



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



Joana Sueveny Barbosa Batista

**PARÂMETROS TERMOGRÁFICOS PARA INSPEÇÃO DE FACHADAS DE
REVESTIMENTO CERÂMICO**

São Cristóvão - SE

2023

Joana Sueveny Barbosa Batista

**PARÂMETROS TERMOGRÁFICOS PARA INSPEÇÃO DE FACHADAS DE
REVESTIMENTO CERÂMICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe (UFS) como requisito para o título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. MSc. Sandra Carla Lima Cardoso.
Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Otávio Damas Martins.

São Cristóvão - SE

2023



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CONSELHO DO ENSINO, DA PESQUISA E DA EXTENSÃO
RESOLUÇÃO Nº 10/2014/CONEPE
ANEXO II



SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO ELETRÔNICA

Autorizo a Universidade Federal de Sergipe a disponibilizar, através de seu Repositório Institucional e catálogo online do Sistema de Bibliotecas, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9.610/98, o texto integral da obra abaixo citada, em formato digital, para fins de leitura, impressão e download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir da data abaixo firmada.

Especialização Graduação Residência médica

Núcleo / Departamento: Departamento de Engenharia Civil

Título: Parâmetros termográficos para inspeção de fachadas de revestimento cerâmico.

Autor(a): Joana Sueveny Barbosa Batista

CPF: 062.726.975-38

e-mail: joanasueveny@academico.ufs.br

Orientador(a): Prof^ª. MSc. Sandra Carla Lima Cardoso (UFS)

CPF: 386.709.175-72

e-mail: sandracardoso@academico.ufs.br

Coorientador(a): Prof^ª. Dr. Carlos Otávio Damas Martins (UFS)

CPF: 774.803.080-91

e-mail: cmartins@academico.ufs.br

Data de conclusão: 12 de Maio de 2023 .

Data de depósito: de de .

Assinatura do(a) Autor(a)



ATA DE DEFESA

Joana Sueveny Barbosa Batista

Parâmetros termográficos para inspeção de fachadas de revestimento cerâmico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe (UFS) como requisito para o título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 12 de maio de 2023

Banca Examinadora	Nota
Orientador(a): Prof ^ª . MSc. Sandra Carla Lima Cardoso (UFS)	– 10,0
Examinador(a): Eng. Dr. Carlos Henrique de Carvalho (CHC Engenharia)	– 10,0
Examinador(a): Eng. MSc. Robson Rabelo de Santana (Defesa Civil Municipal)	– 10,0
Média Final:	10,0

Sandra Carla Lima Cardoso
Prof^ª. MSc. Sandra Carla Lima Cardoso (UFS)
Assinatura da Orientadora

*“Gloria in excelsis Deo. Et in terra pax
hominibus bonae voluntatis”.*

AGRADECIMENTOS

Graças e louvores sejam dados ao bom Deus que hoje me permite estar concluindo mais uma pequena etapa desta curta vida. Tenho plena consciência que Ele me permitiu ter uma boa família, onde tenho apoio e amparo em todos os momentos, inclusive nos momentos onde a morte foi próxima a mim. Grata a minha amada mãe, Maria Filomena Barbosa Batista, meu amado pai, José Batista Filho, aos queridos irmãos, Tiago Barbosa Batista e Ronald Jean Barbosa de Menezes e minha querida cunhada, Caroline dos Santos Rodrigues.

Grata a todos os professores que deixaram um pouco deles em mim, desde Tia Renildes, minha primeira professora, a Tia Sanda, onde terei minha última aula de graduação. Em especial, gostaria de citar aqui minha querida professora tia Silvania, a mais temida, que não está mais entre nós, mas que vive em meu coração e ao meu prof. de fluidos, Alex, por se demonstrar preocupado com meu aprendizado e suspeitado de neuro divergência em mim, o que até então ninguém havia suspeitado.

Grata pelas oportunidades que Ele me concedeu de experiências científicas e profissionais durante esse período, sendo elas a Divisão de Projetos da Universidade Federal de Sergipe (DIPRO) não só pelo conhecimento adquirido, mas pelo apoio num momento complicadinho da vida. Em especial a Arquiteta Lia Tavares, que foi luz durante essa jornada. Ao Laboratório de Análise de Integridade Estrutural da Universidade Federal de Sergipe (LAIES) pelo aprendizado adquirido e a vontade de ir mais a fundo no mundo de inspeções em materiais, em especial ao meu querido professor Carlos Martins pelo aprendizado e preocupação com o tipo de profissional que me tornaria. A Defesa Civil Municipal de Aracaju, onde pude aprender com todos, simplesmente todos, a ser uma pessoa melhor muito além do conhecimento adquirido. De forma especial a meu chefe Rabelo, por me mostrar que mesmo pessoas introvertidas como eu podem ir além e superar os limites impostos por nossa mente.

Por fim sou grata a todos os amigos que Deus colocou em meu caminho. Falar o nome de todos é complicado pois uns já não são tão próximos, outros nem sabem que os considero tanto, mas geralmente não me sinto confortável em falar com os outros, então se apenas sorrio pra você e por te considerar meu amigo. Sendo assim, deixo a todos os meus mais sinceros agradecimentos.

BATISTA, J.S.B ; CARDOSO, S.C.L.; MARTINS, O.C.D. SILVA, L.A.C. . Análise de parâmetros termográficos para inspeção de fachadas com revestimento cerâmico. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Engenharia Civil, São Cristóvão, 2023.

RESUMO

A fachada de uma edificação, além de um elemento estético, é a primeira barreira protetora contra agentes físicos e químicos, tornando-se suscetível a presença de manifestações patológicas. A dificuldade de detecção dessas manifestações dificulta a manutenção preventiva, podendo causar deterioração do revestimento. Técnicas convencionais de inspeção muitas vezes são insuficientes para detectar essas anomalias, sendo assim a termografia infravermelha entra como um agente fundamental para essa detecção, porém a depender da condição onde se realiza a inspeção a técnica não é capaz de gerar boa assertividade. A fim de melhorá-la, este trabalho analisou parâmetros termográficos em inspeções de fachadas com revestimento cerâmico buscando métodos mais assertivos e possibilitando a rápida inspeção e análise de integridade de sistemas construtivos de fachadas revestidas com placas cerâmicas. Para isto, foram confeccionados corpos de provas retangulares revestidos com pastilhas cerâmicas de diferentes cores, introduzidos defeitos de diferentes tamanhos no centro das peças simulando a falta de argamassa colante e feita uma análise termográfica nos ciclos de aquecimento e resfriamento, utilizando termógrafos de resoluções diferentes, variando distâncias e ângulos de visão durante a extração. Ao fim foi possível perceber que a região com defeito apresentou temperatura menor que o entorno, que para maiores ângulos de visão, os termogramas obtidos perderam precisão, porém para ângulos pequenos os resultados continuaram sendo satisfatórios, e que o ajuste da escala de temperatura possibilitou melhor visualização de defeitos. Logo, a praticidade e facilidade que a técnica de inspeção termográfica traz pôde ser assertiva com o refinamento dos parâmetros.

Palavras-chave: fachadas; revestimento cerâmico; termografia infravermelha; parâmetros de inspeção.

BATISTA, J.S.B ; CARDOSO, S.C.L.; MARTINS, O.C.D. SILVA, L.A.C. . Análise de parâmetros termográficos para inspeção de fachadas com revestimento cerâmico. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Engenharia Civil, São Cristóvão, 2023.

ABSTRACT

The facade of a building, besides being an aesthetic element, is the first protective barrier against physical and chemical agents, making it susceptible to the presence of pathological manifestations. The difficulty in detecting these manifestations makes preventive maintenance difficult, and may cause deterioration of the coating. Conventional inspection techniques are often insufficient to detect these anomalies, so the infrared thermography comes as a key agent for this detection, but depending on the condition where the inspection is performed the technique is not able to generate good assertiveness. In order to improve it, this study analyzed thermographic parameters in inspections of facades with ceramic tiles, seeking more assertive methods and enabling rapid inspection and integrity analysis of construction systems of facades clad with ceramic tiles. For this, rectangular specimens were made with ceramic tiles of different colors, defects of different sizes were introduced in the center of the pieces simulating the lack of adhesive mortar and a thermographic analysis was done in the heating and cooling cycles, using thermographs of different resolutions, varying distances and viewing angles during the extraction. At the end it was possible to notice that the defect region presented a lower temperature than the surrounding area, that for larger viewing angles, the thermograms obtained lost precision, but for small angles the results were still satisfactory, and that the adjustment of the temperature scale allowed a better visualization of defects. Therefore, the practicality and ease that the thermographic inspection technique brings could be assertive with the refinement of the parameters.

Keywords: facades; ceramic coating; infrared thermography; inspection parameters

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Deslocamento de revestimento cerâmico do sétimo andar	2
Figura 2. Interdição da entrada do prédio pela Defesa Civil por segurança	3
Figura 3. Diferenças de técnicas termográficas: ativa (a) e passiva (b)	4
Figura 4. Metodologia experimental adotada	5
Figura 5. Detalhamento do projeto de suporte dos corpos de prova	6
Figura 6. Suporte executado e com a presença do corpo de prova e lâmpadas infravermelhas	6
Figura 7. Execução do corpo de prova com defeito central (a), Corpo de prova finalizado (b)	7
Figura 8. Esquema de posicionamento para a extração dos termogramas.....	7
Figura 9. Placa com três cores de pastilhas e região central pintada de preto com emissividade conhecida	8
Figura 10. Esquema representativo do fluxo de calor no revestimento de fachadas, em regiões com e sem defeito, no ciclo de resfriamento	9
Figura 11. Curva Temperatura x Tempo (a) Termograma em t=5 minutos, com indicação dos pontos com (CD) e sem (SD) defeito (b) placa verde com defeito central de 10 cm, posicionada a 1 metro da câmera termográfica e perpendicular a ela	9
Figura 12. Curva da diferença da temperatura entre as regiões com e sem defeito em função do tempo ($\Delta T \times t$)	10
Figura 13. Braço do operador à direita (a), braço do operador à esquerda (b) e corpo do operador abaixo do centro da placa (c)	11
Figura 14. Placa a 0° (a) Placa a 30° (b)	11
Figura 15. Esquema de corte transversal da placa com defeito de 15 cm, com leve afundamento das pastilhas cerâmicas no centro do defeito	12
Figura 16. Termogramas extraídos com ângulo de 0°. Distância variando em 5 m (a), 7,5 m (b) e 10 m (c)	14
Figura 17. Termogramas extraídos com ângulo de 30°. Distância variando em 5 m (a), 7,5 m (b) e 10 m (c)	14
Figura 18. Termogramas extraídos com ângulo de 60°. Distância variando em 5 m (a), 7,5 m (b) e 10 m (c)	14
Figura 19. Comparação entre imagens do mesmo termograma com escala de temperatura diferentes: 20°C a 45°C (a) e 29°C a 38°C (b)	15

Figura 20. Modelo T640, $\hat{\text{ângulo}}=0^\circ$ (a) modelo T640, $\hat{\text{ângulo}}=30^\circ$ (b) modelo T640, $\hat{\text{ângulo}}=60^\circ$ (c) modelo E40, $\hat{\text{ângulo}}=0^\circ$ (d) modelo E40, $\hat{\text{ângulo}}=30^\circ$ (e) modelo E40, $\hat{\text{ângulo}}=60^\circ$ (f)16

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Comparativo entre as câmeras termográficas utilizadas neste trabalho	5
Tabela 2. Tabela com valores da Análise de Variância	12
Tabela 3. Teste Tukey para fator TAMANHO	12
Tabela 4. Teste Tukey para fator ÂNGULO	13
Tabela 5. Tabela com valores da Análise de Variância incluindo o fator COR.....	13

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	2
2. MATERIAIS E MÉTODOS	4
Equipamentos e softwares utilizados	5
Câmeras termográficas	5
Termo-higrômetro	5
Fontes de calor e suporte metálico	6
Confecção dos corpos de prova	7
Procedimento	7
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	8
Ajuste da emissividade (ϵ)	8
Comportamento do fluxo de calor	8
Comportamento de DT	9
Influência da reflexão	10
Análise de variância	11
Limitações físicas para detecção de defeitos	13
Posicionamento para detecção dos defeitos	14
Controle da escala de temperatura	15
Comparação entre câmeras termográficas	15
4. CONCLUSÃO	16
5. REFERÊNCIAS	18

O seguinte trabalho é apresentado em formato de artigo e submetido em 04/05/2023 na revista PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção, vinculada ao Departamento de Arquitetura e Construção da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP.

A saber, a PARC tem como objetivo colaborar com a divulgação de pesquisas acadêmicas relacionadas à arquitetura e urbanismo contemporâneos, à construção e à integração destas áreas. Atua prioritariamente nas seguintes áreas: Métodos de projeto, Teoria da arquitetura e Tecnologia da construção, sendo este artigo voltado para a área de Tecnologia da Construção.

Atualmente a revista possui Qualis A2 para Engenharias I.



JOANA SUEVENY BARBOSA BATISTA <joanasueveny@academico.ufs.br>

[PARC] Agradecimento pela submissão

1 mensagem

Regina Coeli Ruschel via Portal de Periódicos Eletrônicos Científicos4 de maio de 2023 às
00:41

<ppecunicamp@gmail.com>

Responder a: Regina Coeli Ruschel <parc@fec.unicamp.br>

Para: Joana Sueveny Barbosa Batista <joanasueveny@academico.ufs.br>

Joana Sueveny Barbosa Batista:

Obrigado por submeter o manuscrito, "PARÂMETROS TERMOGRÁFICOS PARA INSPEÇÃO DE FACHADAS DE REVESTIMENTO CERÂMICO." ao periódico PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção. Com o sistema de gerenciamento de periódicos on-line que estamos usando, você poderá acompanhar seu progresso através do processo editorial efetuando login no site do periódico:

URL da Submissão: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/authorDashboard/submission/8673346>

Usuário: joanasueveny

Se você tiver alguma dúvida, entre em contato conosco. Agradecemos por considerar este periódico para publicar o seu trabalho.

Regina Coeli Ruschel

PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção

PARC Research in Architecture and Building Construction

<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc>

PARÂMETROS TERMOGRÁFICOS PARA INSPEÇÃO DE FACHADAS DE REVESTIMENTO CERÂMICO.

THERMOGRAPHIC PARAMETER FOR CERAMIC COATED FACADES INSPECTION.

Resumo

A fachada de uma edificação, além de um elemento estético, é a primeira barreira protetora contra agentes físicos e químicos, tornando-se suscetível a presença de manifestações patológicas. A dificuldade de detecção dessas manifestações dificulta a manutenção preventiva, podendo causar deterioração do revestimento. Técnicas convencionais de inspeção muitas vezes são insuficientes para detectar essas anomalias, sendo assim a termografia infravermelha serve como um agente fundamental para essa detecção, porém a depender da condição onde se realiza a inspeção a técnica não é capaz de gerar boa assertividade. A fim de melhorá-la, este trabalho analisou parâmetros termográficos em inspeções de fachadas com revestimento cerâmico buscando métodos mais assertivos e possibilitando a rápida inspeção e análise de integridade de sistemas construtivos de fachadas revestidas com placas cerâmicas. Para isto, foram confeccionados corpos de provas retangulares revestidos com pastilhas cerâmicas de diferentes cores, introduzidos defeitos de diferentes tamanhos no centro das peças simulando a falta de argamassa colante e feita uma análise termográfica nos ciclos de aquecimento e resfriamento, utilizando termógrafos de resoluções diferentes, variando distâncias e ângulos de visão durante a extração. Ao fim foi possível perceber que a região com defeito apresentou temperatura menor que o entorno, que para maiores ângulos de visão, os termogramas obtidos perderam precisão, porém para ângulos pequenos os resultados continuaram sendo satisfatórios, e que o ajuste da escala de temperatura possibilitou melhor visualização de defeitos. Logo, a praticidade e facilidade que a técnica de inspeção termográfica oferece pôde ser assertiva com o refinamento dos parâmetros.

Palavras-chave: Fachadas. Revestimento cerâmico. Termografia infravermelha. Parâmetros de inspeção.

Abstract

The facade of a building, in addition to being an aesthetic element, is the first protective barrier against physical and chemical agents, becoming susceptible to the presence of pathological manifestations. The difficulty in detecting these manifestations hinders preventive maintenance, which can cause deterioration of the coating. Conventional inspection techniques are often insufficient to detect these anomalies. Therefore, infrared thermography becomes a fundamental tool for detection, but depending on the condition in which the inspection is carried out, the technique may not be able to generate good accuracy. To improve this, this study analyzed thermographic parameters in inspections of facades with ceramic coating, seeking more accurate methods and enabling rapid inspection and analysis of the integrity of constructive systems of facades covered with ceramic tiles. To this end, rectangular test specimens covered with ceramic tiles of different colors were made, defects of different sizes were introduced in the center of the pieces simulating the lack of adhesive mortar, and thermographic analysis was carried out during the heating and cooling cycles, using thermographs of different resolutions, varying distances, and angles of view during the extraction of thermograms. In the end, it was possible to perceive that the region with defects presented a lower temperature than the surrounding area, that for larger angles of view, the obtained thermograms lost precision, but for small angles, the results remained satisfactory, and that adjusting the temperature scale enabled a better visualization of defects. Therefore, the practicality and ease that the thermographic inspection technique brings could be assertive with the refinement of the parameters.

Keywords: Facades. Ceramic coating. Infrared thermography. Inspection parameters.

Introdução

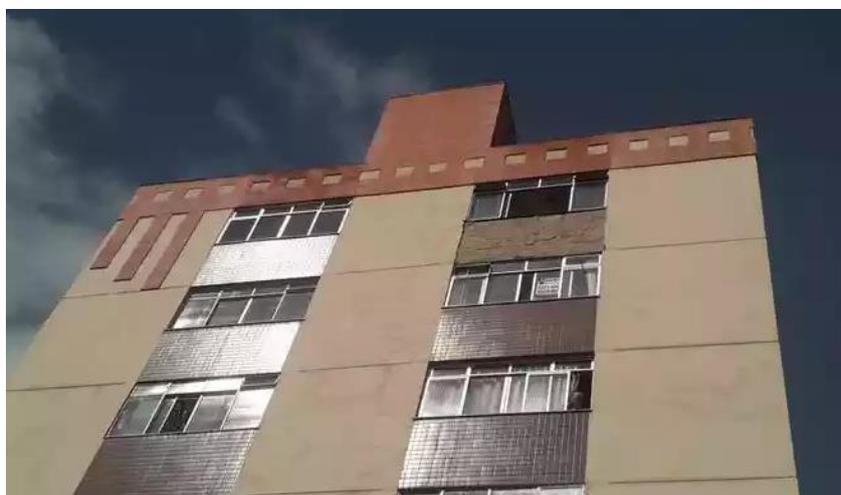
A fachada é o cartão postal de uma edificação, além de ser o elemento ao qual se tem o primeiro contato e que expressa características socioeconômicas, culturais, psicológicas e sociais de seus habitantes. Além da função estética, ela é a primeira barreira protetora da edificação contra as condições adversas do exterior, proporcionando também conforto higrotérmico, acústico e segurança aos seus usuários. Dentre os principais efeitos que podem provocar manifestações patológicas nas fachadas pode-se incluir também radiação solar, chuva, umidade e troca de calor e vapor entre a superfície e o ambiente (SANTOS, 2018).

A fachada contribui significativamente para o desempenho do edifício, pois deve suportar e responder satisfatoriamente aos agentes agressores externos ao longo do tempo, tanto o elemento fachada quanto os materiais utilizados em sua construção, pois estes são os principais responsáveis pelo desempenho apresentado frente aos agentes externos, devendo suportar diversos esforços e oferecer estanqueidade contra água e gases. O desempenho pode ser entendido como comportamento ao usar um edifício residencial e os sistemas que o compõem. (SANTOS, 2018).

A NBR 15575-2 2013, Norma de Desempenho, estabelece diversos critérios quanto à durabilidade de elementos estruturais localizados em fachadas. Estes são medidos por meio da energia de impacto do corpo mole, logo a fachada deve obter determinado desempenho quanto a ocorrência de fissuras, trincas, destacamentos e ruínas. Silva (2020) afirma que, a manutenção e a garantia de integridade da fachada tornam-se os fatores mais importantes, principalmente em prédios públicos ou com funções sociais devido ao grande fluxo de usuários. O que agrava ainda mais a situação e não garante a durabilidade desse elemento é a ausência de uma cultura de manutenção preventiva principalmente em obras públicas no Brasil, o que resulta em grandes prejuízos sociais, financeiros e até mesmo fatais para toda a população.

Nas Figuras 1 e 2 é possível observar o caso de um acidente ocorrido no Estado de Minas Gerais, onde houve a queda de parte do revestimento cerâmico do sétimo andar da fachada que resultou em prejuízos materiais. A ocorrência de um acidente semelhante nos diversos prédios existentes no Brasil pode ter consequências incalculáveis, tanto em relação ao prejuízo no patrimônio, quanto ao risco à vida. Neste sentido, a adoção de práticas preventivas deve ser um compromisso imediato para Gestores, Servidores e Pesquisadores.

Figura 1 – Deslocamento de revestimento cerâmico do sétimo andar.



Fonte: Silva (2021).

Figura 2- Interdição da entrada do prédio pela Defesa Civil por segurança.



Fonte: Silva (2021).

A falta de manutenção em fachadas não é um fato isolado no Brasil, segundo Chew e Gan (2022) em Singapura, 74% dos edifícios possuem mais de 20 anos e a cidade relatou mais de 90 acidentes de quedas de elementos de fachadas nos últimos 3 anos (2020-2022). Ainda segundo os autores, estima-se que ocorram cada vez mais acidentes e estes deixem de ser problemas pontuais e passem a ser problemas de segurança pública, o que faz do monitoramento e inspeção da saúde da estrutura um fator importante e, do aprimoramento das técnicas de inspeção, fator primordial.

Em seu estudo de caso, Paiva (2017) destaca que a presença de manifestações patológicas no plano de fachada com revestimento cerâmico muitas vezes não pode ser vista a olho nu e que o deslocamento, neste caso ocorreu por falhas na execução do processo, pois algumas áreas não apresentavam argamassa, indicando assentamento incorreto das placas, além de regiões com espalhamento da argamassa em um sentido único de aplicação.

Notoriamente, a manutenção mesmo que preventiva é um processo demorado e pode possuir custos elevados a depender da fachada que se deseja inspecionar e o método de inspeção utilizado. Em trabalho utilizando Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), Lima et al. (2020, p. 01) afirma:

Alguns dos principais motivos que influenciam diretamente na inserção de novas formas de inspeções em fachadas de edifícios, se dão pela necessidade em minimizar a logística, por métodos tradicionais, que envolvem todo o contexto com a locação de andaimes – devido à altura dos edifícios –, bem como a montagem e desmontagem destes que demandam além de tempo e custo com equipes. Vale destacar que os andaimes são equipamentos que demandam uma quantidade considerável de matéria-prima para sua fabricação, em contrapartida com a utilização do VANT, apesar de ainda haver a necessidade da utilização de matéria-prima – principalmente se tratando da bateria –, medidas sustentáveis podem ser tomadas para os procedimentos de fabricação e descarte de material, como exemplo a reutilização de peças e acessórios de outros equipamentos.

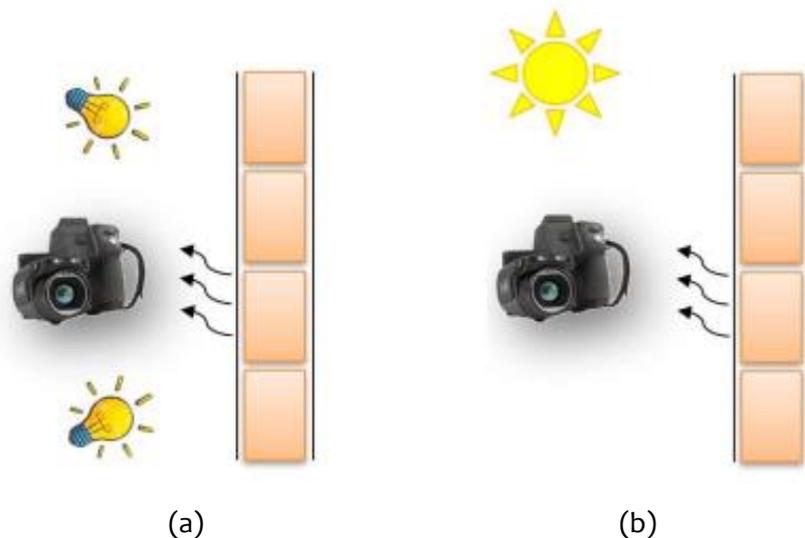
Em contrapartida, a termografia infravermelha se dedica à aquisição e ao processamento de informações térmicas por meio do emprego de dispositivos de medição sem contato e em tempo real. Essa técnica é empregada, com certa facilidade e agilidade para a obtenção dos dados de temperatura em uma imagem, permitindo a

análise no objeto alvo e sua vizinhança, bem como o monitoramento do elemento investigado (MALDAGUE, 2001).

A utilização da termografia infravermelha (ensaio não destrutivo) é aplicada por permitir o monitoramento da distribuição de temperaturas de determinada superfície à medida que o calor se propaga no material e à medida que evolui no tempo. As manifestações patológicas são avaliadas considerando-se a amplitude de temperatura de anomalias térmicas fora do padrão de distribuição esperado (VAVILOV, 2014). Sua abordagem é dada pelo estímulo térmico da região, sendo ele de forma ativa ou passiva (MALDAGUE, 2001).

A termografia ativa se dá pela utilização de estímulo térmico artificial e controlado, e geralmente é mais utilizada em estudos laboratoriais (BAUER et al., 2016), já na abordagem passiva, a incidência solar é a fonte de calor e é utilizada de forma que as diferenças de temperaturas consigam ser captadas em uma extensa área pelo termógrafo. Além disso, é possível também uma abordagem quantitativa na termografia passiva analisando diferentes condições de fluxo térmico na fachada (BARREIRA, ALMEIDA e MOREIRA (2017); MILHOMEM, BAUER e AIDAR, (2018)). A Figura 3 exemplifica a abordagem térmica da termografia infravermelha ativa e passiva.

Figura 3- Diferenças de técnicas termográficas: ativa (a) e passiva (b).



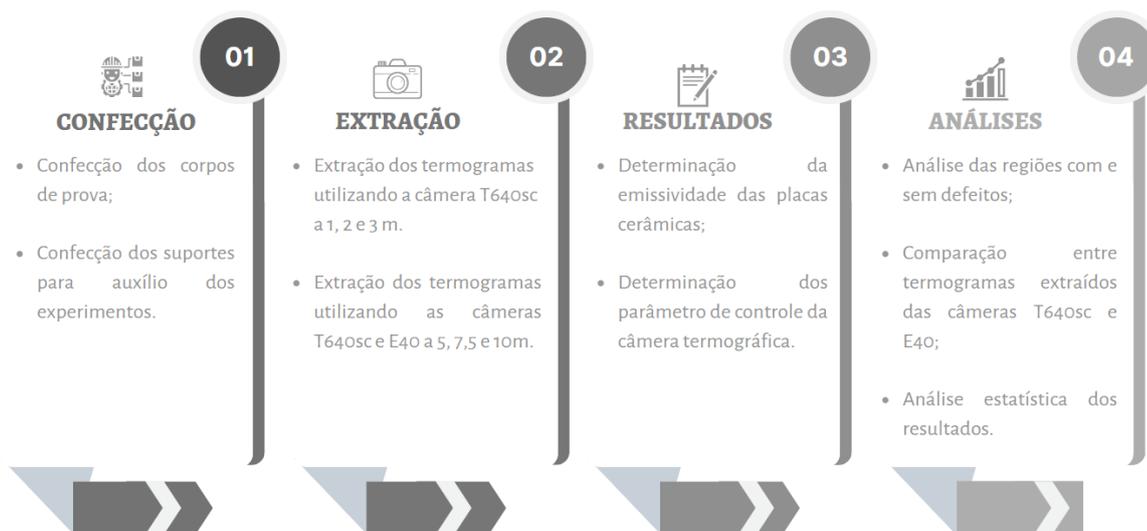
Fonte: Autores.

Portanto, o objetivo principal desse trabalho foi analisar parâmetros termográficos em inspeções de fachadas com revestimento cerâmico a fim de garantir maior assertividade na aplicação da técnica, possibilitar uma inspeção mais rápida e eficiente como forma de mitigar situações de risco e garantir a integridade do sistema construtivo empregado.

Materiais e métodos

Conforme a Figura 4, foram adotadas as seguintes etapas na metodologia experimental:

Figura 4 – Metodologia experimental adotada.



Fonte: Autores.

Equipamentos e softwares utilizados:

Toda a infraestrutura utilizada estava disponível no Laboratório de Análise de Integridade Estrutural (LAIES) do Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DCEM) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), onde foram desenvolvidos os experimentos.

Câmeras termográficas

Foram utilizadas duas câmeras termográficas da marca FLIR, modelos T640 Sc e E40, com o software Flir Tools +. A utilização de dois equipamentos distintos possibilitou a comparação entre as imagens térmicas obtidas, diante das mesmas condições de utilização. A Tabela 1 apresenta as características de cada câmera, conforme seus respectivos manuais técnicos.

Tabela 1 – Comparativo entre as câmeras termográficas utilizadas neste trabalho.

Característica	Descrição	
	Flir T640 SC	Flir E40
Modelo	Flir T640 SC	Flir E40
Faixa de medição	-40 °C a +200 °C	-20 °C a +120 °C
Resolução	640 x 480	160 x 120
Faixa Espectral	7,5 a 13 µm	7,5 a 13 µm
Exatidão	+/- 1 °C	+/- 1 °C
Sensibilidade Térmica	< 0,02 °C a 30 °C	< 0,07 °C a 30 °C
Frequência de imagens	30 Hz	60 Hz
Zoom digital	1 a 8 vezes	2 vezes
FOV	25º x 19º	25º x 19º
IFOV	0,68 mrad	2,72 mrad

Fonte: User's manual FLIR T6xx series.

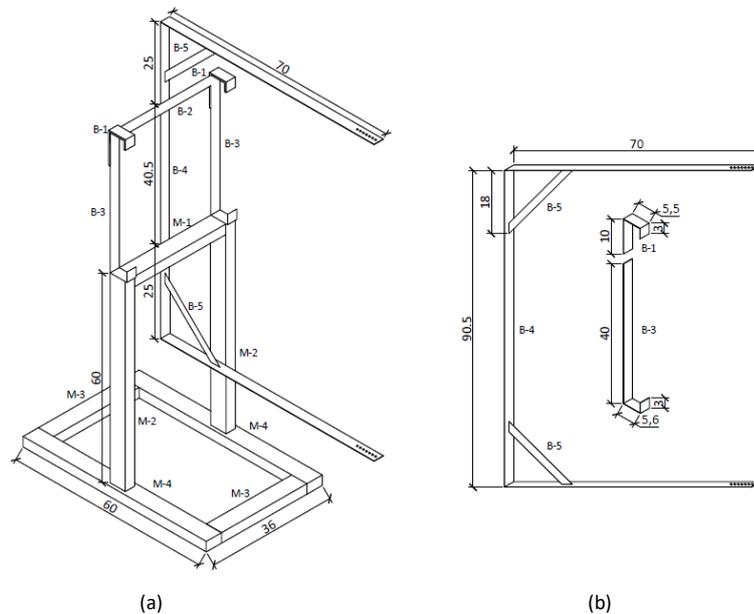
Termo-higrômetro

Foi utilizado o termo-higrômetro de marca TESTO e modelo 605-i para aferição da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar. Tais dados foram coletados pois um dos parâmetros de entrada necessários para a utilização da câmera termográfica é a temperatura do local onde a captura está sendo feita antecedendo a extração dos termogramas, a fim de se obter valores corrigidos de temperatura superficial nas imagens térmicas.

Fontes de calor e suporte metálico

Foram utilizadas duas lâmpadas infravermelhas com 250 W de potência cada, acopladas em luminárias que foram fixadas em suporte metálico desenvolvido e fabricado durante esta pesquisa. O suporte especial forneceu melhores condições de fixação para os corpos de prova e para o sistema de aquecimento. Seu protótipo pode ser visto na Figura 5.

Figura 5- Detalhamento do projeto de suporte dos corpos de prova.



Fonte: Autores.

Para a execução do suporte foram utilizadas barras de metalon com dimensões transversais de 50 x 20 milímetros (para as peças M1, M2, M3 e M4) e barras chatas com dimensões transversais de $\frac{1}{2}$ " x $\frac{1}{4}$ " (para as peças B1, B2, B3, B4 e B5), conforme mostra a Figura 6.

Figura 6- Suporte executado e com a presença do corpo de prova e lâmpadas infravermelhas.



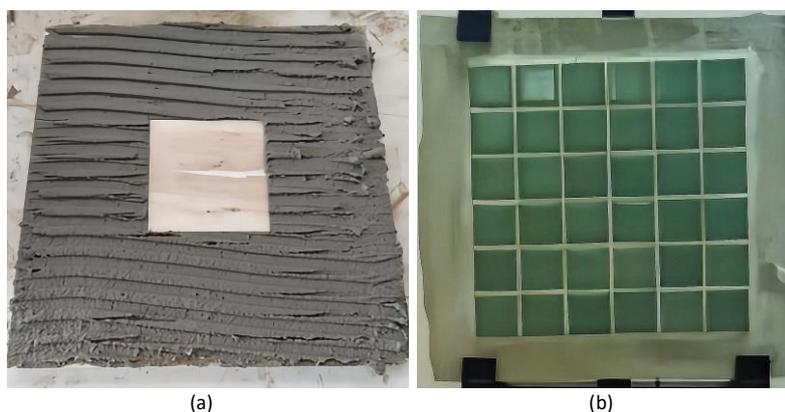
Fonte: Autores.

Confecção dos corpos de prova:

Foram moldados corpos de provas em argamassa cimentícia em formato de placas retangulares com medidas padrão de 30cm x 30cm x 3,5cm a fim de simular a parede onde foram assentadas pastilhas cerâmicas de diferentes cores (branca, cinza e verde) para testar a emissividade. Durante o assentamento das pastilhas, a área central foi protegida com uma cerâmica no tamanho do defeito que se desejava inserir e, após a aplicação da argamassa colante na superfície, essa cerâmica foi retirada de forma a não haver argamassa colante (tipo AC-II) entre a placa e as pastilhas nesse local, simulando assim uma falha de aderência, conforme Figuras 7 (a) e (b). As dimensões dos defeitos simulados foram 5cm, 10cm e 15cm.

Após a secagem, foi aplicado o rejunte para acabamento.

Figura 7- Execução do corpo de prova com defeito central (a), Corpo de prova finalizado (b).



Fonte: Autores.

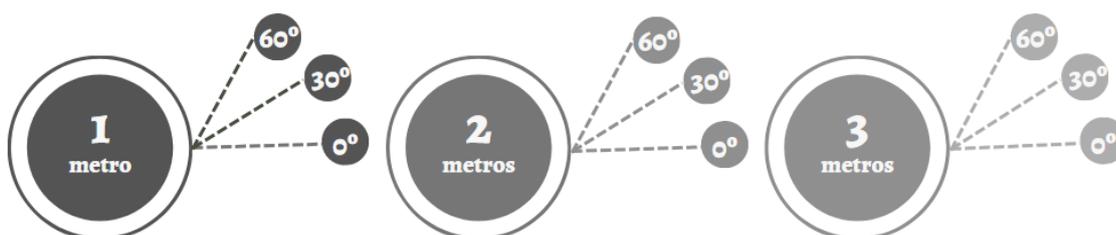
Procedimento

As amostras foram aquecidas durante uma hora utilizando lâmpadas infravermelhas de 250W até atingir a temperatura de 50 °C. Em seguida, foram extraídos termogramas no ciclo de resfriamento com o intuito de observar o comportamento térmico das regiões íntegras e com falha.

Foram variadas as distâncias de análise (distância entre a placa e a câmara termográfica) em 1, 5, 7.5 e 10 metros em 0°, 30° e 60° na direção horizontal de forma que o termógrafo permanecia a 0° e o suporte era rotacionado horizontalmente a fim de variar os ângulos em 0°, 30° e 60°.

Foram variados os ângulos de análise em 0°, 30° e 60° na direção horizontal para três distâncias distintas: 1, 2 e 3 metros (Figura 8). Os resultados, permitiram a elaboração de um procedimento de inspeção termográfica, aplicável para a detecção de descolamento cerâmico em fachadas.

Figura 8- Esquema de posicionamento para a extração dos termogramas.



Fonte: Autores.

No início dos ensaios as placas foram aquecidas durante duas horas com duas lâmpadas infravermelhas de 250W, tempo suficiente para o aquecimento ser o mais uniforme possível e atingir uma temperatura mínima de 40°, temperatura geralmente alcançada em fachadas no final do período de incidência solar. Durante o ciclo de resfriamento foram extraídos termogramas a cada cinco minutos, durante duas horas, tempo suficiente para que a diferença de temperatura entre a região do defeito e a região íntegra fosse mínima ou nula ($T=0$). Variou-se a distância (1m, 2m e 3m) e os ângulos de visão (00°, 30° e 60°), totalizando 9 posições para cada placa e 24 termogramas para cada uma dessas posições.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ajuste da emissividade (ϵ)

Seguindo recomendações da American Society for Testing and Materials (ASTM) em ASTM E 1993 – “Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers” foi moldado um corpo de prova retangular, no qual foram assentadas pastilhas de três cores distintas (cinza, verde e branca). Duas pastilhas centrais foram pintadas de preto com tinta spray preto fosco a fim de utilizar essa região preta como padrão por já ter uma emissividade conhecida ($\epsilon = 0,97$) conforme Figura 9.

Figura 9- Placa com três cores de pastilhas e região central pintada de preto com emissividade conhecida.



Fonte: Autores.

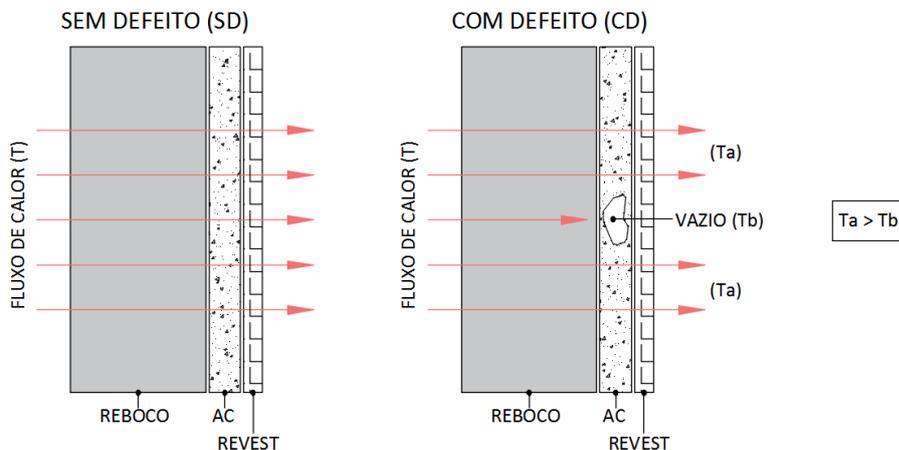
A placa foi aquecida por duas horas utilizando o suporte confeccionado e, após o aquecimento, foi extraído o termograma. Após a extração, utilizou-se o software Flir tool+, onde buscou-se alterar a emissividade das regiões em cinza, verde e branca a fim de obter o mesmo valor de temperatura obtido da região em preto com emissividade já conhecida, sendo encontrados os seguintes valores: $\epsilon = 0,76$ para a cor cinza; $\epsilon = 0,85$ para a cor verde e $\epsilon = 0,73$ para a cor branca.

Comportamento do fluxo de calor

Sabendo-se que a velocidade do fluxo de calor em um meio depende das propriedades térmicas do seu material (SANTOS, 2006) e levando em consideração que a fachada de uma edificação apresenta camadas de diferentes materiais sobrepostos, foi direcionada atenção ao sistema de revestimento funcionando como uma sobreposição de camadas na fachada. Quando uma fachada é aquecida pelo sol, o fluxo de calor é orientado de fora para dentro da edificação e chamamos esse fenômeno de ciclo de aquecimento. Já quando o fenômeno acontece ao contrário, e flui de dentro para fora da edificação, chamamos de ciclo de resfriamento. Quando há manifestação patológica do tipo

descolamento de revestimento cerâmico, a transferência de calor nesta região é retardada, uma vez que a ausência de continuidade entre as camadas funciona como resistência térmica (Figura 10).

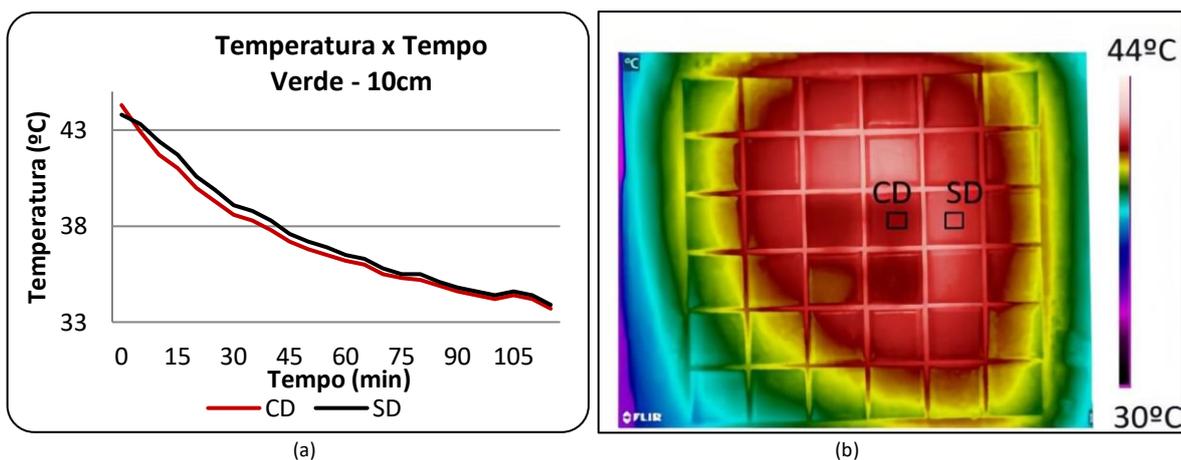
Figura 10- Esquema representativo do fluxo de calor no revestimento de fachadas, em regiões com e sem defeito, no ciclo de resfriamento.



Fonte: Autores.

Durante o resfriamento da fachada, o vazio impede que o calor alcance a superfície do revestimento cerâmico com a mesma velocidade que acontece nas regiões íntegras, o que faz a região defeituosa apresentar temperaturas inferiores ao seu entorno. Esse comportamento pode ser observado na Figura 11 através das curvas de temperatura obtidas nas regiões com (CD) e sem defeito (SD) em uma placa verde com defeito central inserido de 10cm e posicionada a 1 metro de distância da câmera termográfica com ângulo de 0°.

Figura 11- Curva Temperatura x Tempo (a) Termograma em t=5 minutos, com indicação dos pontos com (CD) e sem (SD) defeito (b) placa verde com defeito central de 10 cm, posicionada a 1 metro da câmera termográfica e perpendicular a ela.



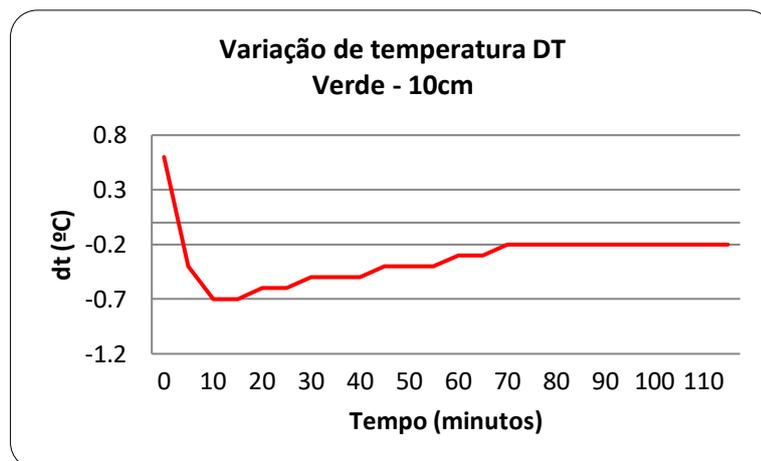
Fonte: Autores.

Comportamento de DT

Foi calculada a variação de temperatura entre as regiões com (CD) e sem defeito (SD), denominada Delta T ($DT^{\circ}C$). Tais valores foram obtidos subtraindo-se o valor da temperatura da região íntegra do valor da região defeituosa ($=CD-SD$). A curva DT x Tempo está apresentada na Figura 12.

Notou-se que os maiores valores de DT foram encontrados entre 10 e 30 minutos, o que torna este intervalo de tempo o mais adequado para a detecção destes defeitos, uma vez que sua identificação acontece através do contraste entre as áreas íntegras e defeituosas. Comportamento semelhante foi apresentado por Freitas et al (2014), obtido por simulação numérica, no ciclo de resfriamento (entre 18h e 8h), deixando evidente os maiores valores de DT para o início deste ciclo (entre 18h e 23h). Nesta condição, conforme apresentado na literatura, (Moresco et al., 2015; Freitas, 2014; Lourenço et al., 2017) os melhores momentos para aquisição dos termogramas de fachada são o início do ciclo de aquecimento (nascente) ou o início do ciclo de resfriamento (poente).

Figura 12- Curva da diferença da temperatura entre as regiões com e sem defeito em função do tempo ($\Delta T \times t$).



Fonte: Autores.

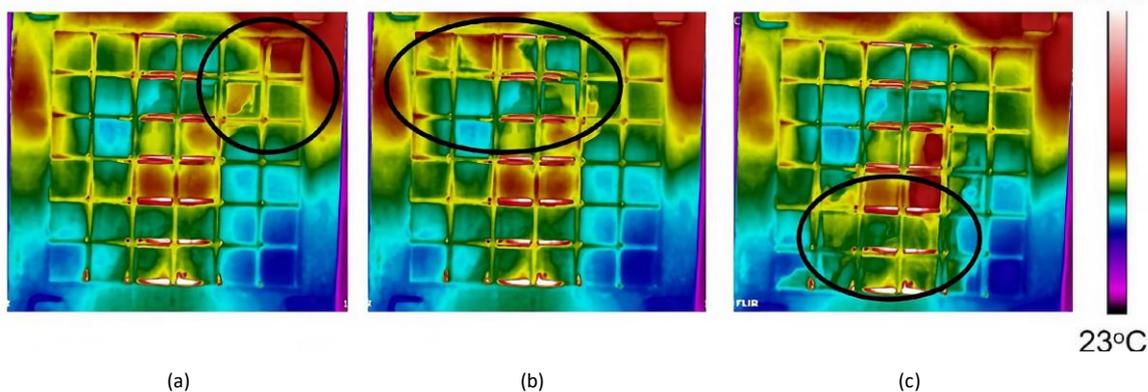
A Figura 12 apresenta o comportamento do DT em função do tempo para a placa verde com defeito de 10 cm, posicionada a 1 metro da câmera termográfica e perpendicular a ela, porém o comportamento das outras placas e posições seguem o mesmo padrão apresentado.

Influência da reflexão

BARREIRA et al (2016) chamaram a atenção em seu trabalho para fontes de calor próximas à região de estudo pela possibilidade de interferência nos valores de temperatura superficial obtidos, onde foram detectadas imprecisões nas medidas da temperatura em materiais com baixa emissividade e alta reflectância ao utilizar equipamentos com infravermelho.

Durante a execução dos ensaios, foi identificado o problema de reflexão da câmera termográfica e do operador quando a fonte de calor estava próxima ao corpo de prova, principalmente nas placas com emissividades (Σ) mais baixas (placa cinza $\Sigma=0,76$ e branca $\Sigma=0,73$), conforme ilustra a Figura 13. As regiões em destaque nos termogramas indicam as interferências de parte do corpo do operador no momento da captação da imagem, ao acionar a câmera termográfica, apresentando temperatura superior em relação à sua vizinhança, o que pode ser facilmente confundido com anomalias existentes não identificadas por inspeção visual.

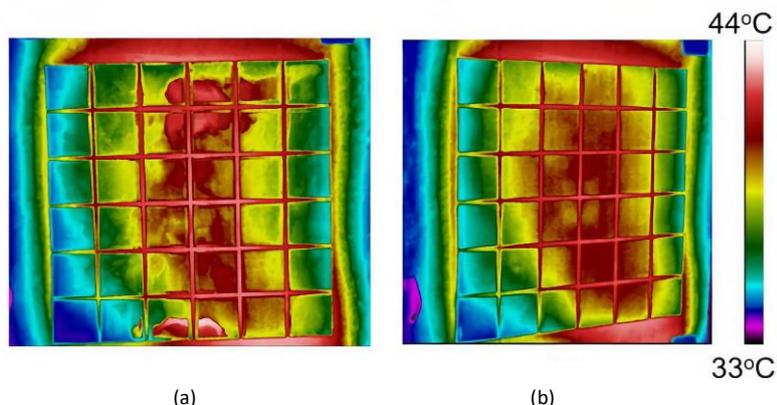
Figura 13- Braço do operador à direita (a), braço do operador à esquerda (b) e corpo do operador abaixo do centro da placa (c). 37°C



Fonte: Autores.

Porém, em relação a detecção de anomalias em revestimentos cerâmicos aderidos utilizando termografia, Lourenço et al (2017) destacaram que a extração dos termogramas deve ser realizada com a menor distância possível da superfície em estudo, para que a temperatura de regiões vizinhas não interfira nas imagens térmicas. Baseado na ideia exposta no trabalho de Li et al (2000), a influência da reflexão foi suprimida a fim de eliminar a incidência direta da fonte de calor na superfície, modificando o ângulo de visão entre a câmera e as placas (Figura 14), melhorando a sensibilidade da técnica.

Figura 14- Placa a 0° (a) Placa a 30° (b).



Fonte: Autores.

Já que o objeto de estudo nem sempre contará com as condições de contorno ideais, no que tange ao posicionamento ideal para inspeções por termografia, o ajuste da distância e o ângulo de visão passam a ser parâmetros essenciais para eliminar a interferência de reflexão de fontes de calor próximas. Outra opção para evitar a reflexão causada pelo operador na superfície analisada é a utilização do acionamento remoto, disponível em alguns modelos de câmeras termográficas. Porém, é ainda necessária atenção para a possibilidade de reflexão causada pelo próprio equipamento.

Análise de variância

A fim de avaliar a influência dos fatores tamanho, distância, ângulo e cor do revestimento, foi utilizada a análise de variância (ANOVA) nos resultados obtidos, onde de início foi testado somente a variância com tamanho, distância e ângulo, e logo depois adicionado o fator de cor do revestimento para prosseguir com as análises.

Como dados de entrada, foram utilizadas as médias das variações de tempo dos termogramas extraídos entre os instantes $t=10$ min e $t=30$ min. A primeira análise apresentou influência significativa para os fatores Tamanho e Ângulo, com valor P igual a 2×10^{-16} e $7,4 \times 10^{-3}$, respectivamente. Já o fator distância não apresentou influência significativa nas variáveis de resposta, o que pode ser explicado pelo fato de, apesar da diminuição da temperatura ter ocorrido com o aumento da distância, as áreas com e sem defeito apresentaram diminuição em valores semelhantes (diferença máxima entre eles de $0,1^\circ\text{C}$), não alterando significativamente o valor de DT . A tabela abaixo mostra os valores obtidos ao final da análise.

Tabela 2: Tabela com valores da Análise de Variância.

Fatores	F crítico	F calculado	Valor P	
Tamanho	3,1107	68,507	2×10^{-16}	*
Distância	3,1107	2,617	0,0747	!
Ângulo	3,1107	4,984	0,0074	*

Fonte: Autores.

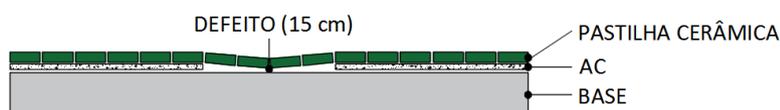
Analisando agora os resultados obtidos no teste Tukey para o fator Tamanho (Tabela 3), é possível perceber que a única combinação a apresentar valor de $P > 0,05$ foi a combinação 2. Esperava-se que esta combinação seguisse o padrão apresentado para as combinações 1 e 3, pois o volume de ar contido no vazio é diretamente proporcional à resistência que ele oferece ao fluxo de calor. Porém, esse resultado, pôde ser explicado. Após a análise percebeu-se que, na região central houve um leve afundamento nas pastilhas cerâmicas dos corpos de prova com defeitos de 15 cm (Figura 15), o que fez com que o revestimento cerâmico entrasse em contato com a base. Esse contato possibilitou o fluxo de calor sem a interferência da resistência do ar, modificando o comportamento esperado.

Tabela 3: Teste Tukey para fator TAMANHO.

Combinação	Variáveis (cm)	Valor P	
1	10-5	0,0000	*
2	15-5	0,1406	!
3	15-10	0,0000	*

Fonte: Autores.

Figura 15- Esquema de corte transversal da placa com defeito de 15 cm, com leve afundamento das pastilhas cerâmicas no centro do defeito.



Fonte: Autores.

Analisando os resultados do teste Tukey para o fator Ângulo (Tabela 6), é possível notar uma diferença significativa na primeira combinação, onde o valor de P apareceu bem acima do limite ($P < 0,05$), enquanto as outras combinações apresentaram valor de P abaixo de $0,05$, o que de fato condiz com a literatura, pois o aumento do ângulo de visão altera a leitura da temperatura superficial. De acordo com LITWA (2010) para ângulos acima de 50° os valores de temperatura não apresentam confiabilidade suficiente

quando utilizadas câmeras termográficas e ainda, segundo MILHOMEM *et al.* (2018) a temperatura superficial diminui com o aumento do ângulo de visão, o que explica a diferença significativa nas variáveis de resposta do ângulo de 60° em relação aos outros ângulos, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Teste Tukey para fator ÂNGULO.

Combinação	Variáveis	Valor P	
1	30°-0°	0,9988	!
2	60°-0°	0,0192	*
3	60°-30°	0,0175	*

Fonte: Autores.

Em seu trabalho, Lourenço *et al.* (2017), mostra que revestimentos com maior absorvância produzem uma emissividade maior, o que faz com que a variação de temperatura nos testes também seja maior, o que de fato pode ter contribuído para o resultado apresentado, já que o revestimento cerâmico de cor verde tem maior valor de emissividade em comparação com os de cor cinza e branca. A tabela 5 mostra o resultado das análises quando o fator cor é inserido.

Tabela 5: Tabela com valores da Análise de Variância incluindo o fator COR.

Fatores	F crítico	F calculado	Valor P	
Cor	3,033	5,593	0,0042	*
Tamanho	3,033	69,672	2x10 ⁻¹⁶	*
Distância	3,033	2,625	0,0746	!
Ângulo	3,033	5,033	0,0072	*

Fonte: Autores.

Como a cor é uma característica inerente à fachada no momento da inspeção e em tese não será modificada, salvo situações em que haja a retirada e substituição do revestimento, optou-se por realizar a primeira análise (Tabela 2) dos valores de DT sem restrições quanto às diferentes cores utilizadas e o fator cor só seria indicado em situações nas quais a detecção do defeito de descolamento poderia se tornar mais nítida, devido ao maior contraste térmico.

Limitações físicas para detecção de defeitos

Além dos parâmetros e fatores já estudados neste trabalho, existem ainda limitações físicas que devem ser levadas em conta na hora de inspecionar uma fachada em busca de descolamentos de revestimentos cerâmicos. A falta de espaço livre suficiente ao redor da edificação para o melhor posicionamento do equipamento é uma dessas limitações.

Além disso, existe a limitação do próprio equipamento que será utilizado para a inspeção. Por serem equipamentos com alto custo, a probabilidade de existirem vários disponíveis para escolha no momento da utilização é muito baixa, portanto, as características do equipamento devem ser conhecidas, assim como respeitadas suas limitações.

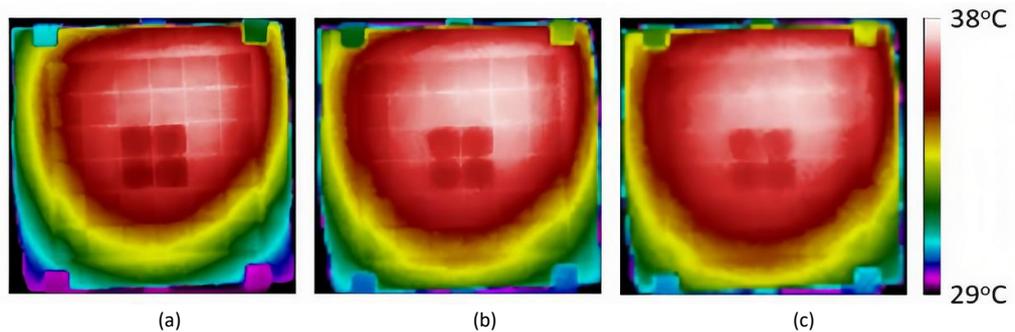
Posicionamento para detecção dos defeitos

O melhor posicionamento da câmera termográfica em relação à área analisada nem sempre é possível quando se está trabalhando em campo. Várias interferências no

entorno da edificação (como outras construções, vias, desníveis, entre outros) podem limitar a distância e o ângulo sob os quais a inspeção será realizada. Por conseguinte, torna-se relevante conhecer os limites para estes dois fatores, a fim de manter um posicionamento favorável com maior possibilidade de detecção de defeitos.

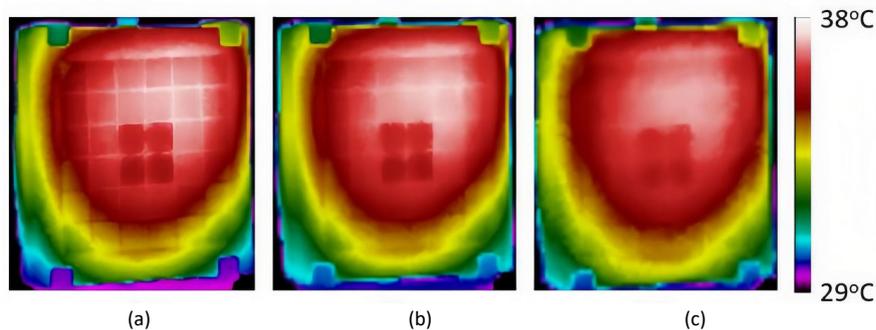
Os termogramas apresentados nas Figuras 16 a 18, mostra que, a menores distâncias a identificação do defeito é mais visível, porém não anula a possibilidade de visualização do defeito a distâncias maiores, o mesmo pode ser visto quando o ângulo de visão é variado. A visualização do defeito é nítida quando o termógrafo está posicionado perpendicularmente à placa, e vai perdendo nitidez à medida que o ângulo vai sendo variado, mas da mesma forma não inviabiliza a detecção do defeito.

Figura 16- Termogramas extraídos com ângulo de 0°. Distância variando em 5 m (a), 7,5 m (b) e 10 m (c).



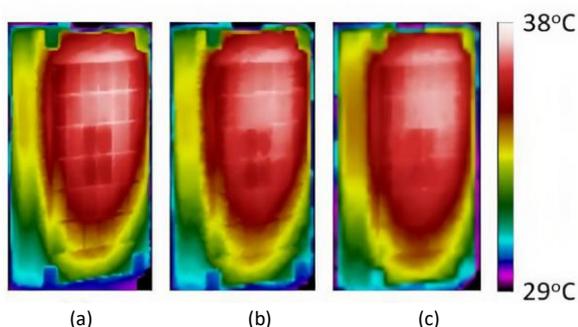
Fonte: Autores.

Figura 17- Termogramas extraídos com ângulo de 30°. Distância variando em 5 m (a), 7,5 m (b) e 10 m (c).



Fonte: Autores.

Figura 18- Termogramas extraídos com ângulo de 60°. Distância variando em 5 m (a), 7,5 m (b) e 10 m (c).



Fonte: Autores.

Os corpos de prova com defeito central de 15 x 15 cm apresentaram termogramas semelhantes aos apresentados nas figuras 16 a 18. Já para os corpos de prova com defeito central de 5 x 5 cm, não foi possível identificar visualmente a região danificada mesmo com o melhor posicionamento (5 metros de distância entre o termógrafo e o corpo de prova, com ângulo de visão 0°). Assim, para defeitos de descolamento com

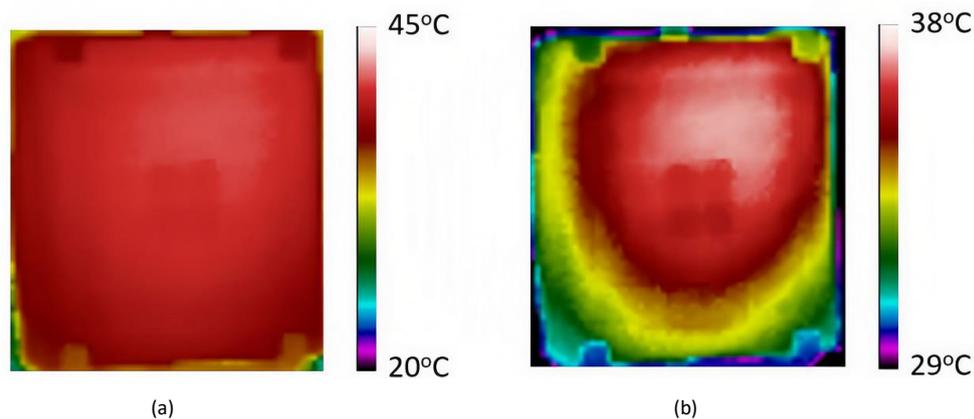
espessura de aproximadamente 2 mm, a dimensão mínima identificada neste trabalho foi de 10 x 10 cm, para distância máxima de 10 metros e ângulo máximo de 30°.

Controle da escala de temperatura

O contorno da edificação e a interferência da temperatura das regiões vizinhas influencia no posicionamento e captação confiável dos termogramas, sendo assim, se faz necessário restringir a escala de temperatura de modo a melhorar a captação do defeito. Infelizmente o fator de escala da temperatura ainda é um parâmetro controlado de forma empírica e irá variar à medida que o operador adquira mais experiência, pois o defeito pode ficar visualmente escondido se os limites da escala estiverem muito distantes.

Esse tipo de análise e a sua importância pode ser vista na Figura 19, onde são apresentados dois termogramas com os limites da escala de temperatura diferentes. A figura (a) mostra um termograma extraído com uma escala de temperatura mais abrangente onde não foi possível captar o defeito, muito menos as linhas de contorno do rejunte. Já a figura (b) mostra a extração do mesmo termograma com uma restrição maior na escala de temperatura, o que tornou possível a percepção tanto dos detalhes da imagem, a variação da temperatura ao longo da peça e a captação do defeito inserido.

Figura 19- Comparação entre imagens do mesmo termograma com escala de temperatura diferentes: 20°C a 45°C (a) e 29°C a 38°C (b).



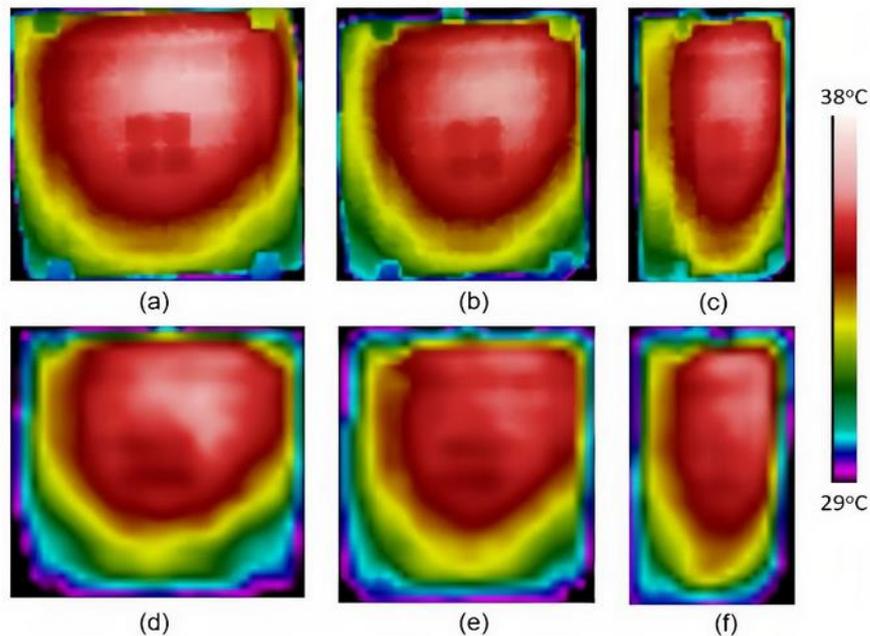
Fonte: Autores.

A mesma influência foi percebida por LOURENÇO et al e a sugestão dos autores foi posicionar o equipamento o mais próximo possível do alvo a fim de evitar uma maior influência da região vizinha no que tange a variação de temperatura no termograma, já que este aumento pode tornar as pequenas variações invisíveis. Assim, no momento da inspeção se faz necessária uma avaliação minuciosa para regiões isoladas, com escalas de temperatura individualizadas para cada região.

Comparação entre câmeras termográficas

A fim de identificar a influência da resolução do equipamento termográfico, foram utilizados dois modelos de câmeras termográficas, com suas características descritas na Tabela 3. Sabendo-se que a detecção dos vazios sob o revestimento cerâmico pode sofrer a influência da resolução do equipamento, além dos parâmetros e fatores já citados anteriormente, a Figura 20 compara os termogramas obtidos através de cada um dos modelos utilizados.

Figura 20- Modelo T640, ângulo=0° (a) modelo T640, ângulo=30° (b) modelo T640, ângulo=60° (c) modelo E40, ângulo=0° (d) modelo E40, ângulo=30° (e) modelo E40, ângulo=60° (f).



Fonte: Autores.

É nítida a diferença nas imagens geradas pelos dois modelos, sendo visualmente mais fácil de detectar o descolamento das pastilhas cerâmicas nos termogramas da câmera T640sc (Figura 20 a-b-c), apesar de ambas apresentarem a mesma diferença de temperatura entre as regiões íntegra e com defeito ($DT=1^{\circ}C$).

O contorno do descolamento ficou mais nítido com a câmera de maior resolução, e detalhes como as linhas de rejunte puderam ser identificados. A utilização do equipamento com menor resolução não inviabilizou a análise termográfica, pois através de suas imagens térmicas os defeitos também puderam ser detectados, sendo interessante ressaltar que o custo do equipamento de menor resolução é em torno de dez vezes menor que o equipamento de maior resolução.

Optou-se por apresentar na Figura 20 os termogramas extraídos a 10 metros por ser a maior distância considerada neste trabalho, sendo assim, a pior situação possível. Porém, para as distâncias de 5 metros e 7,5 metros, a resolução das imagens seguiu o mesmo padrão comparativo aqui constatado.

Conclusão

Buscando utilizar a termografia infravermelha como forma de monitoramento e identificação de possíveis manifestações patológicas em fachadas de revestimento cerâmico, este trabalho analisou parâmetros termográficos de forma a garantir maior assertividade na aplicação da técnica e possibilitar a rápida inspeção e análise de integridade de sistemas construtivos.

A fim de estudar o comportamento térmico do revestimento cerâmico e ajustar a emissividade para as cores analisadas, foram introduzidos defeitos de 5, 10 e 15cm no centro de corpos de provas retangulares e foi aplicada a termografia infravermelha nos ciclos de aquecimento e resfriamento das peças. Durante esse procedimento foi percebido que a região com defeito apresentou temperatura menor do que o seu

entorno (região íntegra) assim como em comparação com a placa teste, onde o defeito não havia sido inserido.

Foram analisados fatores como emissividade, tamanho do defeito, distância entre o equipamento e o corpo de prova e ângulo de visão para extração dos termogramas e foi percebido que todos os parâmetros analisados influenciaram significativamente no resultado obtido.

Foi ajustada a emissividade para a cor preta já conhecida ($\epsilon = 0,97$) e com a temperatura obtida, foram ajustadas as temperaturas para as outras cores e encontradas as emissividades das pastilhas cinza ($\epsilon = 0,76$), verde ($\epsilon = 0,85$) e branca ($\epsilon = 0,73$).

Notou-se também que o intervalo entre 10 e 30 minutos é o mais adequado para a detecção de defeitos pois possui os maiores valores de variação de temperatura (DT). A possibilidade de modificar o ângulo de visão entre a câmera e o objeto inspecionado pode melhorar a sensibilidade da técnica visto que existe a chance da reflexão da câmera termográfica e do operador interferirem no resultado quando a fonte de calor se encontra próxima ao corpo de prova, principalmente nas placas com emissividades mais baixas.

Outro fator importante foi que, à medida que se aumenta o ângulo de visão, os resultados obtidos nos termogramas vão perdendo precisão, porém para ângulos até 30° os resultados ainda conseguem ser satisfatórios. A partir disso os valores de temperatura não apresentam confiabilidade suficiente quando utilizadas câmeras termográficas.

Tendo utilizado câmeras termográficas com resoluções e preços diferentes, foi possível captar defeitos com os dois equipamentos sem perdas significativas nos resultados, mas em menores distâncias a identificação do defeito é mais visível, porém não anula a possibilidade de visualização do defeito a distâncias maiores, ou quando o ângulo de visão é variado.

Dentre os parâmetros analisados também foi notado que a escala de temperatura adequada tende a diminuir a interferência da temperatura das regiões vizinhas e que escalas muito amplas podem mascarar os defeitos existentes no objeto alvo.

Também foi detectado que a cor do revestimento influencia na absorção e reflexão do calor, sendo necessário sempre ajustar a emissividade adequada para a cor do objeto alvo durante a análise e que o melhor posicionamento durante os testes foi a 5 metros de distância entre o termógrafo e o corpo de prova, com ângulo de visão 0° .

Durante os testes verificou-se que, para defeitos de 15 cm, a resposta obtida pelo termógrafo foi alterada. Esta alteração se deu por um afundamento das pastilhas na região do defeito. Portanto, para casos onde os defeitos passam a ser maiores, é necessário aliar ainda mais a termografia e a inspeção visual durante a análise pois esta última pode mostrar manifestações patológicas visíveis a olho nu e a combinação das duas técnicas gerar um resultado mais preciso.

Por fim, foi identificado que para defeitos de descolamento com espessura de aproximadamente 2 mm, a dimensão mínima identificada neste trabalho foi de 10 x 10 cm com distância máxima de 10 metros e ângulo máximo de 30° . Sendo assim, além da praticidade e facilidade que a técnica de inspeção com termografia infravermelha traz, ela se mostra ainda mais eficaz à medida que os parâmetros de emissividade, cor,

distância, ângulo e escala de temperatura são refinados em inspeções de fachadas com revestimento cerâmico.

Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E 1993 – Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers. Estados Unidos, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- BARREIRA, E.; ALMEIDA, R. M. S. F.; DELGADO, J. M. P. Q. "Infrared Thermography for Assessing Moisture Related Phenomena in Building Components". *Construction and Building Materials*, v. 110, p. 251–269, Maio 2016.
- BARREIRA, E.; ALMEIDA, R.; MOREIRA, M. An infrared thermography passive approach to assess the effect of leakage point in buildings. *Energy and Buildings*, v. 140, p. 224-235, 2017.
- BAUER, E.; PAVÓN, E.; BARREIRA, E.; CASTRO, E. K. "Analysis of building facade defects using infrared thermography: Laboratory studies". *Journal of Building Engineering*, Porto, p. 93-104, fevereiro 2016.
- CHEW, M.Y.L.; GAN, V.J.L. Long-Standing Themes and Future Prospects for the Inspection and Maintenance of Façade Falling Objects from Tall Buildings. *Sensors* 2022, 22, 6070. <https://doi.org/10.3390/s22166070>.
- FREITAS, S. S. D.; FREITAS, V. P.; BARREIRA, E. "Detection of façade plaster detachments using infrared thermography – A nondestructive technique". *Construction and Buildings Materials*, v. 70, p. 80-87, nov. 2014.
- LI, Z.; YAO, W.; LEE, S.; LEE, C.; YANG, Z. "Application of Infrared Thermography Technique in Building Finish Evaluation". *Journal of Nondestructive Evaluation*, v. 19, Mar 2000.
- LIMA, M. B. ; JUNIOR, A. C. L. ; RUIZ, R. D. B. ; FERNANDES, B. J. T. ; OLIVEIRA, S. C. ; SANTOS, O. J. . Inspeção de manifestações patológicas de fachadas em edifício de grande altura com VANT. *Mix Sustentável*, Florianópolis, v. 6, n. 2, 2020.
- LITWA, M. "Influence of angle of view on temperature measurements using thermovision camera". *IEEE Sensors Journal*, out 2010. 1552-1554.
- LOURENÇO, T.; MATIAS, L.; FARIA, P. "Anomalies Detection in Adhesive Wall Tiling Systems by Infrared Thermography". *Construction and Building Materials*, Caparica/Portugal, 2017. 419-428.
- MALDAGUE, X. *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2001.
- MILHOMEM, P. M.; AIDAR, L. A. G.; BAUER, E. "Estudo da Evolução da Temperatura nas Regiões das Fachadas com Termografia". 6a Conferência sobre patologia e reabilitação de edifícios - PATORREB, Rio de Janeiro, Abril 2018.
- MORESCO, J.; BORDIN, F.; VERONEZ, M. R.; KULAKOWSKY, M. P. "Termografia Infravermelha na Detecção de Manifestações Patológicas em Fachadas com Revestimento Argamassado". *Anais do 11o Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas - ALCONPAT*, São Leopoldo, janeiro 2015.
- PAIVA, J. A. A. B. A importância do projeto de revestimento cerâmico de fachada: Estudo de caso. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Especialização em Tecnologia e Gestão do Ambiente, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2017.
- SANTOS, D.G. Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SANTOS, L. Termografia Infravermelha em Subestações de Alta Tensão Desabrigadas. Itajubá: UNIFEI, M.Sc., 2006.

SILVA, L. A. C. Desenvolvimento de metodologias de aplicação da termografia na análise de manifestações patológicas e-UFS/EBSERH. 2020. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020.

SILVA. C. "Queda de revestimento assusta moradores de prédio em Belo Horizonte". Estado de Minas Gerais, 2021. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2021/06/06/interna_gerais,1273926/queda-de-revestimento-assusta-moradores-de-predio-em-belo-horizonte.shtml>. Acesso em: 28 janeiro 2023.

User's manual FLIR T6xx series. <https://www.flir.com/globalassets/imported-assets/document/flir-t6xx-series-user-manual.pdf>. FLIR. Acesso em: 11 fev. 2023.

VAVILOV, V. Noise-limited thermal/infrared nondestructive testing. NDT & E International, v. 61, p. 16-23, 2014.