissuras, devido à exposição solar insuficiente e à emissividade uniforme considerada para simplificar a análise (Diz-Mellado *et al.*, 2021). Para superar essa dificuldade, foi empregado o radar de penetração no solo (RPS), que permite um mapeamento mais preciso das anomalias (Kilic, 2023; Solla *et al.*, 2024) e contribui para investigar as condições do subsolo, como áreas que podem estar relacionadas ao desenvolvimento de infiltrações e deformações nos revestimentos (Diz-Mellado *et al.*, 2021). Fort *et al.* (2022), por sua vez, verificaram a termografia ativa é eficaz para detectar anomalias internas em revestimentos de pedra, sobretudo em meios com alta concentração de sais, em que a termografia passiva apresenta limitações.

As superfícies de granito, devido à sua composição densa e baixa permeabilidade, apresentam variações térmicas menos pronunciadas, enquanto as juntas de argamassa, por sua maior porosidade, favorecem a retenção de umidade, intensificando o contraste térmico e facilitando sua detecção (Alexakis *et al.*, 2024; Solla *et al.*, 2024). Diz-Mellado *et al.* (2021) e Ozmen e Sayin (2023) apontam que a rugosidade de pedras calcárias originais pode comprometer a uniformidade das imagens térmicas, dificultando a identificação precisa de anomalias internas, especialmente em materiais restaurados, como o tufo vulcânico encontrado no estudo de Ozmen e Sayin (2023).

Hatir, Ince e Bozkurt (2022) destacam que rochas piroclásticas, devido à sua maior porosidade, apresentam maior suscetibilidade a processos de deterioração, como ciclos de congelamento-descongelamento e cristalização de sais, características que podem ser detectadas de maneira eficaz por termografia infravermelha. De maneira semelhante, Ozmen e Sayin (2023) verificaram que o tufo vulcânico, utilizado como material de restauração, apresenta alta porosidade, o que resulta em variações térmicas mais acentuadas, facilitando a identificação de áreas afetadas em ambientes com elevada umidade ou sujeitos a condições atmosféricas adversas.

Altas temperaturas detectadas em termogramas indicam delaminações locais ou ausência de argamassa de fixação atrás de placas de travertino, enquanto baixas temperaturas, em relação às áreas de altas temperaturas anômalas, sugerem descolamentos parciais ou totais (Pescari; Budau; Vilceanu, 2023).

3.6 Revestimento de concreto armado

Os poucos estudos desta RSL que exploram a aplicação da TIR em revestimentos de concreto armado não abordam as particularidades da técnica relacionadas a este tipo de material. Contudo, validam a sua eficiência na detecção das anomalias e ressaltam a Influência de fatores ambientais, como vento, radiação solar e temperatura, na precisão da detecção (Zhang *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2022; De Filippo *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024). Li *et al.* (2022) destaca que incidência direta de radiação solar pode mascarar as diferenças de temperatura e dificultar a detecção precisa de anomalias térmicas. Embora não seja uma particularidade do revestimento de concreto, essa estratégia é relevante para este material pela sua alta capacidade de absorção térmica.

A integração da TIR com VANT e algoritmos computacionais mostrou-se eficaz na detecção inicial de anomalias térmicas, proporcionando maior precisão e redução significativa no tempo de análise. De Filippo *et al.* (2023) destacam que, embora o método apresente bons resultados em revestimentos de concreto armado, ainda há necessidade de ajustes para ampliar sua aplicabilidade a outros tipos de revestimentos.

4 CONCLUSÃO

Este estudo investigou as variações na aplicabilidade da termografia infravermelha na detecção de manifestações patológicas em diferentes tipos de revestimentos de fachadas. A revisão sistemática revelou que a técnica é amplamente utilizada em revestimentos cerâmicos, argamassados e de pedra, sendo menos frequente no concreto armado. Sua eficácia é influenciada por fatores ambientais, exigindo estratégias complementares para garantir diagnósticos mais precisos.

O aumento das publicações sobre o tema indica um interesse crescente, especialmente em países em desenvolvimento, consolidando a TIR como uma ferramenta promissora para a manutenção preventiva de edificações. A detecção de anomalias depende de condições térmicas favoráveis, sendo recomendada uma diferença mínima de 10°C entre os ambientes interno e externo para otimizar os resultados.

Os principais desafios na aplicabilidade da TIR são: (i) no revestimento cerâmico, a influência da porosidade e da umidade; (ii) no revestimento argamassado, a heterogeneidade do material; (iii) no revestimento de pedra, a variabilidade mineralógica; e (iv) no concreto armado, a absorção térmica elevada.

Apesar do grande potencial da TIR para a inspeção e preservação de fachadas, sua aplicação apresenta limitações, como interferência de sombras e a necessidade de condições ambientais controladas. No entanto, a técnica se destaca por sua capacidade de auxiliar na gestão sustentável das infraestruturas urbanas, permitindo inspeções não destrutivas e o monitoramento contínuo do estado de conservação das edificações. A integração da TIR com outras técnicas de monitoramento e o desenvolvimento de metodologias mais robustas são fundamentais para ampliar sua confiabilidade e contribuir para práticas de manutenção mais eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2025. 95 p.

AGUILAR, M. T. P. *et al.* Use of passive thermography to detect detachment and humidity in façades clad with ceramic materials of differing porosities. **Journal of Nondestructive Evaluation**, v. 42, p. 92, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10921-023-01007-y>.

ALBUQUERQUE, E. S. de *et al.* Inspeção das fachadas dos Edifícios Sergadas Vianna e SulAmérica em Recife/PE por meio de Aeronave Remotamente Pilotada para detecção de manifestações patológicas. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 12, n. 38, 2024. DOI: 10.17271/23178604123820245446.

ALEXAKIS, E. *et al.* A novel application of deep learning approach over IRT images for the automated detection of rising damp on historical masonries. **Case Studies in Construction Materials**, v. 20, p. e02889, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02889>.

BRITO, K. A. *et al.* Analysis of pathological manifestations in a retaining structure in the Linha do Tiro neighborhood - Recife/PE. **Revista PPC – Políticas Públicas e Cidades**, v. 13, n. 2, p. 1-16, 2024. DOI: <https://doi.org/10.23900/2359-1552v13n2-276-2024>.

ADAMOPOULOS, E. *et al.* Integrating Multiband Photogrammetry, Scanning, and GPR for Built Heritage Surveys: the façades of Castello del Valentino. **ISPRS Annals of the Photogrammetry**. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 3-M-1, p. 1-8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-VIII-M-1-2021-1-2021>.

ALEXAKIS, E. *et al.* NDT as a monitoring tool of the works progress and the assessment of materials and rehabilitation interventions at the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre. **Construction and Building Materials**, v. 189, p. 512-526, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.007>.

BARBOSA, M. T. G.; ROSSE, V. J.; LAURINDO, N. G. Thermography evaluation strategy proposal due moisture damage on building facades. **Journal of Building Engineering**, v.43, p. 102555, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102555>.

BATOOL, F. *et al.* Material characterization of a historical wall by using destructive and non-destructive techniques. **Structures**, v.46, p. 1669-1678, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.11.006>.

BAUER, E.; MILHOMEM, P. M.; AIDAR, L. A. G. Evaluating the damage degree of cracking in facades using infrared thermography. **Journal of Civil Structural Health Monitoring**, v.8, p. 517–528, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13349-018-0289-0>.

BAYOMI, N. *et al.* Building envelope modeling calibration using aerial thermography. **Energy and Buildings**, v. 233, p. 110648, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110648>.

BERSCH, D. *et al.* Diagnosis of Pathological Manifestations and Characterization of the Mortar Coating from the Facades of Historical Buildings in Porto Alegre — Brazil: A Case Study of Château and Observatório Astronômico. **International Journal of Architectural Heritage**, v. 15, n. 8, p. 1145-1169, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1771475>.

BRICEÑO, C. *et al.* Integration of non-destructive testing, numerical simulations, and simplified analytical tools for assessing the structural performance of historical adobe buildings. **Construction and Building Materials**, v. 290, p. 123224, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123224>.

CHÁCARA, C. *et al.* Integration of NDT, 3D parametric modelling, and nonlinear numerical analysis for the seismic assessment of a vaulted stone-masonry historical building. **Journal of Building Engineering**, v. 70, p. 106347, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106347>.

COSTA, A. S. *et al.* Termografia infravermelha em sobrevoo oblíquo para indicar efeitos da vegetação urbana na regulação térmica em Belém, Pará. **Caderno de Geografia**, v. 32, p. 693, 2022. DOI: <https://10.5752/p.2318-2962.2022v32n.69p.693>.

- DE FILIPPO, M. *et al.* Ai-powered inspections of facades in reinforced concrete buildings. **HKIE Transactions Hong Kong Institution of Engineers**, v. 30, n. 1, p, 1-14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.33430/V30N1THIE-2020-0023>.
- DIZ-MELLADO, E. *et al.* Non-destructive testing and Finite Element Method integrated procedure for heritage diagnosis: The Seville Cathedral case study. **Journal of Building Engineering**, v.37, p. 102134, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2020.102134>.
- DONATO, A. *et al.* Decay Assessment of Stone-Built Cultural Heritage: The Case Study of the Cosenza Cathedral Façade (South Calabria, Italy). **Remote Sensing**, v. 13, p. 3925, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13193925>.
- FORT, R. *et al.* Appraisal of non-destructive in situ techniques to determine moisture- and salt crystallization-induced damage in dolostones. **Journal of Building Engineering**, v.53, p. 104525, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.104525>.
- FERREIRA, J. A. S. *et al.* Assessment of staining patterns in facades using an unmanned aerial vehicle (UAV) and infrared thermography. **Drones**, v. 8, n. 10, p. 542, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones8100542>.
- GARRIDO, I. *et al.* Introduction of active thermography and automatic defect segmentation in the thermographic inspection of specimens of ceramic tiling for building façades. **Infrared Physics & Technology**, v.121, p. 104012, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2021.104012>.
- GARRIDO, I. *et al.* Automatic detection of moistures in different construction materials from thermographic images. **Journal of thermal analysis and calorimetry**, v.138, p. 1649-1668, 2019. DOI: [10.1007/s10973-019-08264-y](https://doi.org/10.1007/s10973-019-08264-y).
- GAUTAM, D. *et al.* Damage description, material characterization, retrofitting, and dynamic identification of a complex neoclassical monument affected by the 2015 Gorkha, Nepal earthquake. **Journal of Building Engineering**, v. 80, p. 108152, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2023.108152>.
- GOMES, M. da G.; TOMÉ, A. A digital and non-destructive integrated methodology for heritage modelling and deterioration mapping. The case study of the Moorish Castle in Sintra. **Developments in the Built Environment**, v. 14, p. 100145, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100145>.
- GONG, X. *et al.* Experimental Study on Heat Transfer Characteristics of Hollowing Defect Areas on Building Facade. **Buildings**, v. 14, n.8, p. 2262, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14082262>.
- HATIR, M. E.; INCE, I.; BOZKURT, F. Investigation of the effect of microclimatic environment in historical buildings via infrared thermography. **Journal of Building Engineering**, v. 57, p.104916, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.104916>.
- HUANG, Y.; CHEN, C.; CHIANG, C. Analyzing a series of thermal infrared images to identify defects using a hybrid approach that combines robust principal component analysis and image segmentation. **NDT & E International**, v. 137, p. 102818, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2023.102818>.
- KILIC, G. Assessment of historic buildings after an earthquake using various advanced techniques. **Structures**, v. 50, p. 538-560, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.02.033>.
- KOWALSKI, L. F.; MASIERO, E. Estudo Comparativo de Sistemas de Medições de Temperatura Superficial de Pavimentos Urbanos. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 61, 2020. DOI: [10.17271/2318847286120202409](https://doi.org/10.17271/2318847286120202409).

LI, Z. *et al.* Thermography evaluation of defect characteristics of building envelopes in urban villages in Guangzhou, China. **Case Studies in Construction Materials**, v.17, p. e01373, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01373>.

MA, L. *et al.* Impact of multiple factors on the use of an UAV-mounted infrared thermography method for detection of debonding in facade tiles. **Journal of Building Engineering**, n. 96, p. 110592, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110592>.

MENDES, M. V. A. da S. *et al.* Damages mapping of façade using Aerophotogrammetry and Thermography Inspection: Zoroastro Artiaga Museum – Art Deco in Brazil. **Revista Matéria**, v. 27, n. 3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2022-0031>.

MICELLI, F.; CASCARDI, A. Structural assessment and seismic analysis of a 14th century masonry tower. **Engineering Failure Analysis**, v. 107, p. 104198, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104198>.

MOHER, D. *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **International Journal of Surgery**, p. 8, 336–341, 2010.

NASCIMENTO, T. R. S. do *et al.* Mapa de Danos de Fachadas de Edificações Históricas: Estudo de Caso da Igreja da Madre de Deus no Recife-PE. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 20, n. 2, 2024. DOI: [10.17271/1980082720220245292](https://doi.org/10.17271/1980082720220245292).

OZMEN, A.; SAYIN, E. Evaluation of material properties of cultural heritage building by destructive and non-destructive testing: Malatya Taşhoran Church case study. **Construction and Building Materials**, v. 392, p. 131693, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131693>.

PESCARI, S.; BUDAU, L.; VÎLCEANU, C. B. Rehabilitation and restauration of the main façade of historical masonry building – Romanian National Opera Timisoara. **Case Studies in Construction Materials**, v. 18, p. e01838, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01838>.

PULITI, M.; MONTAGGIOLI, G.; SABATO, A. Automated subsurface defects' detection using point cloud reconstruction from infrared images. **Automation in Construction**, v.129, p. 103829, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103829>.

RESENDE, M. M. *et al.* Infrared thermal imaging to inspect pathologies on façades of historical buildings: A case study on the Municipal Market of São Paulo, Brazil. **Case Studies in Construction Materials**, v.6, p. e01122, 2022, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01122>.

ROCHA, J. H. A.; SANTOS, C. F. dos.; PÓVOAS, Y. V. Detection of precipitation infiltration in buildings by infrared thermography: a case study. **Procedia Structural Integrity**, v.11, p. 99-106, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.014>.

SILVA, W. P. A. *et al.* Inspection of pathological manifestations in buildings by using a thermal imaging camera integrated with an Unmanned Aerial Vehicle (UAV): A documental research. **Revista ALCONPAT**, v. 11, n. 1, pp. 123 – 139, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.447>

SOLLA, M. *et al.* Analysis of structural integrity through the combination of non-destructive testing techniques in heritage inspections: The study case of San Segundo's hermitage (Ávila, Spain). **Journal of Building Engineering**, v. 89, p. 109295, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109295>.

SOUZA, J. *et al.* Application of a graphical method to predict the service life of adhesive ceramic external wall claddings in the city of Brasília, Brazil. **Journal of Building Engineering**, v. 19, p. 1-13, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.013>.

TANAKA, D.; PAVÓN, E. Influência das dimensões dos descolamentos de revestimentos cerâmicos na avaliação com termografia de infravermelho. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 3, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000300542>.

TSAI, P.; HUANG, Y.; TAI, J. The Feasibility of Identifying Defects Illustrated on Building Facades by Applying Thermal Infrared Images with Shadow. **Proceedings**, v. 27, n. 1, p. 3, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/proceedings2019027003>.

VASCONCELOS, F. D. M. *et al.* Identificação de manifestações patológicas através da elaboração de mapas de danos de fachadas de um prédio histórico da cidade do Recife, PE: Estudo de caso do Bloco A da Escola Politécnica de Pernambuco. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 20, n. 4, 2024. DOI: 10.17271/1980082720420245160.

VERDUM, G. *et al.* Mortar coating degradation in historical buildings facades from Rio Grande do Sul – Brazil. **Construction and Building Materials**, v.310, p. 125221, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125221>.

YANG, X.; GUO, R.; LI, H. Comparison of multimodal RGB-thermal fusion techniques for exterior wall multi-defect detection. **Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience**, v. 2, n. 2, p. 100029, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iintel.2023.100029>.

ZHANG, R. *et al.* Automatic Detection of Earthquake-Damaged Buildings by Integrating UAV Oblique Photography and Infrared Thermal Imaging. **Remote Sens**, v.2, n. 16, p. 2621, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12162621>.

ZLATAR, T.; KOHLMAN RABBANI, E. R.; BARKÓKEBAS JUNIOR, B. **Aplicações do método PRISMA para revisão sistemática da literatura na Engenharia Civil**. Recife: EDUPE, 2019.

WANG, P. *et al.* An automatic building façade deterioration detection system using infrared-visible image fusion and deep learning. **Journal of Building Engineering**, v. 95, p. 110122, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.110122>.

ZHU, D. *et al.* A Method for Extracting Contours of Building Facade Hollowing Defects Using Polarization Thermal Images Based on Improved Canny Algorithm. **Buildings**, v. 13, n. 10, p. 2563, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13102563>.

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

- **Concepção e Design do Estudo:** Vanessa Ayanna e Gírlândia Sampaio.
 - **Curadoria de Dados:** Vanessa Ayanna, Victor Braz e Gírlândia Sampaio.
 - **Análise Formal:** Vanessa Ayanna, Victor Braz e Gírlândia Sampaio.
 - **Aquisição de Financiamento:** Yeda Póvoas.
 - **Investigação:** Vanessa Ayanna, Victor Braz e Gírlândia Sampaio.
 - **Metodologia:** Vanessa Ayanna.
 - **Redação - Rascunho Inicial:** Vanessa Ayanna, Victor Braz.
 - **Redação - Revisão Crítica:** Yeda Póvoas e Alberto Casado.
 - **Revisão e Edição Final:** Vanessa Ayanna e Gírlândia Sampaio.
 - **Supervisão:** Yeda Póvoas e Alberto Casado.
-

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, Vanessa Ayanna, Victor Braz, Gírlândia Sampaio, Yeda Póvoas e Alberto Casado, declaramos que o manuscrito intitulado "**Variações na aplicabilidade da termografia infravermelha para a detecção de manifestações patológicas em diferentes revestimentos de fachada: uma revisão sistemática**":

1. **Vínculos Financeiros:** Este trabalho foi financiado por CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).
 2. **Relações Profissionais:** Não possuem relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados.
 3. **Conflitos Pessoais:** Não possuem conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito.
-