



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GABRIELL FILLEMON DORNELAS MEIRA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA DISTÂNCIA DE MEDIÇÃO NA IDENTIFICAÇÃO
DE DESCOLAMENTOS EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS COM O USO DA
TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA**

BARREIRAS - BA

2025

GABRIELL FILLEMON DORNELAS MEIRA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA DISTÂNCIA DE MEDIÇÃO NA IDENTIFICAÇÃO
DE DESCOLAMENTOS EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS COM O USO DA
TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Professor D.Sc. Elier Pavón de la Fé.

FICHA CATALOGRÁFICA

M514 Meira, Gabriell Fillemon Dornelas.

Análise da influência da distância de medição na identificação de descolamentos em revestimentos cerâmicos com o uso da termografia infravermelha. / Gabriell Fillemon Dornelas Meira. – 2025.

98f.

Orientador: Prof. Dr. Elier Pavón De La Fé.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. Barreiras, BA, 2025.

1. Termografia; 2. Descolamento; 3. Inspeção de fachadas; 4. Cerâmica; Ensaios não destrutivos. I. Elier Pavón De La Fé. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 624

GABRIELL FILLEMON DORNELAS MEIRA

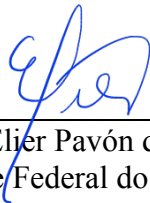
**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA DISTÂNCIA DE MEDIÇÃO NA IDENTIFICAÇÃO
DE DESCOLAMENTOS EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS COM O USO DA
TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

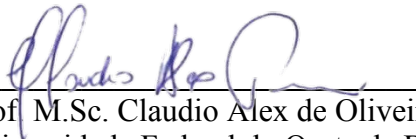
Aprovado em 02 de dezembro de 2025.

Banca Examinadora

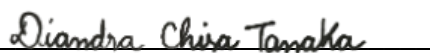
Orientador:



Prof. D.Sc. Eljer Pavón de la Fé
Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)



Prof. M.Sc. Claudio Alex de Oliveira Pires
Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)



M.Sc. Diandra Chisa Tanaka
Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

Dedico este trabalho a Deus,
minha família e aos amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela fidelidade, força e sabedoria concedidas ao longo desta caminhada. Mesmo diante das dificuldades, especialmente por ter iniciado o curso em plena pandemia, pude sentir o cuidado e a direção divina em cada etapa da minha formação.

Aos meus pais, Gilberto Quadros e Elcy Barbosa, e ao meu irmão Gilberto Amos, expresso minha profunda gratidão pelo apoio, incentivo e por estarem ao meu lado durante todo esse percurso. Estendo meus agradecimentos a toda a minha família, que sempre acreditou no meu esforço e na minha jornada acadêmica.

Agradeço ao meu orientador, Elier Pavón de la Fé, pela orientação, paciência, disponibilidade e por toda contribuição essencial para o desenvolvimento deste trabalho. Manifesto também minha gratidão aos docentes do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), pela paciência, dedicação e transmissão do conhecimento ao longo da graduação.

Agradeço igualmente ao Professor Cláudio Alex de Oliveira Pires e à Diandra Chisa Tanaka, pela disponibilidade e atenção ao avaliarem este trabalho, contribuindo para o seu aprimoramento.

Aos colegas de turma, agradeço pela parceria, companheirismo e por compartilharmos juntos os desafios e conquistas desta jornada acadêmica.

Por fim, agradeço ao Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) da UFOB, pelas condições e infraestrutura que possibilitaram a realização deste trabalho.

RESUMO

O uso de técnicas não destrutivas, como a termografia infravermelha, tem ganhado destaque no diagnóstico de manifestações patológicas na construção civil, especialmente na inspeção de revestimentos em fachada. Entretanto, para otimizar sua aplicação, é fundamental compreender os diversos fatores que influenciam a acurácia dos resultados, dentre os quais se destaca a distância entre a câmera e o alvo. Este trabalho tem como objetivo principal, na aplicação da termografia infravermelha, a influência da distância de medição na identificação do descolamento em revestimento cerâmico. A metodologia proposta foi dividida em duas etapas: a primeira aplicada em um estudo experimental num protótipo e a segunda em fachada, ambos utilizando a abordagem de termografia passiva. Na primeira etapa, utilizou-se um protótipo de alvenaria com descolamentos simulados variando em largura (2,5 cm e 5,0 cm) e profundidade (0,5 cm e 1,0 cm). As inspeções ocorreram sob condições climáticas naturais, nas orientações Leste e Norte, posicionando a câmera a três distâncias distintas: 2, 7 e 12 metros. A segunda etapa consistiu na avaliação de duas fachadas, analisando-se dois descolamentos em cada uma. A Fachada 1 possui orientação predominante Oeste e a Fachada 2, orientação Norte, sendo cada anomalia inspecionada a partir de duas distâncias de medição, variando globalmente entre 7,8 m e 16,0 m. Como principais resultados, observou-se no protótipo que a largura do defeito é determinante, onde descolamentos menores (2,5 cm) tornaram-se indetectáveis com o aumento da distância em cenários de baixo contraste térmico. Por outro lado, nas fachadas, a detecção manteve-se eficaz em todas as distâncias testadas devido ao alto contraste inicial, registrando-se apenas uma leve atenuação quantitativa nos valores de contraste térmico (ΔT).

Palavras-chave: Termografia; Descolamento; Inspeção de fachadas; Cerâmica; Ensaio não destrutivo; Distância de medição.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro de radiação eletromagnética.....	20
Figura 2 - Mecanismo de funcionamento da câmera térmica.....	22
Figura 3 - Termograma de objeto com áreas de diferentes emissividades.....	27
Figura 4 - Reflexão em termograma de fachadas. (a) Imagem digital indicando a torre à esquerda, responsável pela reflexão. (b) Termograma evidenciando a área afetada pela radiação refletida na edificação à direita.....	28
Figura 5 - Exemplo de termografia passiva com indução natural pela radiação solar.....	30
Figura 6 - Exemplo de termografia ativa com indução artificial por painéis radiantes posicionados na frente (a) e atrás (b) da superfície analisada.....	31
Figura 7 - Termograma destacando a condição da superfície de uma caldeira.....	33
Figura 8 - Imagem termográfica mostrando aumento da temperatura na região medial do joelho esquerdo indicativa de possível inflamação.....	34
Figura 9 - Lei de Evolução dos Custos (Lei de Sitter).....	34
Figura 10 - Exemplos de anomalias detectadas por termografia na construção civil: (a) falha no isolamento térmico; (b) infiltração por umidade; (c) vazamento de ar; (d) vazamento de um chuveiro.....	35
Figura 11 - Detecção de destacamentos em fachada cerâmica.....	36
Figura 12 - Identificação de elementos estruturais da edificação.....	37
Figura 13 - Elementos que influenciam o desempenho das fachadas.....	38
Figura 14 - Investigação termográfica ativa.....	39
Figura 15 - Exemplo das etapas evolutivas da degradação por fissuração.....	40
Figura 16 - Inspeção em parede de tijolos com termografia: (a) termograma; (b) fotografia..	40
Figura 17 - Identificação de região com umidade por meio da termografia.....	41
Figura 18 - Efeito da orientação solar na detecção termográfica de descolamentos.....	43
Figura 19 - Protótipos utilizados no estudo com inserção de falhas simuladas (com EPS) em diferentes profundidades no revestimento.....	44
Figura 20 - Detecção de descolamento em fachada de edifício durante o ciclo de aquecimento: (a) imagem real da fachada; (b) termograma correspondente. As setas indicam as regiões com indícios de delaminação.....	45
Figura 21 - Detecção de descolamento cerâmico por termografia: (a) como “ponto quente” no aquecimento e (b) como “ponto frio” no arrefecimento.....	46
Figura 22 - Termograma de fachada, evidenciando região com descolamento.....	47
Figura 23 - Fluxograma do trabalho.....	49

Figura 24 - Sequência construtiva da parede de alvenaria.....	50
Figura 25 - Esquema e características dos defeitos inseridos no revestimento.....	51
Figura 26 - Detalhe construtivo do defeito e imagem do protótipo finalizado.....	51
Figura 27 - Imagem do Campus Reitor Edgard Santos.....	52
Figura 28 - Local onde o protótipo foi posicionado.....	53
Figura 29 - Posições da câmera de infravermelho em relação ao protótipo.....	53
Figura 30 - Registro da coleta de dados termográficos no protótipo: (a) matutino e (b) vespertino/noturno.....	54
Figura 31 - Modelo da câmera infravermelha a ser utilizada, (a) visão traseira; (b) visão de perfil.....	55
Figura 32 - Termômetro digital tipo K (modelo TM-902C) utilizado nas medições de temperatura.....	56
Figura 33 - Ambiente do software.....	57
Figura 34 – Localização da Fachada 1.....	58
Figura 35 – Vista da Fachada 1.....	59
Figura 36 – Vista da Fachada 1 evidenciando as áreas com descolamento: (a) F1A e (b) F1B...	60
Figura 37 – Localização da Fachada 2.....	61
Figura 38 – Vista da Fachada 2.....	61
Figura 39 – Vista da Fachada 2 evidenciando as áreas com descolamento: (a) F2A e (b) F2B...	62
Figura 40 - Esquema do posicionamento da câmera no estudo em fachada.....	63
Figura 41 - Trena a laser a ser utilizada.....	63
Figura 42 – Termogramas da orientação Leste obtidos em 10/09/2025 às 08h30: (a) distância de 2 m; (b) distância de 12 m.....	67
Figura 43 – Termogramas da orientação Leste obtidos em 10/09/2025 às 17h30: (a) distância de 2 m; (b) distância de 12 m.....	67
Figura 44 – Variação do contraste térmico (ΔT) em módulo em função do horário e da distância para a Orientação Leste, detalhando o comportamento de cada placa: (a) Placa 1; (b) Placa 3; (c) Placa 4; (d) Placa 6.....	69
Figura 45 – Termogramas da orientação Norte obtidos em 11/09/2025 às 08h30: (a) distância de 2 m; (b) distância de 12 m.....	72
Figura 46 – Termogramas da orientação Norte obtidos em 11/09/2025 às 17h30: (a) distância de 7 m; (b) distância de 12 m.....	73

Figura 47 – Variação do contraste térmico (ΔT) em módulo em função do horário e da distância para a Orientação Norte, detalhando o comportamento de cada placa: (a) Placa 1; (b) Placa 3; (c) Placa 4; (d) Placa 6.....	74
Figura 48 - Termogramas da Fachada 1 obtidos às 09h30, evidenciando o Descolamento F1A: (a) distância de 9,0 m; (b) distância de 11,3 m.....	77
Figura 49 - Termogramas da Fachada 1 obtidos às 19h30, evidenciando o Descolamento F1A: (a) distância de 9,0 m; (b) distância de 11,3 m.....	77
Figura 50 - Termogramas da Fachada 1 obtidos às 09h30, evidenciando o Descolamento F1B: (a) distância de 9,6 m; (b) distância de 12,9 m.....	77
Figura 51 - Termogramas da Fachada 1 obtidos às 19h30, evidenciando o Descolamento F1B: (a) distância de 9,6 m; (b) distância de 12,9 m.....	78
Figura 52 – Variação do contraste térmico (ΔT) em função do horário e da distância para a fachada 1, detalhando o comportamento de cada placa (descolamento): (a) Descolamento F1A; (b) Descolamento F1B.....	79
Figura 53 - Termogramas da Fachada 2 obtidos às 09h30, evidenciando o Descolamento F2B: (a) distância de 9,2 m; (b) distância de 16,0 m.....	81
Figura 54 - Termogramas da Fachada 2 obtidos às 19h30, evidenciando o Descolamento F2B: (a) distância de 9,2 m; (b) distância de 16,0 m.....	81
Figura 55 - Termogramas da Fachada 2 obtidos às 09h30, evidenciando o Descolamento F2B: (a) distância de 7,8 m; (b) distância de 14,7 m.....	82
Figura 56 - Termogramas da Fachada 2 obtidos às 19h30, evidenciando o Descolamento F2B: (a) distância de 7,8 m; (b) distância de 14,7 m.....	82
Figura 57 – Variação do contraste térmico (ΔT) em função do horário e da distância para a fachada 2, detalhando o comportamento de cada Descolamento: (a) F2A; (b) F2B.....	83
Figura 58 –Variação da temperatura ambiente nos dias de medição do protótipo: (a) 09/09/2025; (b) 10/09/2025; (c) 11/09/2025; (d) 15/09/2025.....	96
Figura 59 – Variação da umidade relativa do ar nos dias de medição do protótipo: (a) 09/09/2025; (b) 10/09/2025; (c) 11/09/2025; (d) 15/09/2025.....	97
Figura 60 – Temperatura média do revestimento cerâmico do protótipo em função do horário para as direções: (a) Leste; (b) Norte.....	97
Figura 61 – Temperatura média do revestimento cerâmico do protótipo em função do horário para as direções: (a) Leste 09/09/2025; (b) Leste 10/09/2025; (c) Norte 11/09/2025; (d) Norte 15/09/2025.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis que influenciam na termografia infravermelha.....	23
Tabela 2 – Resolução e IFOV de câmeras termográficas utilizadas em estudos recentes na identificação de descolamento em revestimentos cerâmicos.....	25
Tabela 3 - Parâmetros adotados nas medições.....	55
Tabela 4 – Avaliação da visibilidade dos descolamentos na Fachada 1, considerando diferentes distâncias e horários (09:30 e 19:30).....	76
Tabela 5 – Avaliação da visibilidade dos descolamentos na Fachada 2, considerando diferentes distâncias de captura e horários (09:30 e 19:30).....	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações técnicas da câmera termográfica infravermelha Hikmicro G41....	56
Quadro 2 – Análise de visibilidade dos descolamentos nas placas 1, 3, 4 e 6 do protótipo em função do horário e da distância – Orientação Leste.....	66
Quadro 3 – Análise de visibilidade dos descolamentos nas placas 1, 3, 4 e 6 do protótipo em função do horário e da distância – Orientação Norte.....	71

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACIII - Argamassa Colante do tipo III

ATcor - Contraste Térmico Corrigido

CAU/BR - Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil

END - Ensaio Não Destrutivo (ou NDT, do inglês Non-Destructive Testing)

EPS - Poliestireno Expandido (do inglês, Expanded Polystyrene)

IBAPE/SP - Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo

IFOV - Campo de Visão Instantâneo (do inglês, Instantaneous Field of View)

IR - Infravermelho (do inglês, Infrared)

IRT - Termografia Infravermelha (do inglês, Infrared Thermography)

ITC - Infrared Training Center

LCD - Tela de Cristal Líquido (do inglês, Liquid Crystal Display)

mrad - Miliradianos

px - Pixels

WTDR - Relação Largura-Profundidade (do inglês, Width-to-Depth Ratio)

ΔT (Delta T) - Diferença de Temperatura superficial, ou contraste térmico, aferida entre uma área que apresenta uma patologia (por exemplo, descolamento cerâmico) e uma área de referência adjacente e íntegra

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 OBJETIVO.....	18
2.1 Objetivos específicos.....	18
2.2 Justificativa.....	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1 Termografia infravermelha.....	20
3.1.1 Câmera termográfica.....	21
3.1.2 Variáveis que influenciam na termografia infravermelha.....	22
3.1.3 Termografia ativa e passiva.....	29
3.1.4 Investigações qualitativas e quantitativas.....	31
3.1.5 Identificação de anomalias.....	32
3.2 Aplicações da termografia.....	32
3.2.1 Aplicações gerais da termografia.....	33
3.2.2 Termografia aplicada em inspeção predial.....	34
3.3 Identificação de manifestações patológicas em fachadas com termografia.....	37
3.3.1 Fissuras e trincas.....	39
3.3.2 Umidade.....	40
3.3.3 Descolamento.....	41
4 METODOLOGIA.....	49
4.1 Estudo experimental com protótipo.....	50
4.1.1 Seleção e caracterização do protótipo.....	50
4.1.2 Coleta dos dados.....	52
4.1.3 Processamento e análise dos dados.....	56
4.2 Estudo em fachada.....	57
4.2.1 Seleção e caracterização da fachada.....	57
4.2.2 Coleta dos dados.....	62
4.2.3 Processamento e análise dos dados.....	64
4.3 Análise comparativa.....	64
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	65
5.1 Análise dos resultados no protótipo.....	65
5.1.1 Orientação Leste.....	65
5.1.2 Orientação Norte.....	70

5.2 Análise dos resultados em fachada.....	75
5.2.1 Fachada 1 (Orientação Oeste).....	76
5.2.2 Fachada 2 (Orientação Norte).....	80
5.3 Análise comparativa e discussão dos resultados.....	84
6 CONCLUSÃO.....	86
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
APÊNDICE A – DADOS CLIMÁTICOS E TÉRMICOS DO ESTUDO EM PROTÓTIPO.....	96

1 INTRODUÇÃO

A integridade dos sistemas de vedação vertical, especificamente com relação ao revestimento das fachadas, é um fator essencial para a durabilidade, a estética e, principalmente, para a segurança dos usuários. Contudo, a elevada incidência de manifestações patológicas, como o descolamento de placas cerâmicas, tem se consolidado como um dos principais desafios da construção civil. Essa anomalia compromete o desempenho técnico das edificações, gera elevados custos de manutenção e, sobretudo, representa um risco concreto à segurança pública, com relatos frequentes de deslocamentos em áreas urbanas, levando à criação de legislações mais rígidas para inspeções prediais periódicas (Bauer; Souza; Mota, 2021; CAU/BR, 2022; SINDUSCON-SP, 2016).

Devido à dificuldade de se detectar visualmente os descolamentos, torna-se imprescindível o uso de ensaios não destrutivos (END) como ferramentas de apoio à engenharia diagnóstica. Entre esses métodos, destaca-se a termografia infravermelha, que permite identificar anomalias térmicas nos componentes do revestimento, por meio da análise das variações de temperatura na superfície do material. A técnica se fundamenta no fato de que os vazios formados nas regiões descoladas alteram a resistência térmica local, promovendo contrastes térmicos visíveis nos termogramas obtidos (Andrade, 2020; Bauer; Pavón, 2015).

No entanto, a aplicação da termografia em fachadas está sujeita a diversas variáveis que podem comprometer a precisão dos resultados. Entre os fatores mais influentes estão as condições ambientais, como a temperatura do ar e a umidade, além das propriedades térmicas do material inspecionado e dos parâmetros de medição utilizados. Dentre esses parâmetros, a distância entre a câmera termográfica e o objeto analisado se destaca como um elemento crítico, uma vez que afeta diretamente a resolução da imagem térmica e, conseqüentemente, a capacidade de detecção de falhas (Barreira et al., 2015; Pavón, 2017; Silva, 2012).

Embora estudos anteriores realizados na Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), como os de Tanaka (2016), que investigou a influência do tamanho dos defeitos e da orientação solar no destacamento cerâmico, e os de Santos (2018), Oliveira (2019) e Alves Filho (2025), que aplicaram a termografia infravermelha na identificação da umidade ascensional em alvenarias sob diferentes condições, tenham contribuído significativamente para a consolidação da técnica, ainda são escassas as pesquisas que investigam de forma sistemática a influência da variação da distância de medição ao alvo na qualidade do

diagnóstico. Essa lacuna dificulta o estabelecimento de parâmetros técnicos e pode impactar a consistência dos resultados obtidos em inspeções de fachadas.

Diante desse contexto, o presente trabalho propõe uma análise da influência da distância entre a câmera termográfica e o alvo na identificação de descolamentos em revestimentos cerâmicos, contribuindo para a consolidação de critérios técnicos mais robustos no uso da termografia infravermelha aplicada à inspeção predial.

2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal analisar, na aplicação da termografia infravermelha, a influência da distância de medição na identificação do descolamento em revestimentos cerâmicos.

2.1 Objetivos específicos

- Analisar a influência da distância de medição (2, 7 e 12 m) e da orientação solar (Leste e Norte) nos valores de ΔT na avaliação de descolamentos de diferentes dimensões em protótipo de revestimento cerâmico;
- Determinar a influência da distância na medição do contraste térmico (ΔT) de descolamentos em fachada com revestimento cerâmico, considerando um intervalo de medição entre 7,8 m e 16,0 m;
- Comparar os resultados obtidos na identificação de descolamentos cerâmicos em protótipo e fachada utilizando termografia infravermelha.

2.2 Justificativa

O descolamento de revestimentos cerâmicos em fachadas é uma das manifestações patológicas mais comuns e preocupantes na construção civil (Almeida et al., 2021). Esse problema compromete o bom desempenho da edificação, eleva os custos com manutenção e pode representar riscos à segurança das pessoas. Embora a NBR 15575-1 - Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais (ABNT, 2024) estabeleça uma vida útil de projeto mínima de 40 anos para o sistema de vedação vertical externa, ela prevê que a camada de revestimento — considerada um elemento desse sistema — tenha uma vida útil de projeto mínima de 20 anos. Contudo, uma pesquisa realizada pela Neoway Criactive, coordenada pelo SindusCon-SP (2016), entrevistou 87 construtoras de médio e grande porte em todo o país e revelou que, em 81,4% dos casos, o deslocamento cerâmico ocorreu em até dois anos após a aplicação. A criação de leis municipais e estaduais que exigem inspeções prediais regulares evidencia a urgência em aprimorar os métodos utilizados para identificar esse tipo de problema (IBAPE/SP, 2021).

No contexto da engenharia diagnóstica, os métodos tradicionais de verificação, como o ensaio de percussão, ainda são amplamente utilizados. No entanto, essas técnicas apresentam limitações relevantes: além de exigirem acesso direto à fachada, possuem caráter subjetivo, dependem da experiência do inspetor e demandam tempo e custo significativos

(Andrade, 2020; Takeda; Mazer, 2018). Tais dificuldades reforçam a necessidade de adotar métodos mais eficientes, precisos e mais econômicos, especialmente em inspeções de grande escala.

Entre os ensaios não destrutivos disponíveis, a termografia infravermelha se destaca como uma alternativa promissora. A técnica permite identificar defeitos ocultos por meio da captação das variações de temperatura na superfície do material, possibilitando o mapeamento de anomalias como descolamentos, fissuras e umidade sem causar danos à edificação (Bauer; Pavón, 2015; Pavón, 2017). Embora exija a presença física do operador no local, o método não demanda proximidade imediata com o elemento avaliado, o que facilita a inspeção de grandes áreas com rapidez e segurança, característica que tem ampliado seu uso na manutenção e inspeção predial.

Apesar do seu potencial, a aplicação da termografia infravermelha em campo ainda carece de padronização normativa, especialmente no que diz respeito aos parâmetros operacionais. Estudos apontam que variáveis como radiação solar, umidade relativa do ar e características térmicas da superfície inspecionada afetam significativamente a confiabilidade dos resultados (Minkina; Dudzik, 2009; FLIR, 2018). Entre essas variáveis, a distância entre a câmera e o alvo é um fator determinante, pois influencia diretamente a resolução espacial da imagem térmica e, por consequência, a capacidade de detectar anomalias de pequena escala (Barreira et al., 2015; Silva, 2012).

Por isso, compreender melhor como a distância entre a câmera e o descolamento influencia os resultados é uma necessidade técnica ainda pouco explorada. Essa lacuna na literatura dificulta a definição de critérios para a execução de ensaios em fachadas, o que pode afetar a consistência e a comparabilidade dos diagnósticos realizados. Assim, o presente trabalho busca contribuir para o preenchimento dessa lacuna por meio de uma análise do impacto da distância na detecção de descolamentos, colaborando para o desenvolvimento de orientações técnicas que promovam maior precisão, segurança e padronização no uso da termografia infravermelha aplicada à inspeção predial.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

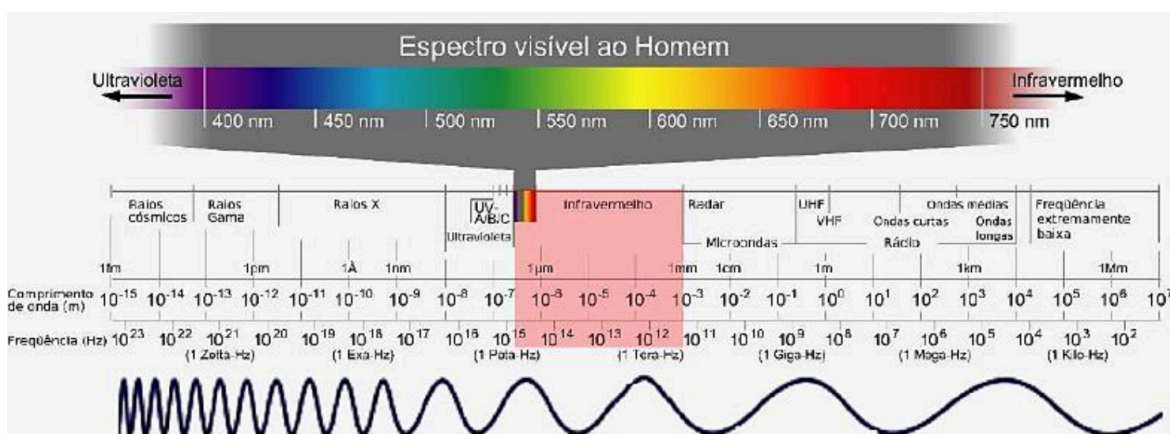
Neste capítulo, são apresentados os principais conceitos que envolvem a termografia infravermelha, com o objetivo de oferecer uma base teórica para a compreensão do tema. A revisão inclui uma explicação sobre os parâmetros técnicos mais utilizados, os tipos de termografia e os procedimentos normalmente adotados durante sua aplicação. Além disso, o capítulo destaca as áreas onde essa técnica é mais empregada, com ênfase especial na sua utilização para inspeções em revestimentos na área da construção civil.

3.1 Termografia infravermelha

A termografia infravermelha é uma técnica utilizada para identificar e medir o calor emitido pelas superfícies dos objetos, por meio da radiação infravermelha. Esse tipo de radiação, invisível ao olho humano, é captada por equipamentos específicos e convertido em sinais elétricos. Com o auxílio de softwares, esses sinais são transformados em imagens térmicas, que mostram a distribuição de temperaturas em uma determinada área, facilitando a análise do comportamento térmico dos materiais (Andrade, 2020).

Essa radiação comporta-se de forma semelhante às ondas de rádio, pois apresenta comprimentos de onda superiores aos da luz visível. Enquanto o olho humano é capaz de perceber radiações eletromagnéticas na faixa entre 0,35-0,75 μm , a termografia permite a detecção de radiações no espectro infravermelho, que se estende entre 0,9-14 μm (Biagiotti, 2021). A Figura 1 apresenta essa faixa dentro do espectro eletromagnético, destacando sua posição em relação à luz visível.

Figura 1 - Espectro de radiação eletromagnética



Fonte: Andrade, 2020.

Com o uso de câmeras termográficas, é possível captar essa radiação e convertê-la em imagens coloridas em tempo real. Nessas imagens, cada cor representa uma faixa de temperatura diferente, o que permite identificar facilmente áreas mais quentes ou mais frias do que o padrão esperado (FLIR, 2013).

Uma das principais vantagens da termografia é que se trata de um método não destrutivo, ou seja, não causa danos ao material analisado. Além disso, é uma técnica rápida e eficiente, especialmente útil para a análise das camadas mais externas dos elementos construtivos. Embora também possa indicar indícios de problemas internos, sua maior confiabilidade está na análise superficial, sendo, por isso, considerada uma técnica voltada à inspeção de superfícies (Bauer; Pavón, 2015; Oliveira, 2013).

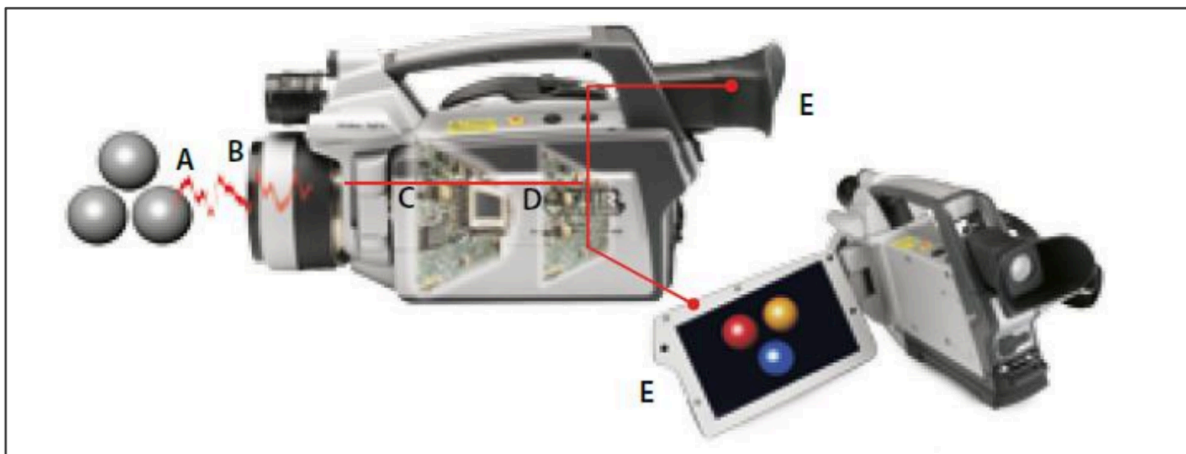
3.1.1 Câmera termográfica

A câmera infravermelha (Figura 2), também conhecida como termovisor, é o principal equipamento utilizado na termografia infravermelha. Ela faz parte de um tipo de ensaio que não causa danos aos materiais analisados e permite identificar diferenças de temperatura nas superfícies. Isso acontece porque todos os objetos emitem calor, mesmo que não seja visível, sendo a câmera capaz de captar essa radiação térmica e transformá-la em uma imagem (Andrade, 2020).

Para garantir medições confiáveis com a câmera termográfica, é necessário ajustar corretamente parâmetros como a emissividade, que representa a capacidade do material de emitir radiação infravermelha, a temperatura refletida, que pode distorcer a leitura ao incorporar radiação de objetos próximos. Outros fatores importantes incluem a temperatura atmosférica, a distância até o objeto e a umidade do ar, pois todos podem influenciar na precisão dos resultados (FLIR, 2011).

Segundo Silva (2007), esses fatores são essenciais para corrigir os dados obtidos pela câmera e garantir que a imagem térmica represente de forma fiel a temperatura real da superfície analisada. A emissividade, por exemplo, varia de acordo com o tipo de material, sua textura e até mesmo o ângulo em que a câmera está posicionada, sendo um dos ajustes mais importantes durante a análise.

Figura 2 - Mecanismo de funcionamento da câmera térmica



Fonte: FLIR, 2011.

O processo de formação da imagem térmica pode ser dividido em etapas. Primeiro, a radiação emitida pelo objeto (A) é captada por um sistema óptico (B), que a direciona até um detector de infravermelho (C). Em seguida, essas informações passam por sensores eletrônicos (D), que processam os dados e geram uma imagem visível no visor da câmera (E), conforme ilustrado na Figura 2.

3.1.2 Variáveis que influenciam na termografia infravermelha

A termografia infravermelha é uma técnica confiável e amplamente empregada na construção civil, especialmente para a detecção de anomalias em elementos construtivos. Sua principal vantagem está na realização de diagnósticos não destrutivos, contribuindo para a manutenção preventiva e corretiva de edificações. Para garantir resultados tecnicamente válidos, é essencial que o operador compreenda e controle as variáveis que influenciam a medição. A eficácia da análise depende não apenas das características do equipamento, mas também do correto gerenciamento dos fatores que afetam a aquisição e a interpretação dos termogramas (Bauer; Pavón, 2015; ITC, 2021).

Essas variáveis podem ser agrupadas em três categorias principais: as relacionadas ao ambiente, ao equipamento e ao alvo (Tomita; Crew, 2022). As ambientais, como a temperatura do ar, são instáveis e geralmente fora do controle do inspetor. As do equipamento, como resolução e campo de visão (IFOV), referem-se às especificações do termovisor. Já as variáveis relacionadas ao alvo, com destaque para a distância entre a câmera e o alvo, exercem influência direta sobre a definição espacial dos termogramas. Essa variável,

por ser ajustável, é o foco deste estudo, que investiga seu impacto na identificação de descolamentos em revestimentos de fachadas.

A tabela 1 apresenta uma síntese dessas três categorias e das principais variáveis que as compõem, as quais serão exploradas nas seções seguintes.

Tabela 1 - Variáveis que influenciam na termografia infravermelha

Categoria	Variáveis
1. Variáveis relacionadas ao ambiente	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura do ar - Umidade relativa do ar - Temperatura refletida
2. Variáveis relacionadas ao equipamento	<ul style="list-style-type: none"> - IFOV (Campo de Visão Instantâneo) - Resolução - Foco - Ângulo de Visão
3. Variáveis relacionadas ao alvo	<ul style="list-style-type: none"> - Emissividade - Reflexão - Distância entre a câmera e o alvo

Fonte: Autor, 2025.

Variáveis relacionadas ao ambiente

As condições do ambiente influenciam diretamente a precisão das medições realizadas por meio da termografia. Uma dessas variáveis é a **temperatura do ar**, que está presente entre a câmera e o objeto analisado. Quando o ambiente está muito quente, a atmosfera emite mais radiação infravermelha, o que pode interferir nos resultados e dificultar a medição real da temperatura da superfície (Minkina; Dudzik, 2009; Pavón, 2017).

Outro fator importante é a **umidade relativa do ar**, que pode ser medida com um instrumento chamado psicrômetro. A presença de vapor de água na atmosfera atenua parte da radiação emitida pelo objeto, ou seja, interfere na passagem dessa radiação até a câmera. Por isso, a umidade precisa ser levada em conta nos cálculos e compensações feitos pelo equipamento (Andrade, 2020).

Além disso, a chamada **temperatura refletida** também deve ser ajustada. Esse parâmetro se refere à radiação de outros objetos próximos que é refletida pela superfície do alvo e captada pela câmera. Corrigir essa variável é essencial para garantir que a leitura térmica reflita a real emissão de calor do objeto estudado (FLIR, 2018).

De acordo com orientações da FLIR (2013), bem como a norma ABNT NBR 16969: Ensaaios não destrutivos — Termografia infravermelha — Princípios gerais (2021), a medição e inserção correta dos dados na câmera termográfica são essenciais para a precisão da análise. Temperatura do ar, umidade relativa e temperatura refletida devem ser obtidas em campo e configuradas no equipamento antes da captura das imagens. Isso permite que o software do termovisor compreenda adequadamente a radiação captada, minimizando erros causados pelas condições atmosféricas e reflexões.

Variáveis relacionadas ao equipamento

Segundo Pavón (2017), alguns fatores da própria câmera podem afetar diretamente a qualidade da imagem térmica. Os principais são: IFOV (Campo de Visão Instantâneo), resolução, foco e o ângulo de visão.

O **IFOV** é uma medida fornecida pelo fabricante e mostra qual é a menor área que a câmera consegue “enxergar” com nitidez a uma certa distância. Quanto menor o IFOV, maior é a capacidade da câmera de registrar detalhes e identificar pequenas variações térmicas, o que contribui significativamente para a qualidade da imagem obtida (Andrade, 2020).

Já a **resolução** da câmera infravermelha está relacionada ao número de pixels (pontos) que compõem a imagem térmica. Câmeras com maior resolução conseguem captar mais detalhes, o que facilita a identificação de problemas nas superfícies inspecionadas. Em estudos voltados à construção civil, é comum o uso de câmeras com resoluções variando entre 160×120 pixels a 640×480 pixels (Pavón, 2017). Essas variações são ilustradas na Tabela 2, que apresenta um compilado das resoluções e dos valores de IFOV das câmeras termográficas utilizadas em estudos recentes voltados à identificação de descolamento em revestimentos cerâmicos.

O IFOV, o **foco** e o **ângulo de visão** estão diretamente relacionados à lente utilizada na câmera termográfica e, por isso, não devem ser analisados separadamente. Quando se utiliza apenas a lente padrão do equipamento, é comum encontrar valores de IFOV entre 0,6 e 3,7 miliradianos (mrad), com ângulos de visão variando de 7 a 80 graus — sendo mais comuns as lentes de 15° e 25°. Esses dois fatores, IFOV e ângulo da lente, representam limitações importantes em estudos de fachadas. Isso porque, à medida que esses valores aumentam, menor será a resolução da imagem térmica e, conseqüentemente, a precisão da análise (Andrade, 2020).

Tabela 2 – Resolução e IFOV de câmeras termográficas utilizadas em estudos recentes na identificação de descolamento em revestimentos cerâmicos

Artigo ou trabalho	Caso de estudo	Resolução (px)	IFOV (mrad)
Bauer <i>et al.</i> (2023)	Desenvolvimento de critérios para identificação e diagnóstico de anomalias em fachadas cerâmicas	320-240	0,82
Tanaka e Pavón (2021)	Influência das dimensões dos descolamentos de revestimentos cerâmicos	60-60	3,7
Patriota Junior <i>et al.</i> (2020)	Verificação de descolamento cerâmico na fachada do Centro de Educação Física e Desportos (CEFD)	320-240	1,36
Rodrigues <i>et al.</i> (2019)	Análise da capacidade de aplicação de duas câmeras térmicas de baixa resolução para detectar descolamentos	160-120	3,39 e 4,7
Lourenço <i>et al.</i> (2017)	Detecção de anomalias em sistemas de revestimento cerâmico por termografia infravermelha	640-480	0,65
Brique (2016)	Emprego da termografia infravermelha no diagnóstico de falhas de aderência de peças cerâmicas utilizadas em fachadas de edifícios	320-240	1,36

Fonte: Autor, 2025.

É fundamental destacar que as variáveis relacionadas ao equipamento, especialmente o IFOV e a resolução, estão intrinsecamente ligadas à distância entre a câmera e o alvo. Com o aumento dessa distância, a área representada por cada pixel se amplia, o que pode dificultar a identificação de anomalias. Se o defeito ocupar uma área inferior à recomendação mínima de 3×3 pixels, a leitura térmica poderá ser imprecisa, pois refletirá uma média entre regiões com e sem falhas. Assim, compreender os limites ópticos do equipamento e respeitar a distância adequada é essencial para garantir a precisão da inspeção e evitar interpretações equivocadas (FLIR, 2020; Tomita; Crew, 2022).

Para estabelecer a distância máxima de inspeção, define-se o conceito de Campo de Visão Instantâneo (IFOV), que representa a projeção angular de um único pixel no alvo. O IFOV é medido em miliradianos (mrad), onde 1 mrad equivale a enxergar 1 m a 1000 m de distância. Assim, o tamanho do ponto teórico (S) para 1 pixel, derivado da distância (D) e do IFOV da câmera, é dado pela equação (VOLLMER; MÖLLMANN, 2018):

$$S_{1px} = \frac{D \times \text{IFOV}_{(\text{mrad})}}{1000} \quad (1)$$

Contudo, a medição teórica baseada em um único pixel é considerada enganosa e potencialmente imprecisa, pois está sujeita a distorções ópticas e reflexos. Para garantir a confiabilidade dos dados, fabricantes como a FLIR (2020) recomendam que a área de interesse cubra um conjunto mínimo de pixels, sendo o critério de 3x3 pixels o mais usual para uma medição precisa. A equação é, portanto, ajustada para 3 pixels:

$$S_{3px} = \frac{3 \times D \times \text{IFOV}_{(\text{mrad})}}{1000} \quad (2)$$

Reorganizando a equação para isolar a Distância (D), pode-se determinar a distância máxima de medição para um alvo de tamanho (S) conhecido:

$$D_{\text{máx}} = \frac{S \times 1000}{3 \times \text{IFOV}_{(\text{mrad})}} \quad (3)$$

Nessa perspectiva, ao aplicar a equação de distância máxima (utilizando o critério de 3x3 pixels recomendado pela FLIR, 2020), considerando uma câmera com IFOV de 0,68 mrad, estima-se que a distância máxima para identificar com precisão um descolamento de 2,5 cm ($S = 0,025\text{m}$) seja de aproximadamente 12,3 metros. No entanto, essa estimativa deve ser interpretada com cautela. Estudos, como o de Tomita e Chew (2022), que analisaram condições similares de defeito e características de câmera, indicam que distâncias inferiores a 10 metros são preferíveis.

Variáveis relacionadas ao alvo

Para que a análise termográfica produza resultados confiáveis, é fundamental considerar as características do objeto inspecionado. Segundo Pavón (2017), as variáveis mais relevantes nesse processo são a emissividade, a reflexão e a distância entre a câmera e o alvo.

A **emissividade**, em particular, representa a capacidade de um material emitir radiação térmica. Esse parâmetro depende do tipo de material, da textura da superfície e do ângulo de observação (Pavón, 2017). Os valores de emissividade variam de 0 a 1 (adimensional), sendo o valor 1 (um) correspondente ao corpo negro, que emite a máxima radiação possível em uma determinada temperatura, conforme a NBR 16969 (ABNT, 2021).

Por isso, mesmo quando dois objetos estão à mesma temperatura, o termograma pode apresentar colorações diferentes devido às distintas emissividades envolvidas (FLIR, 2011). Essa diferença é exemplificada na Figura 3, que mostra uma caneca com parte da superfície pintada de dourado e outra em acabamento escuro. Embora ambas estejam à mesma temperatura, o termograma revela variações de cor entre as áreas, demonstrando como a emissividade influencia diretamente a imagem térmica (FLIR, 2011).

Figura 3 - Termograma de objeto com áreas de diferentes emissividades



Fonte: FLIR, 2011.

Também é possível observar o efeito do ângulo de observação na emissividade. Nas bordas da caneca, registraram-se temperaturas aparentes mais baixas em regiões que, teoricamente, deveriam apresentar valores similares. Por essa razão, recomenda-se que as inspeções sejam realizadas com ângulos de até 45° em relação à superfície analisada (ITC, 2014).

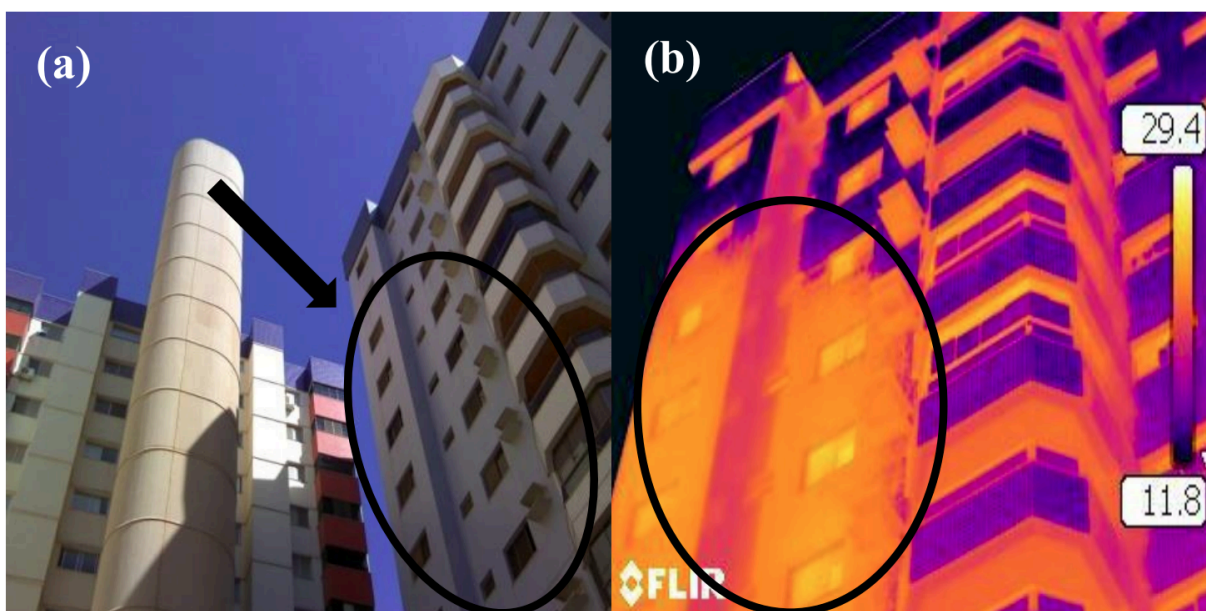
No contexto da construção civil, a emissividade tende a ser menos problemática, uma vez que materiais como os revestimentos cerâmicos apresentam emissividade superior a 0,8. Isso contribui para maior confiabilidade nas temperaturas obtidas nos termogramas, pois quanto maior o valor de emissividade de uma superfície, maior será sua energia radiante emitida e captada pela câmera, em comparação a superfícies e objetos vizinhos (ITC, 2008; Bagavathiappan et al., 2013; Barreira et al., 2016; Pavón, 2017 apud Lucenas, 2022, p. 25).

Outro fator a ser considerado é a **reflexão**, o fenômeno físico que dá origem ao parâmetro de temperatura refletida. Especialmente em medições realizadas em fachadas em ambiente urbano. Esse fenômeno ocorre quando a superfície do objeto inspecionado reflete a radiação térmica de elementos próximos, em vez de emitir apenas sua própria radiação. Como resultado, o termograma pode apresentar temperaturas que não condizem com a real condição

térmica da superfície. Esse tipo de interferência é comum em inspeções de fachadas de edifícios e pode comprometer seriamente a confiabilidade dos dados quando não há o devido controle desse parâmetro (Pavón, 2017).

Esse efeito é ilustrado na Figura 4, onde se observa a interferência causada pela torre vizinha ao edifício analisado. A câmera térmica registra a radiação refletida pela torre na fachada do prédio, gerando valores de temperatura incorretos, principalmente na região destacada do termograma.

Figura 4 - Reflexão em termograma de fachadas. (a) Imagem digital indicando a torre à esquerda, responsável pela reflexão. (b) Termograma evidenciando a área afetada pela radiação refletida na edificação à direita



Fonte: Pavón, 2017.

Por fim, a **distância entre a câmera e o alvo** é uma das variáveis de maior impacto prático na termografia infravermelha. À medida que essa distância aumenta, ocorre a ampliação do Campo de Visão Instantâneo (IFOV), fazendo com que cada pixel do termograma represente uma área maior da superfície. Isso reduz a resolução da imagem térmica e compromete a precisão na identificação de falhas (Andrade; Resende; Maranhão, 2019; Pavón, 2017). Quando a anomalia possui dimensões menores que a área representada por um único pixel, seu sinal térmico é atenuado pela média das temperaturas ao redor, podendo ser indetectável (Tomita; Crew, 2022).

Além disso, a atmosfera entre a câmera e o objeto pode interferir nas medições térmicas, ao atenuar parte da radiação emitida pelo alvo e adicionar sua própria emissão infravermelha. Embora essa influência seja considerada desprezível em distâncias inferiores a

5 metros (Hart, 1998), sua presença se torna mais relevante conforme a distância aumenta. Barreira et al. (2015) observaram que, mesmo com valores de ΔT relativamente estáveis até 10 metros, os termogramas apresentaram perda de nitidez e definição, o que pode comprometer a análise de detalhes mais sutis.

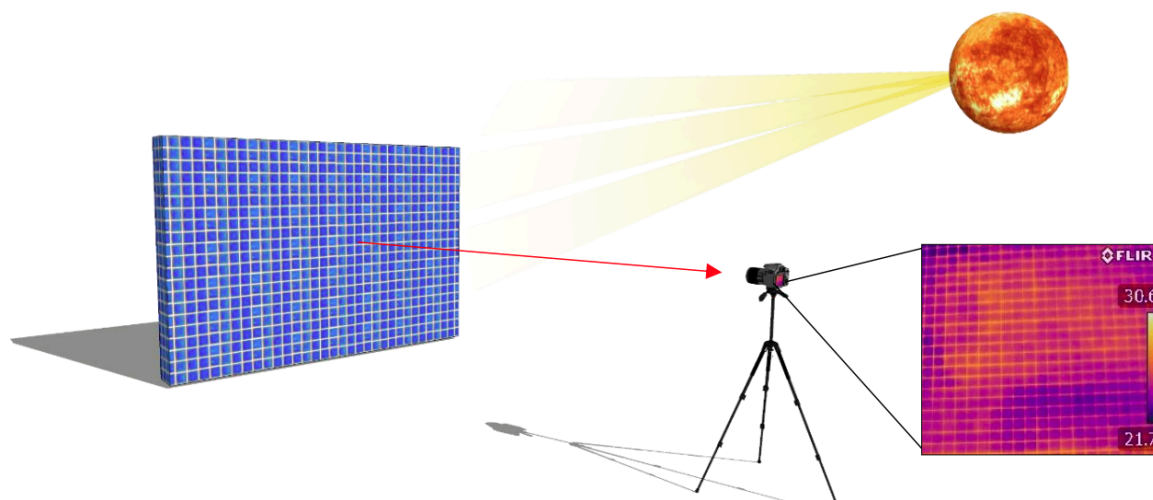
No contexto das inspeções em fachadas de edifícios, muitas vezes há dificuldades para posicionar a câmera a uma distância ideal. A altura das construções, obstáculos físicos e limitações de acesso frequentemente exigem medições a distâncias elevadas. Como reflexo dessas condições variadas, a literatura técnica apresenta recomendações amplamente divergentes, com intervalos que variam entre 5 e 50 metros, dependendo do contexto de aplicação e das especificações do equipamento utilizado (Bauer; Pavón, 2015; Tomita; Crew, 2022).

Diante dessa diversidade de abordagens, percebe-se que ainda não há consenso na literatura sobre os limites ideais de distância entre a câmera termográfica e o objeto inspecionado. Essa ausência de padronização gera incertezas, sobretudo em aplicações práticas, nas quais a correta determinação do ΔT é determinante para a identificação precisa das anomalias.

3.1.3 Termografia ativa e passiva

Como técnica de ensaio não destrutivo, a termografia pode ser aplicada de duas formas principais: passiva e ativa. A **termografia passiva** baseia-se na análise das variações térmicas naturais existentes na superfície do objeto, sem a necessidade de aplicação de estímulos artificiais. Conforme destaca Andrade (2020), no ensaio passivo, o estímulo ocorre exclusivamente por meio de fontes naturais, sem interferência externa. Complementando essa ideia, Kylili et al. (2014) afirmam que a termografia passiva é aplicada sob condições normais de operação e possui caráter predominantemente qualitativo, sendo indicada para identificar anomalias térmicas superficiais ou evidentes. A Figura 5 ilustra um exemplo de aplicação passiva, em que o estímulo térmico ocorre de forma natural, por meio da radiação solar.

Figura 5 - Exemplo de termografia passiva com indução natural pela radiação solar



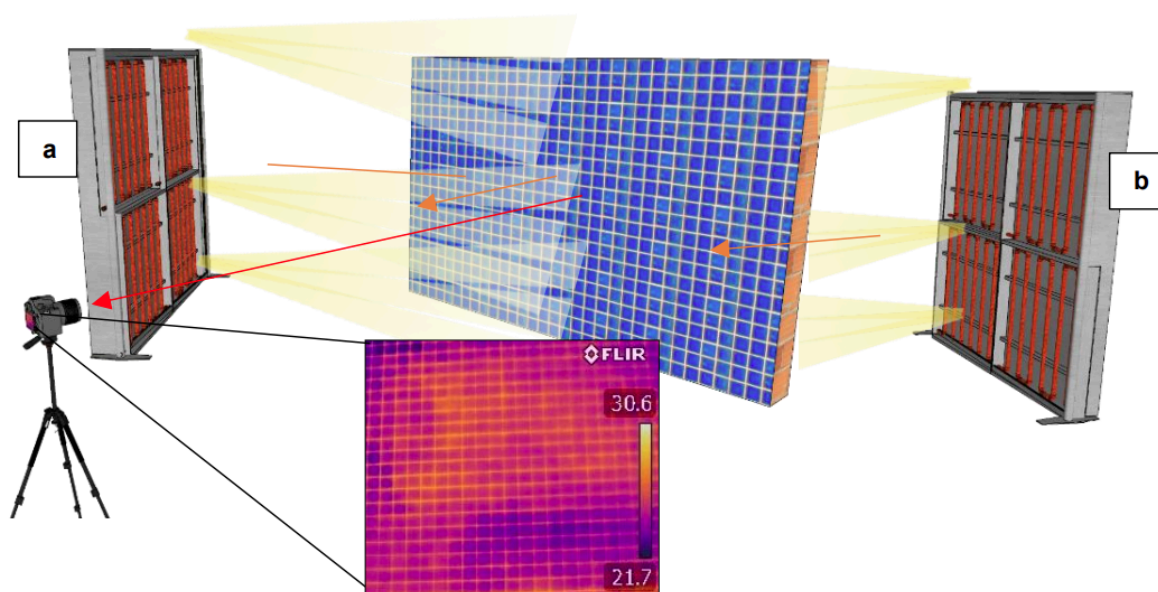
Fonte: Andrade, 2020.

Por sua vez, a **termografia ativa** é empregada quando o objeto analisado não apresenta contrastes térmicos suficientes para a identificação de defeitos ou discontinuidades. Nesse método, aplica-se um estímulo térmico externo a fim de induzir fluxos de calor e, assim, produzir diferenças de temperatura significativas (Lucenas, 2022; Pavón, 2017).

Maldague (2001) define essa abordagem como o uso de fontes artificiais de energia térmica para criar contrastes mensuráveis, possibilitando a detecção de defeitos ocultos. Segundo Bauer e Pavón (2015), a termografia ativa é especialmente recomendada para ensaios quantitativos, nos quais se busca avaliar propriedades térmicas específicas com maior precisão.

Entre os estímulos artificiais mais utilizados nesse tipo de ensaio destacam-se: lâmpadas de infravermelho, sopradores térmicos, resistências elétricas, aquecedores mecânicos, pulsos ultrassônicos, micro-ondas e laser (Andrade, 2020). A Figura 6 apresenta um exemplo de aplicação da termografia ativa com indução artificial, utilizando painéis radiantes posicionados na frente (a) e atrás (b) da superfície analisada. Dessa forma, a escolha entre a técnica passiva ou ativa dependerá das condições térmicas do ambiente, do tipo de defeito que se deseja identificar e do nível de profundidade exigido na análise.

Figura 6 - Exemplo de termografia ativa com indução artificial por painéis radiantes posicionados na frente (a) e atrás (b) da superfície analisada



Fonte: Andrade, 2020.

3.1.4 Investigações qualitativas e quantitativas

As investigações termográficas podem ser conduzidas de forma qualitativa e/ou quantitativa. A abordagem qualitativa se baseia na análise das variações das assinaturas térmicas entre corpos semelhantes, sem a atribuição de valores numéricos de temperatura. Essa modalidade é amplamente utilizada em aplicações onde a medição precisa da temperatura não é necessária, como em atividades de vigilância, detecção de vazamentos de ar e avaliação do nível de fluido em tanques (Holst, 2000).

Por outro lado, as medições quantitativas visam obter a temperatura real da superfície analisada. Essa abordagem é fundamental em atividades de monitoramento e manutenção preventiva, pois a identificação de temperaturas fora das faixas aceitáveis pode indicar a necessidade de reparo ou substituição de componentes (Holst, 2000).

Kylili (2014) destaca que a termografia passiva, em geral, é aplicada como uma técnica qualitativa, voltada à identificação de anomalias térmicas. Entre suas vantagens, ressalta-se a capacidade de detectar precocemente falhas em pinturas e alvenarias, frequentemente associadas ao acúmulo de umidade e mofo. Essa detecção precoce pode evitar danos irreversíveis e fornecer informações relevantes para a restauração e conservação de edificações históricas e monumentos.

Por fim, durante uma inspeção, a abordagem qualitativa geralmente representa a primeira etapa da análise, voltada à identificação de irregularidades por meio da análise visual do termograma, ficando os resultados sujeitos à experiência do avaliador. Em seguida, pode-se aplicar a abordagem quantitativa, com o objetivo de mensurar com precisão as temperaturas e aprofundar o diagnóstico técnico por meio da identificação de possíveis anomalias invisíveis ao olho nu (Pavón, 2017).

3.1.5 Identificação de anomalias

De acordo com Holst (2000), a identificação de anomalias térmicas pode ser feita de duas maneiras principais: por comparação com objetos conhecidos ou por simetria. No teste por comparação, para localizar irregularidades, o objeto a ser analisado é comparado a outro similar, de modo que ambos estejam sujeitos às mesmas condições. Já a abordagem por simetria é útil para objetos com padrões simétricos. Nesse caso, a identificação de uma diferença entre os lados simétricos pode indicar a presença de uma anomalia.

Maldague (2001) complementa que, em inspeções passivas, variações de temperatura (ΔT) na faixa de 1 a 2 °C podem ser consideradas suspeitas de anomalia. Além disso, variações de 4 °C podem ser indicativas de um comportamento anormal e, portanto, uma forte evidência de defeito.

Em contextos específicos, as normas técnicas fornecem critérios pragmáticos para a identificação de anomalias. A norma ASTM D4788-03, por exemplo, estabelece que para a detecção de delaminações, deve existir uma diferença de temperatura (ΔT) de no mínimo 0,5 °C entre a área defeituosa e o concreto adjacente. Durante inspeções diurnas, essas anomalias se manifestam como áreas "quentes" em contraste com o fundo "frio".

3.2 Aplicações da termografia

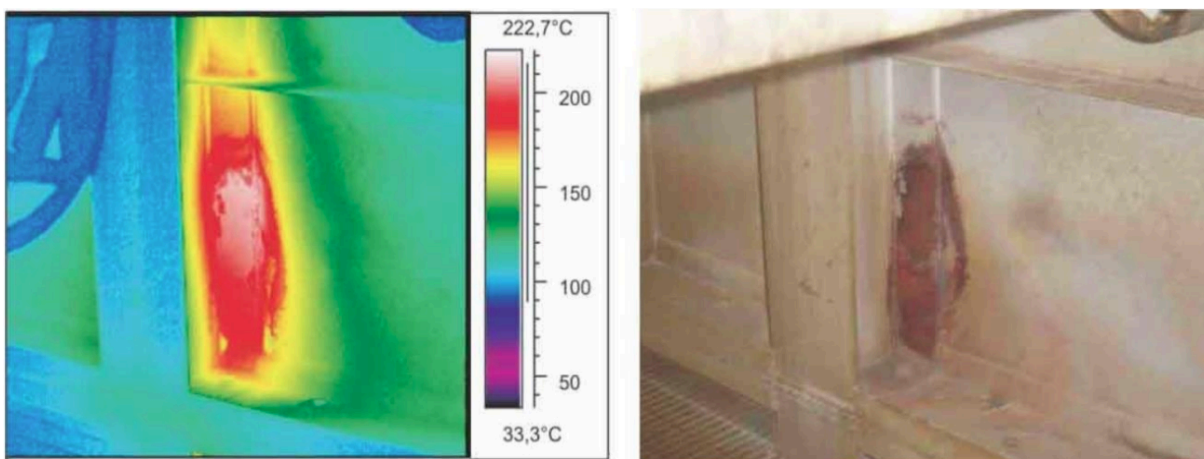
A termografia é uma técnica versátil com diversas aplicações. Na medicina, é utilizada para exames não invasivos de tecidos e fluidos corporais. Na indústria e construção civil, é comumente aplicada na inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos, no diagnóstico predial e na detecção de anomalias em revestimentos externos de estruturas, como caldeiras, fornos, chaminés e fachadas.

3.2.1 Aplicações gerais da termografia

As inspeções termográficas são fundamentais para a manutenção preditiva, permitindo a detecção precoce de problemas e a realização de reparos sem a necessidade de desmontagem de equipamentos ou danos às estruturas. Isso contribui para a eliminação de falhas de forma eficiente, evitando paradas não programadas e aumentando a segurança (Gomes Júnior, 2018 apud Juliani, 2019).

Na indústria e construção civil, a termografia é amplamente aplicada em processos como a verificação de isolamentos térmicos, analisando o grau de eficiência dos materiais isolantes. Por exemplo, a degradação do isolante térmico e o desgaste de refratários podem ser identificados através de mapas termográficos. Estes mapas permitem um planejamento preciso de manutenções, identificando áreas específicas que necessitam de reparo. Esse tipo de análise é comum em superfícies como secadores, fornos rotativos, caldeiras, tubulações, purgadores de vapor, entre outros, conforme exemplificado na Figura 7 com o termograma de uma caldeira (Gomes Júnior, 2018 apud Juliani, 2019).

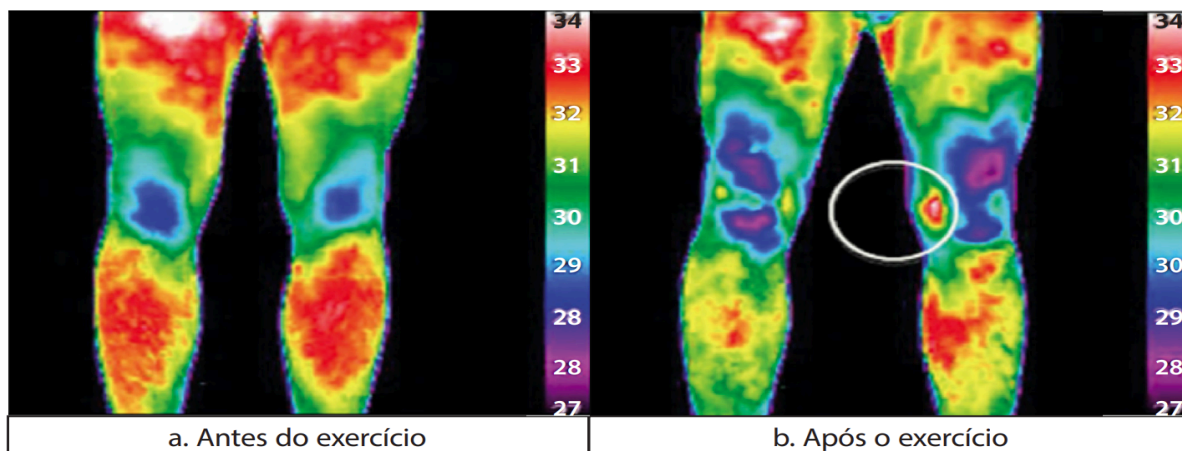
Figura 7 - Termograma destacando a condição da superfície de uma caldeira



Fonte: Gomes Júnior, 2018 apud Juliani, 2019.

Na medicina do esporte, a termografia é empregada como método não invasivo para avaliar variações de temperatura na superfície da pele, permitindo identificar alterações fisiológicas como inflamações (Figura 8), problemas circulatórios e sinais precoces de sobrecarga muscular. A técnica possibilita o monitoramento da carga de trabalho dos atletas e auxilia na prevenção e acompanhamento de lesões musculares, sendo uma ferramenta complementar ao exame clínico (Côrte; Hernandez, 2016).

Figura 8 - Imagem termográfica mostrando aumento da temperatura na região medial do joelho esquerdo indicativa de possível inflamação



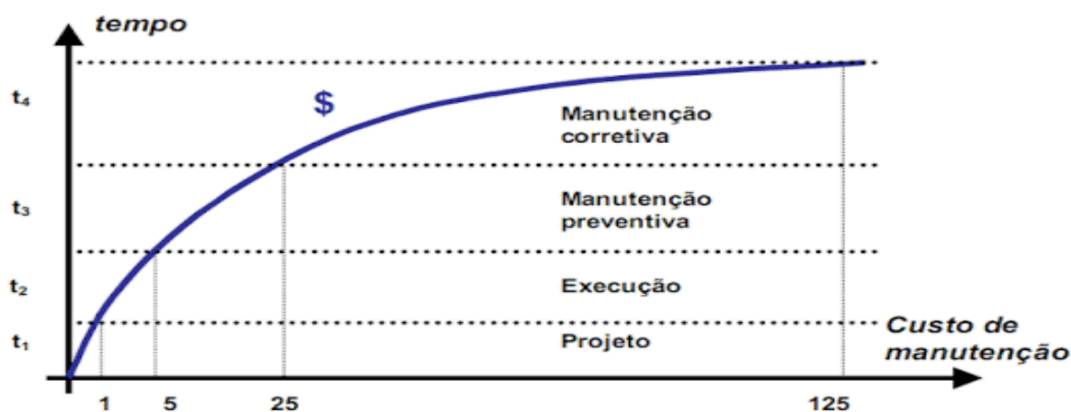
Fonte: Côrte; Hernandez, 2016.

3.2.2 Termografia aplicada em inspeção predial

Na construção civil, muitas manifestações patológicas são facilmente percebidas por serem visíveis, o que pode causar desconforto aos usuários e representar riscos quando afetam o funcionamento ou a estabilidade da edificação (Souza et al., 2023). No entanto, há também anomalias de difícil detecção visual, como o descolamento do revestimento, que podem permanecer ocultas até atingirem um estágio mais avançado.

Quando identificadas ainda em sua fase inicial, essas manifestações patológicas podem ser corrigidas com maior facilidade e a um custo significativamente menor. Essa relação direta entre o tempo de intervenção e o aumento dos custos é fundamentada pela Lei de Sitter (ou Lei de Evolução dos Custos), que demonstra uma progressão geométrica nos gastos à medida que a manutenção é postergada, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Lei de Evolução dos Custos (Lei de Sitter)

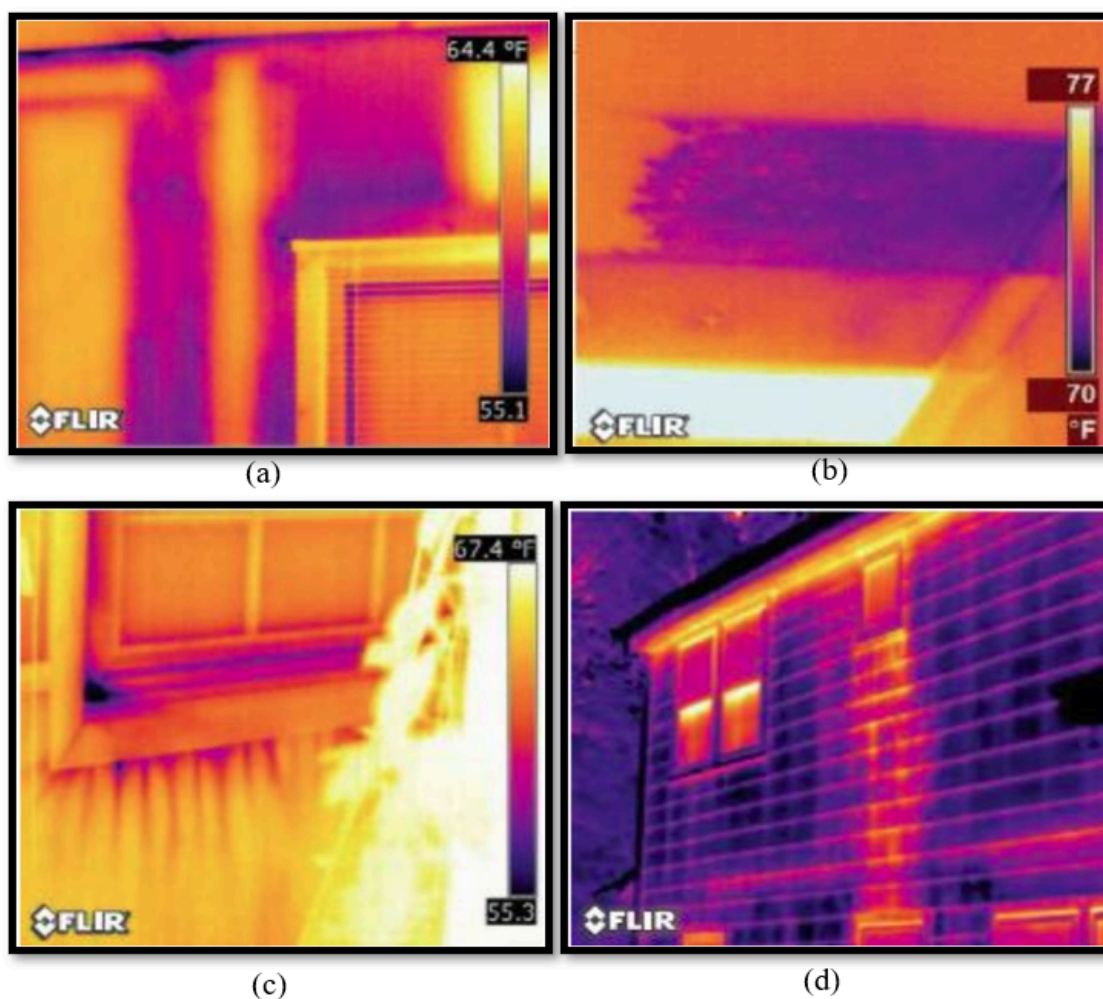


Fonte: Adaptado de Sitter, 1984).

Ao analisar a progressão de custos apresentada, onde a intervenção corretiva pode se tornar exponencialmente mais onerosa, a manutenção preventiva se mostra mais vantajosa do que a manutenção corretiva. Para isso, a termografia por infravermelho tem se destacado como uma ferramenta eficiente no apoio à inspeção predial, permitindo identificar falhas ocultas antes que comprometam a integridade da edificação (Campelo et al., 2025; Patriota Junior; Batista; Póvoas, 2020; Pavón, 2017).

A popularização da termografia na construção civil se deve ao fato de se tratar de um ensaio não destrutivo, permitindo uma análise eficiente sem a necessidade de intervenção direta nas estruturas (Takeda; Mazer, 2018). Com o uso de câmeras termográficas, é possível diagnosticar problemas como falhas no isolamento térmico, infiltrações de água, vazamentos de ar e dutos, presença de umidade, mofo e até focos de pragas como cupins (FLIR, 2013). Na Figura 10 são ilustradas algumas falhas detectadas por termografia:

Figura 10 - Exemplos de anomalias detectadas por termografia na construção civil: (a) falha no isolamento térmico; (b) infiltração por umidade; (c) vazamento de ar; (d) vazamento de um chuveiro



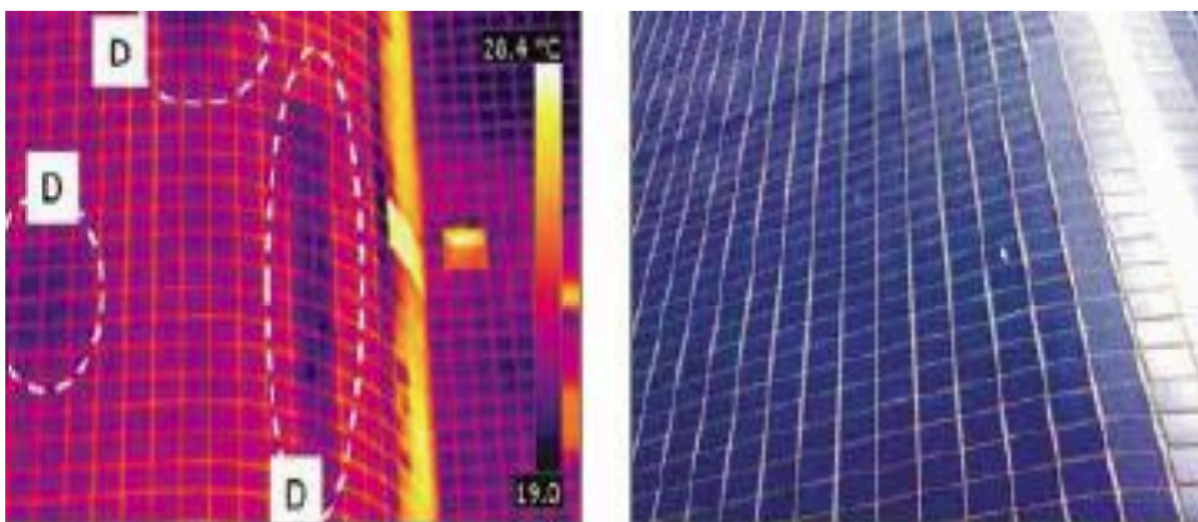
Fonte: Adaptado de FLIR, 2013.

O termograma (a) da Figura 10 mostra uma falha no isolamento térmico, com variações de cor que indicam aumento da temperatura e comprometem a eficiência energética da estrutura. De forma similar, a imagem (b) revela uma infiltração por umidade, identificada por uma mancha fria (em tons de roxo), causada pelo resfriamento evaporativo da água. Já em (c), observa-se um vazamento de ar interno mais frio ao redor de uma esquadria, claramente mapeado pela termografia. Por fim, a imagem (d) destaca um vazamento de chuveiro, evidenciado pelo rastro térmico da água na parede, possibilitando uma intervenção precisa antes de danos maiores.

Toda manifestação patológica está, em algum momento, associada a alterações térmicas. A termografia infravermelha é eficaz na detecção de anomalias relacionadas a variações no fluxo de calor e na temperatura da superfície, especialmente quando essas anomalias estão próximas à superfície do material (Bauer; Pavón, 2015).

Essa técnica permite, por exemplo, a identificação de descolamento em fachadas revestidas com cerâmica, onde as áreas afetadas apresentam temperaturas superficiais distintas: mais altas durante o fluxo de calor positivo (do exterior para o interior) e mais baixas durante o fluxo negativo (do interior para o exterior) (Bauer et al., 2015). A Figura 11 apresenta um exemplo de aplicação da termografia na detecção de descolamento em fachada.

Figura 11 - Detecção de destacamentos em fachada cerâmica

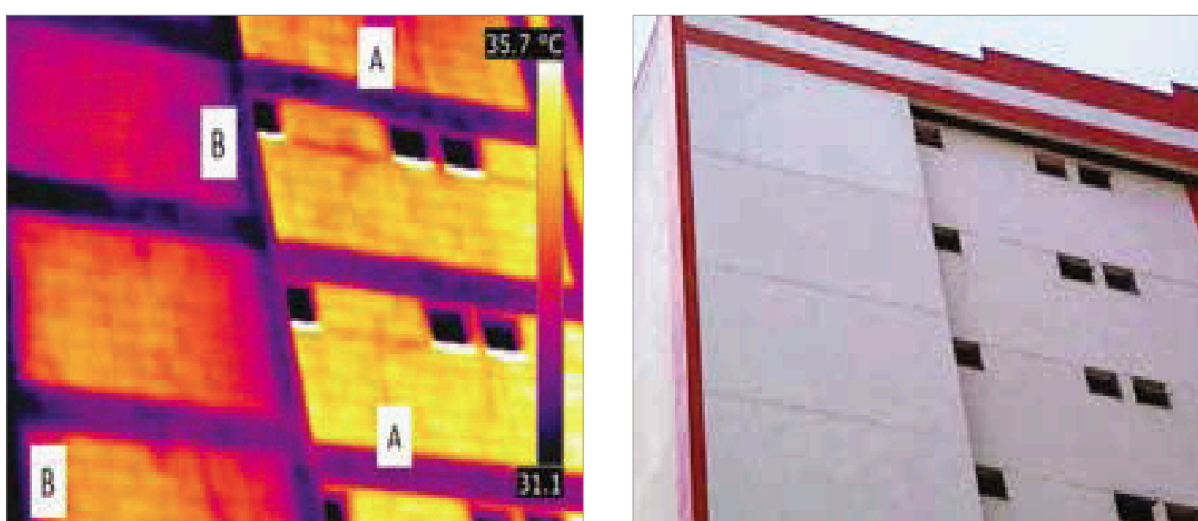


Fonte: Bauer; Pavón, 2015.

Além disso, elementos estruturais podem ser identificados nos termogramas devido à sua inércia térmica distinta em relação à alvenaria. A inércia térmica refere-se à capacidade do material de armazenar calor e à velocidade com que sua temperatura varia em resposta ao

ambiente. Elementos com maior inércia, como o concreto da estrutura, tendem a aquecer e resfriar mais lentamente do que os blocos da alvenaria. No entanto, sua visualização depende das condições ambientais, bem como do sentido e da intensidade do fluxo de calor. Durante os ciclos de aquecimento e resfriamento, essas diferenças térmicas geram contrastes na superfície, permitindo que a estrutura se destaque. Na Figura 12, é possível observar que as vigas (A) e os pilares (B) aparecem como regiões mais frias na imagem térmica, evidenciando essa variação de comportamento térmico (Bauer; Pavón, 2015).

Figura 12 - Identificação de elementos estruturais da edificação

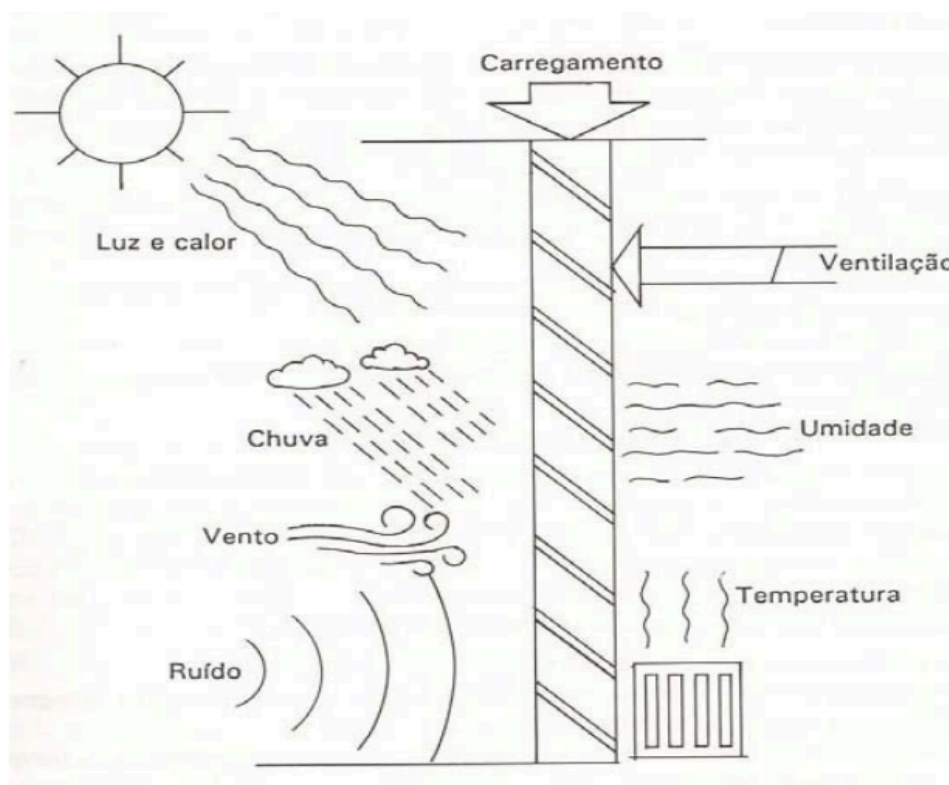


Fonte: Bauer; Pavón, 2015.

3.3 Identificação de manifestações patológicas em fachadas com termografia

As fachadas são elementos expostos diretamente às ações do meio externo como a radiação solar, variações de umidade, vento e chuva, conforme ilustrado na Figura 13. Fatores esses que aceleram a degradação de seus componentes, especialmente em edificações de múltiplos pavimentos (Ala et al., 2021). Além de cumprir funções estéticas e protetivas, atuam como interface entre o ambiente interno e externo, ficando vulneráveis a ações físicas, químicas e biológicas que, ao longo do tempo, comprometem seu desempenho (Campelo et al., 2025; Tondelo; Barth, 2019).

Figura 13 - Elementos que influenciam o desempenho das fachadas



Fonte: Cincotto, Silva, Carasek, 1995.

Esse cenário é agravado por falhas construtivas, que ainda são frequentes no contexto brasileiro. Estima-se que mais de 80% das edificações sejam construídas sem acompanhamento técnico adequado, o que contribui para a recorrência de manifestações patológicas (CAU/BR, 2022). Entre as anomalias mais comuns observadas nas fachadas estão fissuras, trincas, descolamentos de revestimentos, eflorescências e manchas (Bauer; Souza; Mota, 2021).

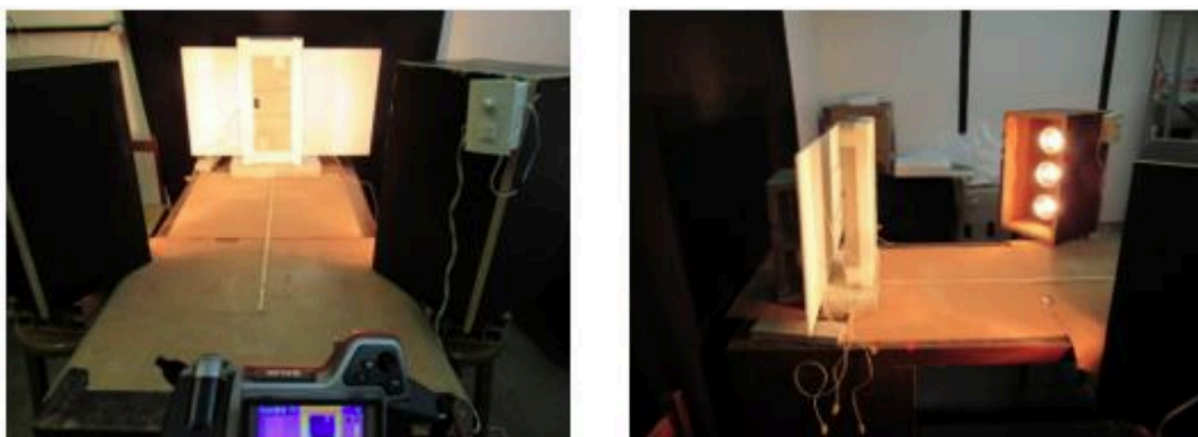
Diante disso, a termografia infravermelha tem se destacado como uma técnica de ensaio não destrutivo capaz de detectar variações térmicas associadas a falhas construtivas ocultas. Sua aplicação permite diagnósticos preventivos e monitoramentos mais precisos, promovendo maior durabilidade e segurança nas edificações (Souza et al., 2023).

Nos tópicos a seguir, são apresentados estudos que demonstram a aplicação da termografia infravermelha na detecção de fissuras, umidade e, principalmente, descolamentos em revestimentos cerâmicos. Foi dado destaque às pesquisas que abordam os descolamentos cerâmicos, uma vez que o foco deste trabalho é analisar a influência da distância entre a câmera termográfica e o alvo na identificação de descolamentos em revestimentos cerâmicos.

3.3.1 Fissuras e trincas

Silva e Bauer (2024) conduziram um estudo laboratorial para investigar a caracterização de fissuras em revestimentos de argamassa utilizando termografia infravermelha. O experimento, que se caracteriza como uma investigação termográfica ativa (Figura 14), consistiu na aplicação de ciclos de aquecimento e resfriamento em placas de argamassa com fissuras de diferentes profundidades, monitorando as variações de temperatura por meio de termogramas e termopares. Os resultados indicaram que fissuras de maior profundidade apresentaram maior diferença de temperatura durante o aquecimento, enquanto nas fissuras superficiais esse contraste foi mais evidente na fase de resfriamento. O estudo concluiu que a termografia é uma técnica eficaz para a detecção e caracterização de fissuras, destacando que, em investigações termográficas em fachadas reais (termografia passiva), é fundamental realizar inspeções tanto em condições de aquecimento quanto no resfriamento.

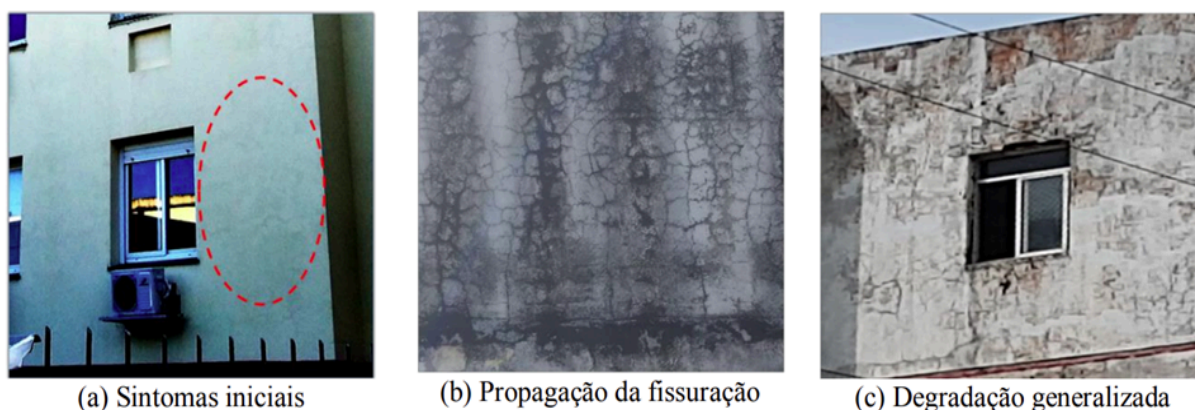
Figura 14 - Investigação termográfica ativa



Fonte: Adaptado de Silva; Bauer, 2024.

Bauer, Souza e Mota (2021) realizaram uma investigação sobre a degradação de fachadas revestidas em argamassa em edifícios de Brasília-DF, utilizando a termografia infravermelha como ferramenta auxiliar de diagnóstico. A pesquisa envolveu a inspeção de 90 amostras de fachadas com idades entre 20 e 60 anos, identificando padrões de degradação relacionados à orientação solar e às zonas da fachada. Os resultados mostraram que as fissuras são as anomalias com maior recorrência (Figura 15) e que a termografia é uma técnica eficiente para auxiliar na identificação de áreas com incidência de degradação, auxiliando na elaboração de estratégias de manutenção preventiva.

Figura 15 - Exemplo das etapas evolutivas da degradação por fissuração

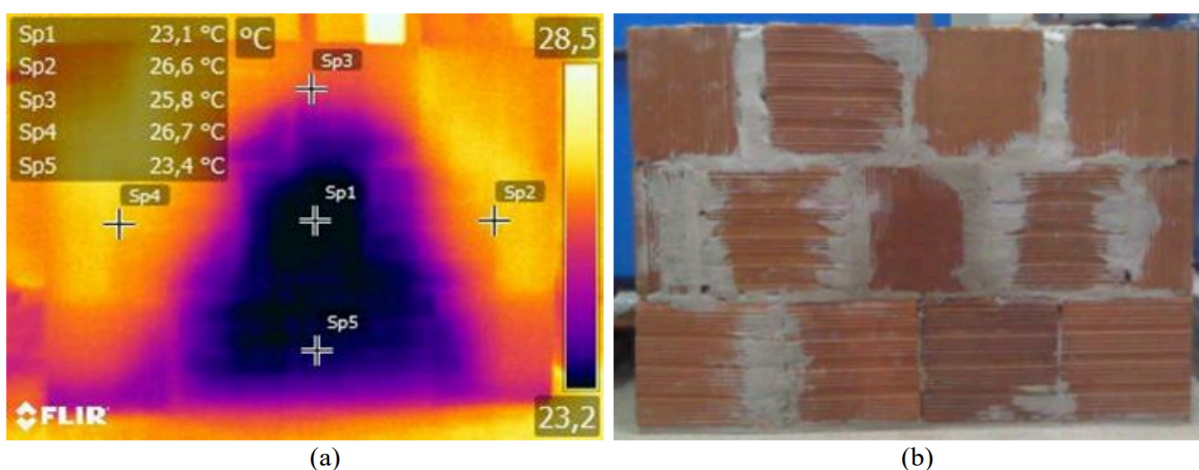


Fonte: Bauer; Souza; Mota, 2021.

3.3.2 Umidade

Santos, Rocha e Póvoas (2019) estudaram o uso da termografia infravermelha para detecção de umidade em paredes internas. Para isso, construíram protótipos de alvenaria com diferentes revestimentos e simularam vazamentos através de tubulações perfuradas. Imagens termográficas mostraram que a tecnologia foi eficaz na identificação de áreas úmidas, especialmente em superfícies porosas, como gesso sem pintura, onde as variações de temperatura são mais pronunciadas. A Figura 16, por exemplo, demonstra um dos resultados do estudo, onde a área úmida é claramente visível no termograma da parede de tijolos. Por outro lado, a detecção foi mais difícil em revestimentos impermeáveis, como tinta acrílica e cerâmica. O estudo concluiu que a termografia pode identificar vazamentos antes que eles se tornem visíveis, mas sua aplicação deve ser complementada por outras técnicas devido às limitações em certos acabamentos.

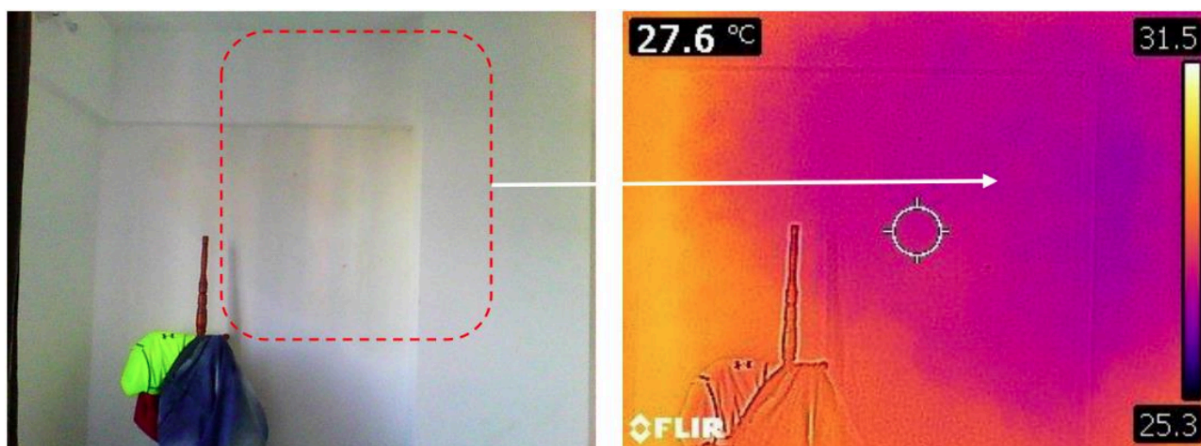
Figura 16 - Inspeção em parede de tijolos com termografia: (a) termograma; (b) fotografia



Fonte: Santos; Rocha; Póvoas, 2019.

Silva, Coelho e Barbosa (2021) realizaram um estudo de caso em Salvador-BA para investigar o uso da termografia infravermelha na detecção de infiltrações em fachadas de edifícios. Com o auxílio de câmeras termográficas e drones, mapearam áreas de umidade, fissuras e descolamentos de tinta em um prédio residencial. As imagens mostraram que regiões com infiltração apresentavam temperaturas mais baixas, mesmo sem sinais visíveis (Figura 17). A técnica ajudou a localizar pontos críticos e orientar ações de manutenção. Concluiu-se que a termografia é eficaz como ferramenta de diagnóstico preventivo, especialmente em ambientes com alta umidade, como cidades litorâneas, promovendo a conservação das fachadas e a segurança dos moradores.

Figura 17 - Identificação de região com umidade por meio da termografia



Fonte: Silva; Coelho; Barbosa, 2021.

3.3.3 Descolamento

O descolamento cerâmico é caracterizado pela perda de aderência entre a placa cerâmica e a base de assentamento, ou entre as demais camadas do sistema de revestimento, resultando na formação de vazios ou bolsas de ar por trás da placa (Bauer; Lucenas; Pavón, 2023; Tanaka; Pavón, 2021). Essa manifestação patológica pode ser ocasionada por diversos fatores, sendo os mais frequentes as variações térmicas e higroscópicas, que geram tensões de cisalhamento superiores à capacidade de aderência dos materiais, além de falhas na execução e movimentações da estrutura (Lucenas, 2022).

Trata-se de uma manifestação patológica crítica que compromete a durabilidade e a segurança das edificações. Nesse contexto, a termografia infravermelha tem se destacado como uma técnica não destrutiva eficaz na detecção precoce dessas anomalias, permitindo

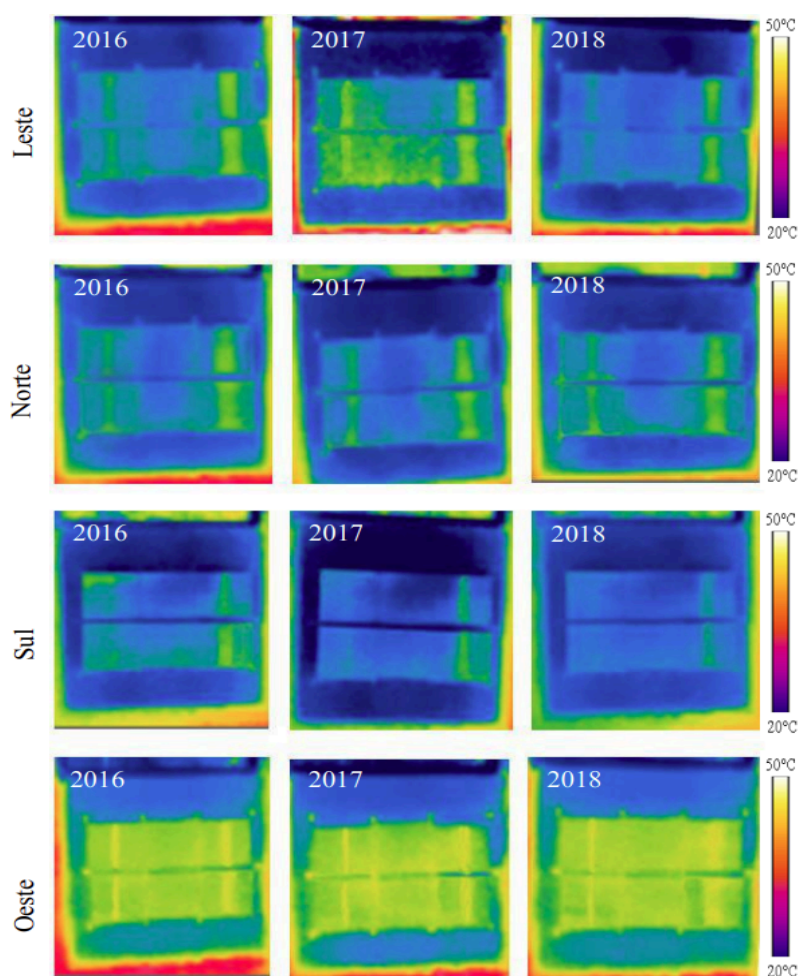
intervenções preventivas e redução de custos com manutenção corretiva (Patriota Junior; Batista; Póvoas, 2020).

Estudos em protótipo

Tanaka e Pavón (2021) investigaram a influência das dimensões dos descolamentos em revestimentos cerâmicos na identificação de descolamento por termografia infravermelha. Para isso, construíram um protótipo de alvenaria com descolamentos simulados, variando em largura (2,5 cm a 5,0 cm) e profundidade (0,5 cm a 1,0 cm). Os ensaios foram realizados em ambiente externo, considerando diferentes orientações solares ao longo de três anos. Os resultados indicaram que descolamentos com maiores larguras foram mais facilmente detectados nos termogramas, especialmente durante os períodos de maior incidência solar. Em regiões sem insolação direta, como na orientação sul, não foram identificados defeitos com 2,5 cm de largura. A profundidade, por sua vez, não apresentou influência significativa na detecção térmica.

No estudo, os descolamentos foram identificados com sucesso por meio da termografia infravermelha, utilizando uma câmera FLIR i3, posicionada a uma distância de 1,3 metros da câmera termográfica ao alvo. O principal parâmetro de análise foi o ΔT , definido como a diferença de temperatura entre a área com descolamento e a área íntegra. Os valores de ΔT variaram conforme a orientação solar e as dimensões do defeito, alcançando picos de aproximadamente 2,0 °C nos horários de maior aquecimento superficial. Embora a área dos descolamentos não tenha sido quantificada por meio dos termogramas, o estudo demonstrou que a largura teve papel determinante na resposta térmica observada, enquanto a profundidade teve impacto negligenciável. Conforme ilustrados nos termogramas apresentados na Figura 18.

Figura 18 - Efeito da orientação solar na detecção termográfica de descolamentos

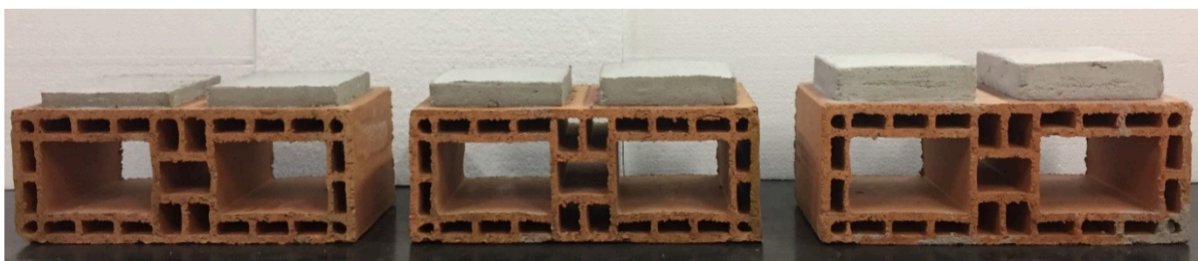


Fonte: Tanaka; Pavón, 2021.

Rodrigues et al. (2019) investigaram o uso da termografia infravermelha na detecção de descolamentos em sistemas de revestimentos aderidos, avaliando a viabilidade da técnica com o uso de câmeras de baixa resolução térmica. Em ambiente laboratorial, foram construídos protótipos de alvenaria com revestimento em argamassa de emboço, conforme ilustrado na Figura 19, nos quais simularam-se falhas por meio da inserção de placas de poliestireno expandido (EPS), com diferentes espessuras. Os tamanhos dos descolamentos simulados foram de $5,0 \times 5,0$ cm; $2,5 \times 2,5$ cm e $1,5 \times 1,5$ cm. Os resultados demonstraram que, mesmo com equipamentos de menor desempenho, foi possível identificar anomalias térmicas associadas às falhas, especialmente aquelas de maiores dimensões e menor profundidade. Dessa forma, o estudo valida a aplicação da termografia como ferramenta viável para inspeções preliminares de revestimentos aderidos, com ênfase na detecção de anomalia superficial.

A identificação dos descolamentos foi realizada exclusivamente por meio da termografia infravermelha. Não foi determinado um valor numérico para o ΔT , sendo adotada uma abordagem qualitativa baseada na análise visual dos gradientes térmicos nos termogramas. A área das falhas também não foi estimada por meio dos termogramas, restringindo-se aos tamanhos pré-estabelecidos nos protótipos. Os ensaios laboratoriais foram conduzidos com as câmeras posicionadas a uma distância fixa de 1,0 metro em relação ao alvo. Foram utilizadas duas câmeras termográficas de baixa resolução, cujos modelos não foram especificados. A pesquisa concluiu que a técnica apresenta resultados satisfatórios quando aplicada a curtas distâncias, mesmo em condições de menor qualidade de imagem térmica.

Figura 19 - Protótipos utilizados no estudo com inserção de falhas simuladas (com EPS) em diferentes profundidades no revestimento



Fonte: Rodrigues et al., 2019.

Estudos em fachadas

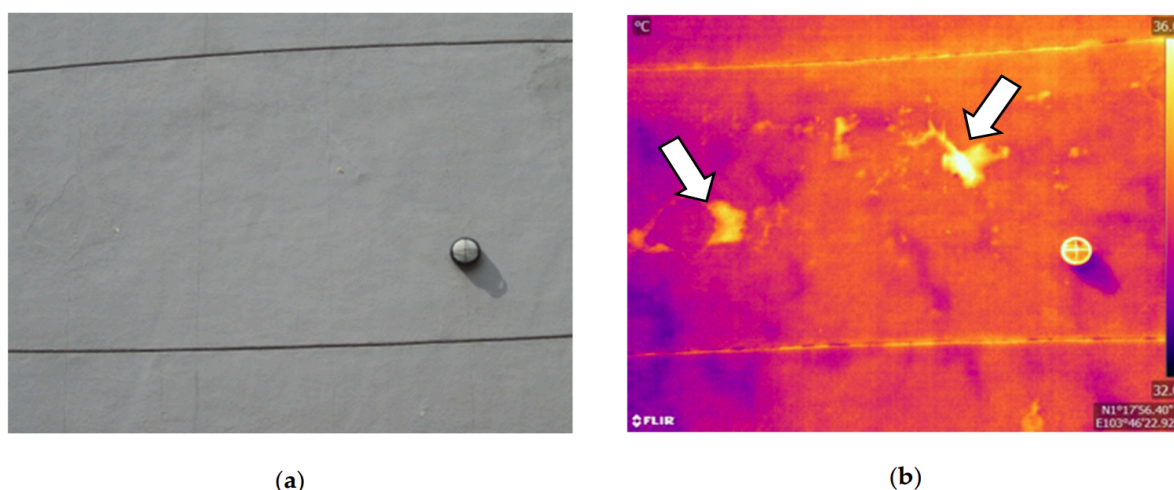
No artigo de revisão de literatura de Tomita e Chew (2022), foram analisados cerca de 200 estudos sobre o uso da termografia infravermelha (IRT) para identificar delaminações em fachadas de edifícios e infraestruturas. O estudo concluiu que a eficácia da técnica depende de fatores como os relacionados ao ambiente, ao equipamento e ao alvo. Os melhores resultados ocorreram no melhor horário dependendo da orientação da fachada (manhã para a face leste, tarde para a oeste), quando o contraste térmico entre áreas com e sem falhas é mais acentuado (Figura 20). Destacou-se também a relação largura/profundidade da falha (WTDR) como fator decisivo: delaminações com WTDR inferior a 2,0 durante o dia ou 2,5 à noite foram mais difíceis de detectar.

A detecção dos descolamentos nos estudos revisados foi feita majoritariamente por meio da termografia, com validação complementar pelo método da percussão. O ΔT foi o principal critério de detecção, mas sem um valor fixo, variando entre 0,2 °C e 1,2 °C, sendo valores como 0,5 °C (padrão ASTM D4788-03) e 1,0 °C citados como referências comuns. O

artigo não descreve um método para o cálculo da área do descolamento, mas reforça que defeitos maiores geram um ΔT mais evidente, facilitando a identificação.

Em relação à distância entre a câmera e o alvo, os estudos analisados apresentaram variações de 5 a 50 metros, sendo que distâncias inferiores a 10 metros são preferíveis por proporcionarem melhor resolução e menor interferência atmosférica. Quanto à resolução das câmeras, o artigo destaca o modelo de 640×512 pixels como um “limite superior comum”, representando um padrão de alta qualidade disponível no mercado. Apesar da ausência de valores numéricos específicos de IFOV, recomenda-se o uso de lentes com “pequeno IFOV”, como as de tipo telescópico, especialmente em inspeções realizadas a maiores distâncias.

Figura 20 - Detecção de descolamento em fachada de edifício durante o ciclo de aquecimento: (a) imagem real da fachada; (b) termograma correspondente. As setas indicam as regiões com indícios de delaminação

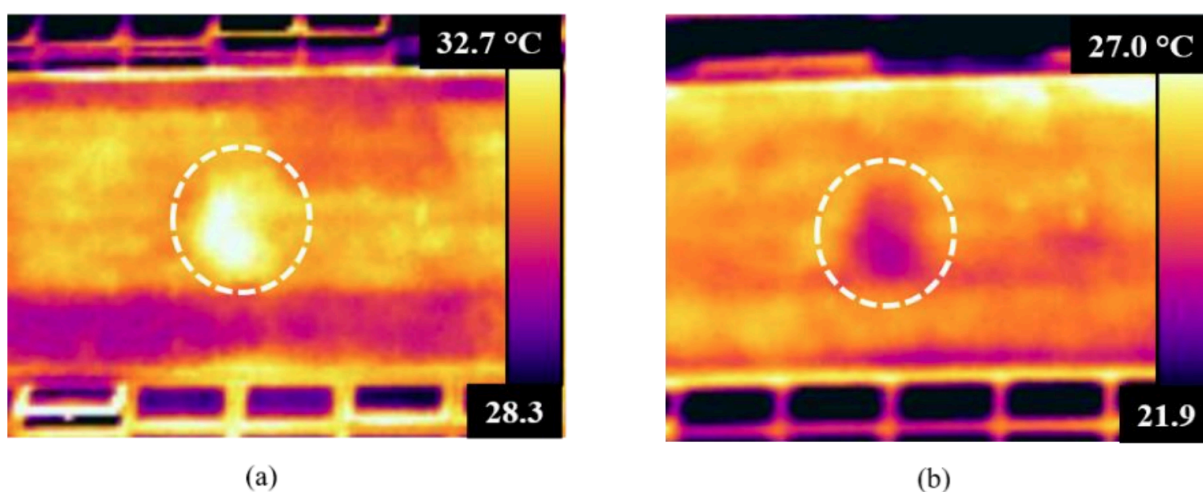


Fonte: Tomita; Chew, 2022.

Bauer, Lucenas e Pavón (2023) realizaram inspeções termográficas em fachadas de edifícios revestidas com cerâmica, com o objetivo de estabelecer critérios mais precisos para a identificação de descolamentos e outras anomalias. O estudo contemplou fachadas com diferentes orientações solares (norte, sul, leste e oeste) e utilizou dois parâmetros principais para análise: o ΔT (contraste absoluto), que representa a diferença de temperatura entre uma região com defeito e uma área íntegra adjacente; e o ΔT_{cor} (contraste corrigido), calculado pela divisão do ΔT pela temperatura da superfície íntegra. Os resultados demonstraram que fachadas mais expostas à radiação solar facilitaram a detecção das anomalias. Além disso, concluiu-se que o uso combinado de ΔT e ΔT_{cor} aumenta a confiabilidade da análise, sendo o ΔT_{cor} particularmente útil para padronizar avaliações sob diferentes condições térmicas.

A identificação dos descolamentos foi realizada exclusivamente por meio da termografia infravermelha, utilizando uma câmera FLIR T400. O estudo determinou os valores de ΔT , que variaram conforme a orientação da fachada e o ciclo térmico: durante o aquecimento, os valores oscilaram entre 0,59 °C e 0,98 °C, enquanto no arrefecimento variaram de -1,64 °C a 0,76 °C. A Figura 21 ilustra essa variação, mostrando como o mesmo descolamento é detectado como um “ponto quente” durante o aquecimento e como um “ponto frio” durante o arrefecimento. A distância entre a câmera e as fachadas não foi informada pelos autores.

Figura 21 - Detecção de descolamento cerâmico por termografia: (a) como “ponto quente” no aquecimento e (b) como “ponto frio” no arrefecimento



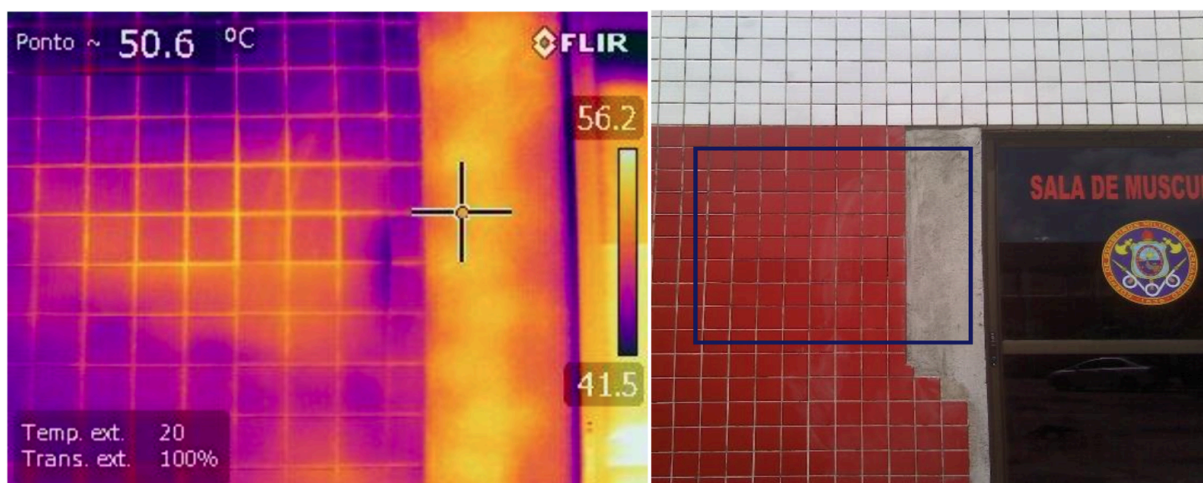
Fonte: Bauer; Lucenas; Pavón, 2023.

Patriota Junior, Batista e Póvoas (2020) realizaram um estudo de caso na cidade de Recife-PE com o objetivo de avaliar a eficácia da termografia infravermelha na identificação de descolamentos em fachadas com revestimento cerâmico. A metodologia consistiu na análise de termogramas obtidos durante o período de maior incidência solar, sendo os indícios de descolamento posteriormente confirmados por ensaios de percussão, os quais detectaram som cavo nas áreas com anomalias térmicas.

Os resultados demonstraram que a termografia foi eficaz na detecção de descolamentos não visíveis a olho nu, evidenciando seu potencial como ferramenta complementar em inspeções prediais, especialmente para diagnósticos precoces de manifestações patológicas em revestimentos. O estudo identificou descolamentos por meio da análise de variações térmicas nos termogramas (Figura 22), com determinação do ΔT de aproximadamente 10 °C em áreas com cerâmica branca e 8 °C em áreas com cerâmica

vermelha. No entanto, o artigo não apresenta o cálculo da área dos descolamentos identificados. A câmera utilizada foi uma FLIR E-60, e as imagens foram capturadas a distâncias variando entre 1 e 10 metros, sem que fossem relatadas interferências significativas da distância nos resultados obtidos.

Figura 22 - Termograma de fachada, evidenciando região com descolamento



Fonte: Adaptado de Patriota Junior; Batista; Póvoas, 2020.

Discussão dos Estudos Apresentados

A análise dos estudos apresentados, tanto utilizando protótipos quanto em fachadas, confirma que a termografia infravermelha é eficaz na identificação de descolamentos em revestimentos cerâmicos. Nos ensaios com protótipos, os descolamentos foram detectados com sucesso, sobretudo quando possuíam maiores larguras, sendo utilizados valores de ΔT em alguns estudos, como em Tanaka e Pavón (2021), que reportaram variações de até 2,0 °C, embora sem cálculo da área afetada. Já Rodrigues et al. (2019) adotaram uma abordagem qualitativa, sem mensuração do ΔT ou da área de falha, mas evidenciaram que câmeras de baixa resolução ainda permitem identificar anomalias em curtas distâncias.

Nos estudos em fachadas reais, a identificação também foi bem-sucedida, com uso recorrente do ΔT como critério principal. Tomita e Chew (2022) compilaram valores de ΔT entre 0,2 °C e 1,2 °C, enquanto Bauer, Lucenas e Pavón (2023) observaram variações de -1,64 °C a 0,98 °C, dependendo do ciclo térmico. Patriota Junior, Batista e Póvoas (2020) relataram os maiores contrastes térmicos, com ΔT de até 10 °C em cerâmicas claras. Nenhum dos estudos realizou o cálculo preciso da área do descolamento a partir dos termogramas, restringindo-se à análise pontual dos contrastes. Quanto à distância de aquisição das imagens, observou-se variação de 1,0 a 1,3 metros nos estudos com protótipos, enquanto nas fachadas

os valores oscilaram entre 1 e 50 metros. No entanto, apesar de distâncias menores serem geralmente preferidas por garantirem melhor resolução e precisão, não há um consenso na literatura quanto à influência direta da distância na identificação dos descolamentos em revestimentos cerâmicos, tampouco sobre um limite definido para sua eficácia.

4 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi estruturada para garantir uma abordagem sistemática e rigorosa na análise da forma como a distância entre a câmera infravermelha e o alvo interferiu na detecção de descolamentos na inspeção predial com termografia. As etapas metodológicas foram organizadas conforme o fluxograma apresentado na Figura 23, o que possibilitou uma coleta abrangente de dados, uma análise detalhada e a formulação de recomendações fundamentadas.

Figura 23 - Fluxograma do trabalho



Fonte: Autor, 2025.

O fluxograma apresentado organizou as três etapas principais deste estudo. A primeira etapa, *Estudo Experimental com Protótipo*, consistiu na aplicação da termografia infravermelha em um modelo de alvenaria com descolamentos simulados, permitindo analisar a influência da distância da câmera em um alvo cujos defeitos possuíam dimensões conhecidas e controladas. Na segunda etapa, *Estudo em Fachada*, a mesma metodologia foi aplicada em fachadas, com o objetivo de validar, em condições práticas, os resultados obtidos com o protótipo. Por fim, a terceira etapa, *Análise Comparativa*, confrontou os dados obtidos nas duas fases anteriores, buscando identificar possíveis diferenças no ΔT e validar os efeitos da distância na identificação de descolamentos cerâmicos por meio da termografia infravermelha, que representou o foco principal desta pesquisa.

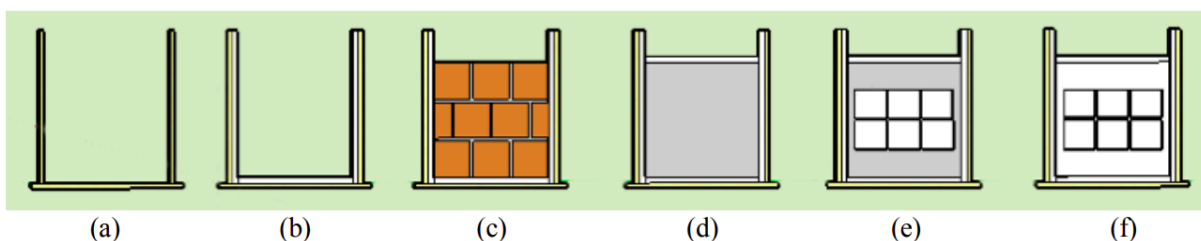
4.1 Estudo experimental com protótipo

Esta seção detalha a metodologia usada para avaliar a influência da distância da câmera termográfica na identificação de descolamentos cerâmicos. Para isso, foi utilizado um protótipo de alvenaria com defeitos controlados, descrevendo-se a seguir os procedimentos de coleta de dados em diferentes posições, os equipamentos empregados e a rotina de análise das imagens térmicas coletadas.

4.1.1 Seleção e caracterização do protótipo

Para a realização do estudo com descolamentos controlados, foi utilizado o protótipo desenvolvido por Tanaka (2016). O protótipo utilizado consiste em uma parede de alvenaria com 60 cm de altura por 60 cm de largura, cuja sequência construtiva é detalhada na Figura 24. A estrutura foi composta por blocos cerâmicos furados de 9 cm de espessura, assentados com argamassa em juntas de 1 cm. Para garantir a estabilidade e induzir um fluxo de calor unidirecional, o conjunto foi montado sobre um suporte de madeira e o contorno da alvenaria foi preenchido com placas de isopor.

Figura 24 - Sequência construtiva da parede de alvenaria



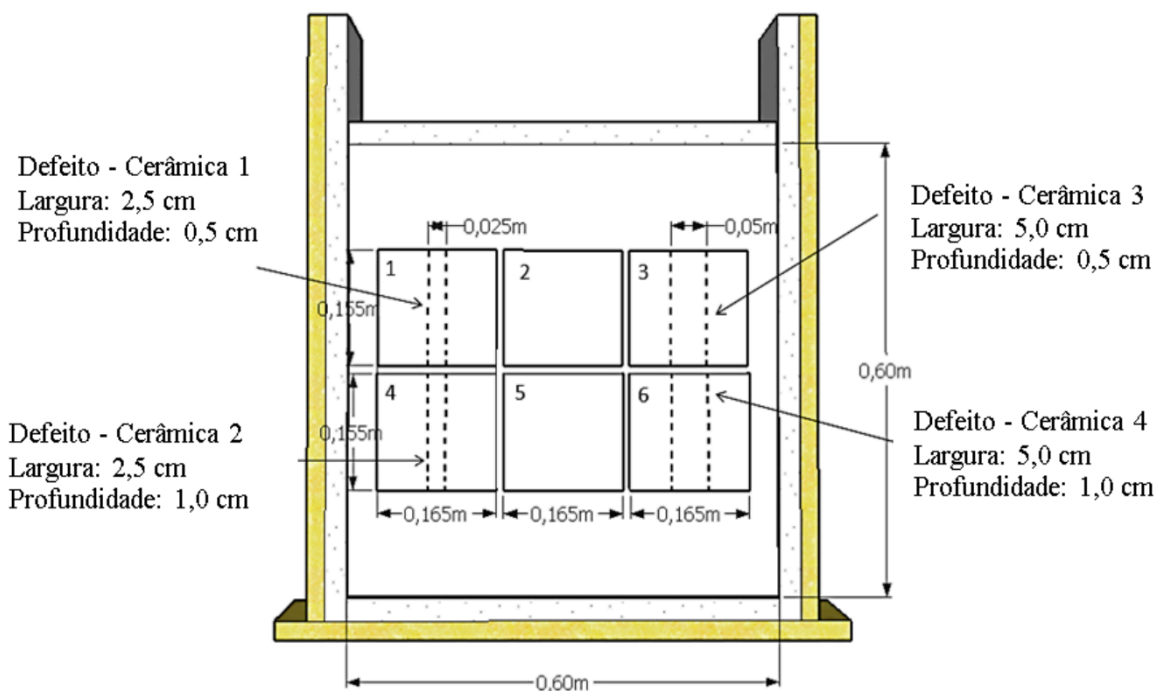
Fonte: Tanaka e Pavón, 2021.

O acabamento do protótipo foi executado com um revestimento de argamassa em camada única de 2 cm de espessura. Sobre uma das faces, foram assentadas seis placas cerâmicas do tipo grês (Blb) na cor branca, com dimensões de 16,5 x 15,5 x 0,5 cm, utilizando argamassa colante do tipo ACIII. A escolha pela cor branca teve como finalidade simular a condição mais crítica para a inspeção termográfica, devido à menor absorvância térmica de superfícies claras.

Os descolamentos, foco da análise, foram simulados de forma controlada em quatro das seis placas cerâmicas (identificadas como 1, 3, 4 e 6), conforme ilustrado no esquema da Figura 25. O método consiste na ausência intencional de argamassa colante em áreas específicas no tardo das placas, criando vazios com larguras de 2,5 cm e 5,0 cm, e

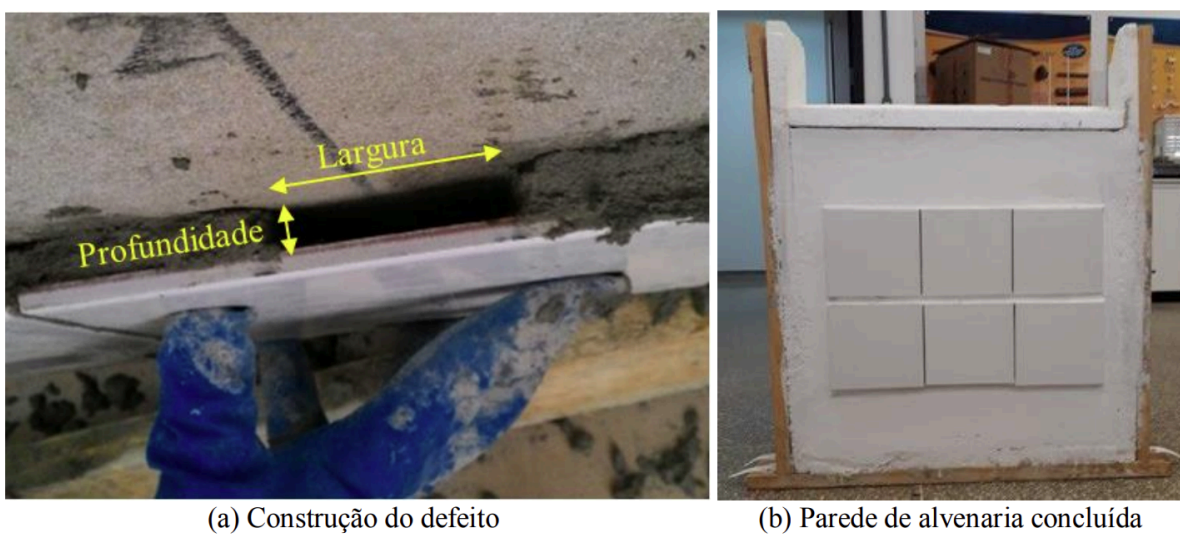
profundidades de 0,5 cm e 1,0 cm. As placas 2 e 5 foram assentadas de forma íntegra, servindo como áreas de referência. A Figura 26 exibe uma imagem do defeito durante sua construção e o aspecto final do protótipo.

Figura 25 - Esquema e características dos defeitos inseridos no revestimento



Fonte: Tanaka e Pavón, 2021.

Figura 26 - Detalhe construtivo do defeito e imagem do protótipo finalizado



Fonte: Tanaka e Pavon, 2021.

A seleção do protótipo desenvolvido por Tanaka (2016) se justifica por sua plena adequação ao objetivo deste trabalho: investigar se a distância da câmera termográfica ao alvo influencia os valores de ΔT na identificação de descolamentos em revestimentos cerâmicos. Para essa finalidade, o modelo permite a simulação de descolamentos com dimensões distintas e controladas, o que é essencial para analisar como o contraste térmico se comporta em função do tamanho do defeito e da distância de medição. Além disso, sua disponibilidade no laboratório da universidade representou um critério prático que viabilizou sua adoção neste estudo.

4.1.2 Coleta dos dados

O protótipo foi posicionado em ambiente externo nas dependências da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), Campus Reitor Edgard Santos, em Barreiras-BA (latitude $12^{\circ}08'55.10''S$ e longitude $45^{\circ}01'15.36''O$), conforme ilustrado na Figura 27 e 28. O posicionamento ocorreu com pelo menos 24 horas de antecedência da coleta de dados, a fim de assegurar seu condicionamento térmico frente às variações climáticas naturais. Além disso, a área foi isolada para evitar interferências ou danos ao experimento. No dia da coleta, registrou-se a temperatura e a umidade do ambiente, dados esses inseridos na câmera termográfica para auxiliar na calibração e na interpretação dos resultados.

Figura 27 - Imagem do Campus Reitor Edgard Santos



Fonte: Google Maps, 2025.

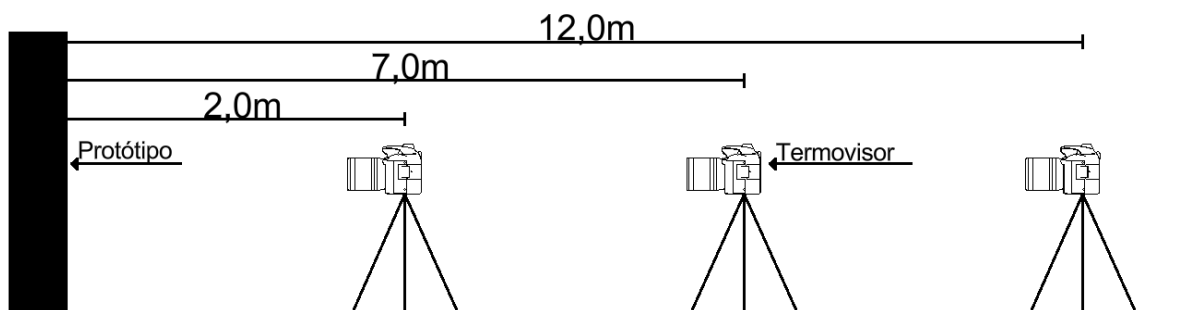
Figura 28 - Local onde o protótipo foi posicionado



Fonte: Google Maps, 2025.

Durante a coleta, a câmera térmica foi alinhada à altura do protótipo, de modo perpendicular ao alvo, e posicionada em três distâncias distintas de forma sequencial, conforme ilustra o esquema da Figura 29. O objetivo foi avaliar como a distância entre a câmera e o alvo (parede com descolamento simulado) influenciou a detecção dos descolamentos. A primeira posição, a uma distância de 2,00 metros, foi a mais próxima possível, desde que fosse possível enquadrar toda a área do protótipo na imagem térmica. A segunda, a uma distância de 12,00 metros, foi a maior distância possível, desde que ainda fosse possível identificar os descolamentos por meio da termografia. A terceira posição correspondeu a uma distância intermediária, 7,00 metros, entre as duas anteriores.

Figura 29 - Posições da câmera de infravermelho em relação ao protótipo



Fonte: Autor, 2025.

O procedimento de captura das imagens foi realizado seguindo rigorosamente as distâncias estabelecidas. A Figura 30 ilustra o posicionamento do operador e o manuseio da câmera termográfica durante a coleta de dados no protótipo.

Figura 30 - Registro da coleta de dados termográficos no protótipo: (a) matutino e (b) vespertino/noturno



Fonte: Autor (2025).

Para simular diferentes condições de fluxo de calor e avaliar a influência da radiação solar direta, o ensaio foi conduzido em duas orientações distintas: Leste e Norte. Visando garantir a robustez estatística e a confiabilidade dos dados para cada cenário, os procedimentos de coleta foram realizados em duplicata. As medições na orientação Leste ocorreram nos dias 09 e 10 de setembro de 2025, e na orientação Norte, nos dias 11 e 15 de setembro de 2025.

Em cada um desses dias, as capturas foram efetuadas em seis horários pré-definidos: 07:30, 08:30 e 09:30 (período matutino) e 17:30, 18:30 e 19:30 (período vespertino/noturno). A definição destes intervalos fundamentou-se nos estudos apresentados no referencial teórico, os quais indicam que estes períodos correspondem, respectivamente, às fases de aquecimento e resfriamento da fachada, momentos em que se maximiza a probabilidade de ocorrência de contrastes térmicos (ΔT) significativos entre as áreas íntegras e as regiões com descolamento. Desta forma, os valores de contraste térmico (ΔT) analisados neste trabalho correspondem à média aritmética dos resultados obtidos em cada um dos dois dias de ensaio por orientação.

Equipamentos utilizados e parâmetros de medição

A câmera termográfica utilizada neste estudo foi o modelo G41 da marca Hikmicro, um equipamento de alta precisão, especialmente indicado para detectar a temperatura na superfície dos objetos (Figura 31). A escolha desse modelo se justificou tanto pela sua disponibilidade na instituição quanto pelas características técnicas que atendiam às exigências para a realização de inspeções preditivas (Hikmicro, 2023).

Durante a captação das imagens, foram definidos e ajustados parâmetros essenciais para garantir a confiabilidade dos dados obtidos. Entre os principais ajustes realizados estavam a emissividade da superfície, a temperatura ambiente, a temperatura aparente refletida e a umidade relativa do ar. Esses parâmetros foram fundamentais para compensar as influências do ambiente externo e assegurar a precisão das leituras térmicas. Os principais parâmetros adotados nas medições estão consolidados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros adotados nas medições

Parâmetros	Leste	Leste	Norte	Norte
Emissividade (*)	0,92	0,92	0,92	0,92
Temperatura aparente refletida (°C)	25	25	25	25
Umidade relativa (%)	(a)	(a)	(a)	(a)
Distancia câmera até objeto (m)	2,0; 7,0 e 12,0	2,0; 7,0 e 12,0	2,0; 7,0 e 12,0	2,0; 7,0 e 12,0
Temperatura ambiente (°C)	(b)	(b)	(b)	(b)

(a) Umidade relativa coletada no banco de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia);

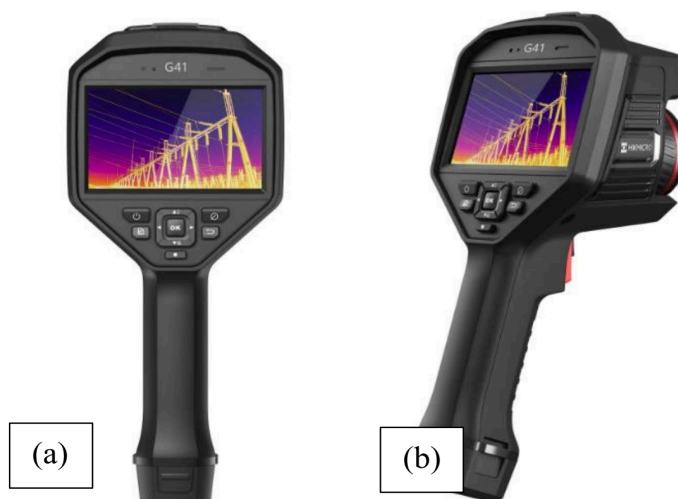
(b) Temperatura registrada in loco por meio de sensores do tipo termopar;

* Hikmicro (2023).

Fonte: Autor, 2025.

A determinação e a compensação da emissividade, bem como a avaliação da temperatura aparente refletida, seguiram os procedimentos descritos na NBR 16969 (ABNT, 2021). A adoção dessa norma buscou garantir uma melhor precisão da medição térmica, estabelecendo métodos tanto para o ajuste da emissividade quanto para a redução dos efeitos das radiações refletidas no ambiente sobre as imagens captadas.

Figura 31 - Modelo da câmera infravermelha a ser utilizada, (a) visão traseira; (b) visão de perfil.



Fonte: Hikmicro, 2023.

Abaixo, no Quadro 1, são apresentadas as principais especificações técnicas da câmera.

Quadro 1 - Especificações técnicas da câmera termográfica infravermelha Hikmicro G41

Especificações	
Modelo	G41
IR Resolução	480x360 (172 800 pixels)
Frequência da Imagem	50 Hz
Resolução Geométrica	0,68 mrad
Campo de Visão	18,7°x14°
Faixa de Temperatura	-20°C a 650°C
Foco	Manual/Automático/A laser
Tela	LCD; 4,3"; TouchScreen

Fonte: Hikmicro, 2023.

Para a medição da temperatura do ambiente, foi utilizado um termômetro digital com sensor do tipo K, modelo TM-902C. Na Figura 32, é possível visualizar o equipamento.

Figura 32 - Termômetro digital tipo K (modelo TM-902C) utilizado nas medições de temperatura



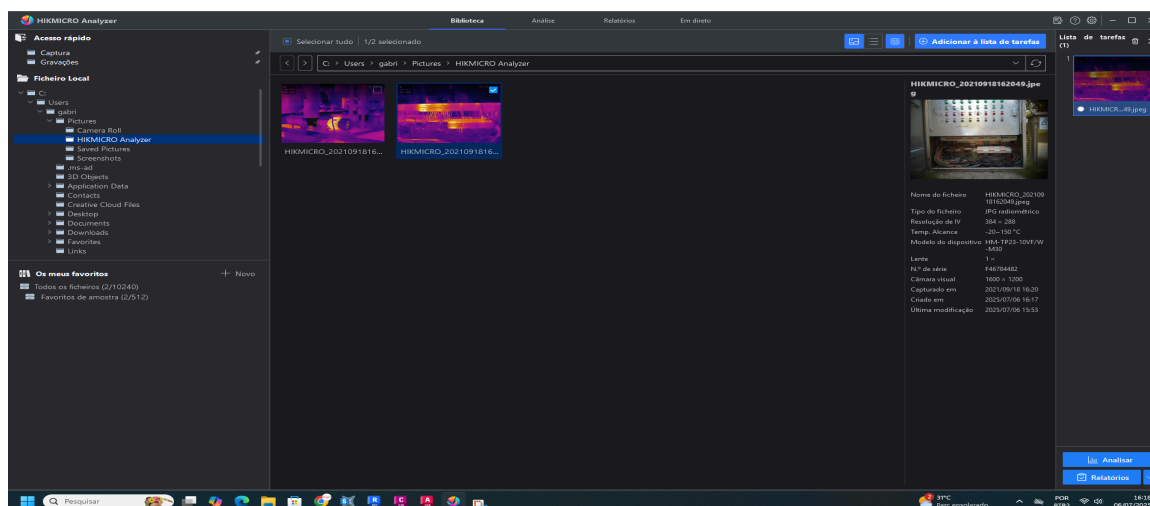
Fonte: Adaptado de Bulcomp Engineering, 2025.

4.1.3 Processamento e análise dos dados

As imagens térmicas registradas pela câmera foram armazenadas em um cartão de memória MicroSD, permitindo que fossem exportadas para um computador. O processamento dessas imagens foi realizado com o uso do programa gratuito fornecido pela fabricante do equipamento, o Hikmicro Analyzer, na versão 1.7.2.7, cujo ambiente pode ser visualizado na

Figura 33. Por meio dessa etapa, buscou-se identificar os descolamentos e calcular o ΔT no revestimento analisado.

Figura 33 - Ambiente do software



Fonte: Autor, 2025.

O processamento dos dados consistiu na determinação do contraste térmico (ΔT) entre a região do protótipo que apresentava descolamento e a região que não apresentava a patologia. Essa análise foi realizada para cada uma das distâncias e orientações solares utilizadas no experimento. A identificação dessas regiões e a medição das respectivas temperaturas foram feitas por meio da ferramenta de análise de pontos e áreas do programa Hikmicro Analyzer.

4.2 Estudo em fachada

Para complementar os testes realizados com alvo controlado, esta etapa levou a pesquisa para situações reais. O principal objetivo aqui foi verificar se os resultados obtidos com o protótipo também se confirmam em fachadas de edifícios, observando como a distância da câmera termográfica influencia a identificação de descolamentos no revestimento cerâmico.

4.2.1 Seleção e caracterização da fachada

Para a análise em fachada, foram selecionados descolamentos já existentes em uma edificação. A escolha dos locais foi realizada de maneira criteriosa, priorizando aqueles que permitissem, tanto quanto possível, a aplicação da mesma metodologia utilizada nos ensaios com o protótipo.

Diferentemente do procedimento anterior, a análise em fachada foi conduzida a partir de duas distâncias de medição: uma posição mais próxima e outra mais afastada da superfície, cujos critérios e valores específicos estão detalhados no item 4.2.2. A definição dessas distâncias considerou as condições específicas de cada local, como o acesso disponível, aspectos de segurança e a presença de eventuais obstáculos (árvores, postes ou edificações vizinhas).

No estudo, foram selecionadas duas fachadas localizadas no município de Barreiras, situado na região Oeste da Bahia. A primeira, denominada Fachada 1, está voltada para a Rua Professor José Seabra ($12^{\circ}09'00.58''S$; $45^{\circ}00'08.21''O$) e possui orientação predominante Oeste, enquanto a segunda, identificada como Fachada 2, está posicionada na Rua Vasco da Gama ($12^{\circ}09'10.07''S$; $44^{\circ}59'59.94''O$) e apresenta orientação predominante Norte.

Cabe destacar que a adoção da orientação Oeste na Fachada 1, diferindo da orientação Leste utilizada no protótipo, deveu-se à disponibilidade de um local com descolamentos confirmados e condições de acesso favoráveis à execução segura do experimento. Já a manutenção da orientação Norte (Fachada 2) foi estratégica, visando validar em campo o cenário que apresentou o desempenho mais crítico na etapa experimental, garantindo que as condições de menor contraste térmico não deixassem de ser avaliadas em uma situação real.

Para a Fachada 1, foram analisados dois descolamentos, sendo registrados por meio de imagens que ilustram a localização da edificação (Figura 34), a vista geral da fachada (Figura 35) e a área com destacamento (Figura 36).

Figura 34 – Localização da Fachada 1



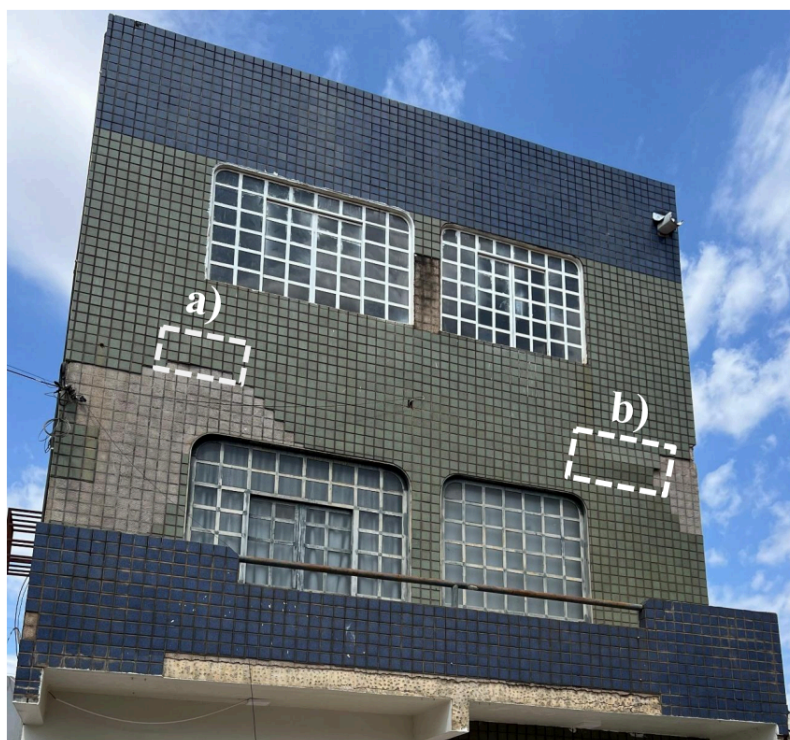
Fonte: Google Maps, 2025

Figura 35 – Vista da Fachada 1



Fonte: Autor, 2025

Figura 36 – Vista da Fachada 1 evidenciando as áreas com descolamento: (a) F1A e (b) F1B



Fonte: Autor, 2025

Em sequência, a Fachada 2, localizada na Rua Vasco da Gama (Figura 37), foi analisada de forma análoga. A vista geral da edificação é apresentada na Figura 38. Nessa fachada, foram analisados dois descolamentos, identificados na Figura 39, permitindo observar variações do comportamento térmico em áreas distintas da mesma estrutura. Assim como na primeira etapa, a análise buscou manter o mesmo procedimento metodológico, adaptando-se apenas às condições específicas de acesso, distância de medição e contexto local.

Figura 37 – Localização da Fachada 2



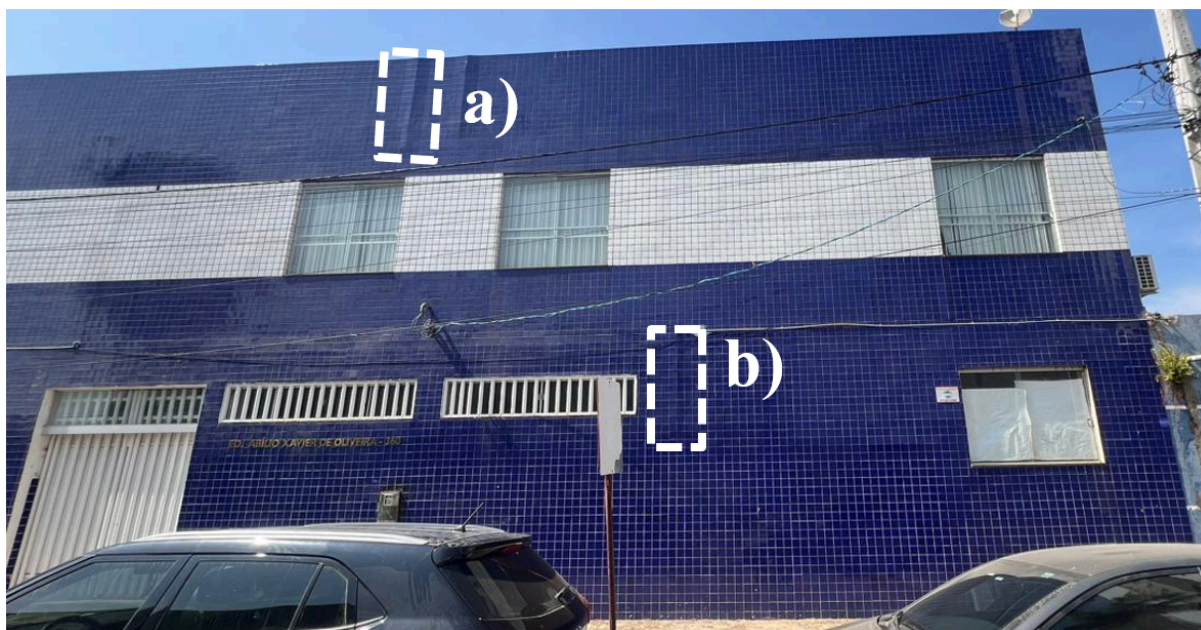
Fonte: Google Maps, 2025

Figura 38 – Vista da Fachada 2



Fonte: Autor, 2025

Figura 39 – Vista da Fachada 2 evidenciando as áreas com descolamento: (a) F2A e (b) F2B



Fonte: Autor, 2025

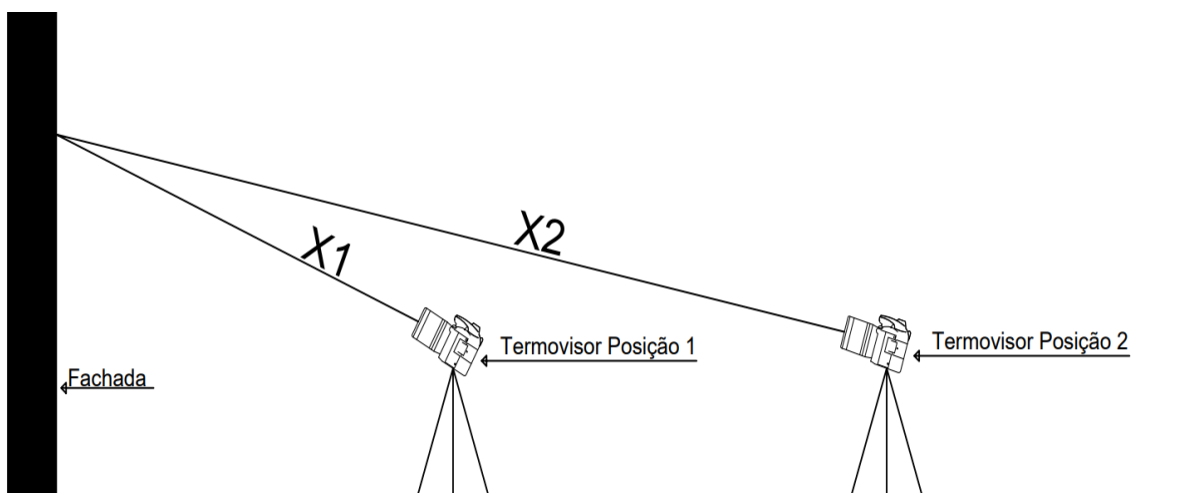
É importante destacar que as fachadas a serem analisadas só foram definidas após a análise dos resultados obtidos com o protótipo. Isso garantiu que a comparação entre as etapas do estudo fosse coerente e bem fundamentada.

4.2.2 Coleta dos dados

A coleta de dados em campo foi realizada no dia 24 de setembro de 2025. As imagens termográficas foram capturadas em dois horários estratégicos: às 09h30 (durante o período de aquecimento solar) e às 19h30 (no período de resfriamento). Esses horários foram definidos com base nos resultados preliminares, pois apresentaram momentos de alto contraste térmico entre as áreas com e sem defeitos, facilitando a visualização das anomalias.

Os mesmos parâmetros técnicos configurados na câmera (emissividade, temperatura ambiente, temperatura aparente refletida e umidade) também foram aplicados nas medições em fachada a fim de se obter ΔT condizentes com a realidade. O esquema apresentado na Figura 40 ilustra como a câmera foi posicionada em duas distâncias distintas: uma mais próxima da fachada (posição 1) e outra mais afastada (posição 2). Especificamente para a Fachada 1, o descolamento F1A foi inspecionado às distâncias de 9,0 m e 11,3 m, enquanto o F1B foi avaliado a 9,6 m e 12,9 m. Já na Fachada 2, as medições do descolamento F2A ocorreram a 9,2 m e 16,0 m, e as do F2B a 7,8 m e 14,7 m.

Figura 40 - Esquema do posicionamento da câmera no estudo em fachada



Fonte: Autor, 2025.

Para a coleta dos dados, foram utilizados os mesmos equipamentos empregados na análise com o protótipo. Como recurso adicional, utilizou-se uma trena a laser, modelo DLE150, para medir com precisão a distância entre a câmera termográfica e o descolamento. A Figura 41 apresenta o equipamento.

Figura 41 - Trena a laser a ser utilizada



Fonte: Autor, 2025.

4.2.3 Processamento e análise dos dados

As imagens capturadas no estudo em fachada foram analisadas utilizando o mesmo software empregado na etapa com o protótipo (Hikmicro Analyzer), o que garantiu a padronização necessária para a obtenção de resultados comparáveis e confiáveis. A análise teve como objetivo principal verificar a diferença de temperatura (ΔT) entre a região com descolamento e uma área íntegra adjacente. Por fim, a comparação entre os registros obtidos a partir de diferentes distâncias permitiu avaliar como a variável distância influenciou na identificação dos descolamentos na inspeção predial.

4.3 Análise comparativa

Nesta etapa final, foi realizada uma análise comparativa entre os dados obtidos nos dois contextos do estudo: experimental e em fachada. O objetivo foi identificar possíveis diferenças nos valores de ΔT durante a detecção de descolamentos, considerando as variações entre um alvo controlado e as condições reais de inspeção. Essa comparação foi essencial para validar a metodologia adotada, além de permitir uma melhor compreensão sobre a influência da distância ao alvo e as potencialidades da aplicação da termografia no diagnóstico de revestimentos cerâmicos em inspeções prediais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios experimentais, seguindo a estrutura delineada no Capítulo 4 (Metodologia). A análise é organizada em etapas, iniciando com os dados coletados no protótipo e, posteriormente, os dados do estudo em fachada. Em cada etapa, a investigação combina uma abordagem qualitativa, baseada na interpretação visual dos termogramas para identificar as anomalias térmicas correspondentes aos descolamentos, com uma análise quantitativa focada no cálculo do contraste térmico (ΔT). Ao final, é realizada uma análise comparativa que consolida a discussão sobre a influência da distância de medição no diagnóstico termográfico.

5.1 Análise dos resultados no protótipo

Os resultados do ensaio experimental com o protótipo são apresentados nesta seção. Conforme descrito na metodologia, os ensaios referentes a cada orientação solar foram realizados em duplicata, em dias distintos. No Apêndice A, apresentam-se as Figuras 58, 59, 60 e 61, que ilustram, respectivamente, o comportamento da temperatura ambiente, a variação da umidade relativa do ar e o comportamento da temperatura média dos revestimentos nesses mesmos dias.

Desta forma, os valores apresentados nos gráficos correspondem ao módulo da média aritmética dos resultados de contraste térmico (ΔT) obtidos em duplicata para cada cenário. As informações foram organizadas segundo as orientações solares Leste e Norte, permitindo uma análise comparativa do comportamento térmico dos descolamentos simulados.

5.1.1 Orientação Leste

A primeira etapa da análise dos resultados para a orientação Leste foi qualitativa, consistindo na verificação da visibilidade dos descolamentos simulados nos termogramas. O Quadro 2 a seguir resume essa análise para cada uma das placas com defeito (1, 3, 4 e 6), indicando se a anomalia foi 'Visível' ou 'Não visível' em função do horário da medição e da distância entre a câmera e o alvo.

Quadro 2 – Análise de visibilidade dos descolamentos nas placas 1, 3, 4 e 6 do protótipo em função do horário e da distância – Orientação Leste

Horário	Distância (m)	Placa	Visibilidade do Descolamento
07:30	2	1	Visível
07:30	7	1	Visível
07:30	12	1	Visível
08:30	2	1	Visível
08:30	7	1	Visível
08:30	12	1	Visível
09:30	2	1	Visível
09:30	7	1	Visível
09:30	12	1	Visível
17:30	2	1	Visível
17:30	7	1	Não visível
17:30	12	1	Não visível
18:30	2	1	Visível
18:30	7	1	Visível
18:30	12	1	Visível
19:30	2	1	Visível
19:30	7	1	Visível
19:30	12	1	Não visível

Horário	Distância (m)	Placa	Visibilidade do Descolamento
07:30	2	3	Visível
07:30	7	3	Visível
07:30	12	3	Visível
08:30	2	3	Visível
08:30	7	3	Visível
08:30	12	3	Visível
09:30	2	3	Visível
09:30	7	3	Visível
09:30	12	3	Visível
17:30	2	3	Visível
17:30	7	3	Visível
17:30	12	3	Visível
18:30	2	3	Visível
18:30	7	3	Visível
18:30	12	3	Visível
19:30	2	3	Visível
19:30	7	3	Visível
19:30	12	3	Visível

Horário	Distância (m)	Placa	Visibilidade do Descolamento
07:30	2	4	Visível
07:30	7	4	Visível
07:30	12	4	Visível
08:30	2	4	Visível
08:30	7	4	Visível
08:30	12	4	Visível
09:30	2	4	Visível
09:30	7	4	Visível
09:30	12	4	Visível
17:30	2	4	Visível
17:30	7	4	Não visível
17:30	12	4	Não visível
18:30	2	4	Visível
18:30	7	4	Visível
18:30	12	4	Visível
19:30	2	4	Visível
19:30	7	4	Visível
19:30	12	4	Não visível

Horário	Distância (m)	Placa	Visibilidade do Descolamento
07:30	2	6	Visível
07:30	7	6	Visível
07:30	12	6	Visível
08:30	2	6	Visível
08:30	7	6	Visível
08:30	12	6	Visível
09:30	2	6	Visível
09:30	7	6	Visível
09:30	12	6	Visível
17:30	2	6	Visível
17:30	7	6	Visível
17:30	12	6	Visível
18:30	2	6	Visível
18:30	7	6	Visível
18:30	12	6	Visível
19:30	2	6	Visível
19:30	7	6	Visível
19:30	12	6	Visível

Fonte: Autor, 2025.

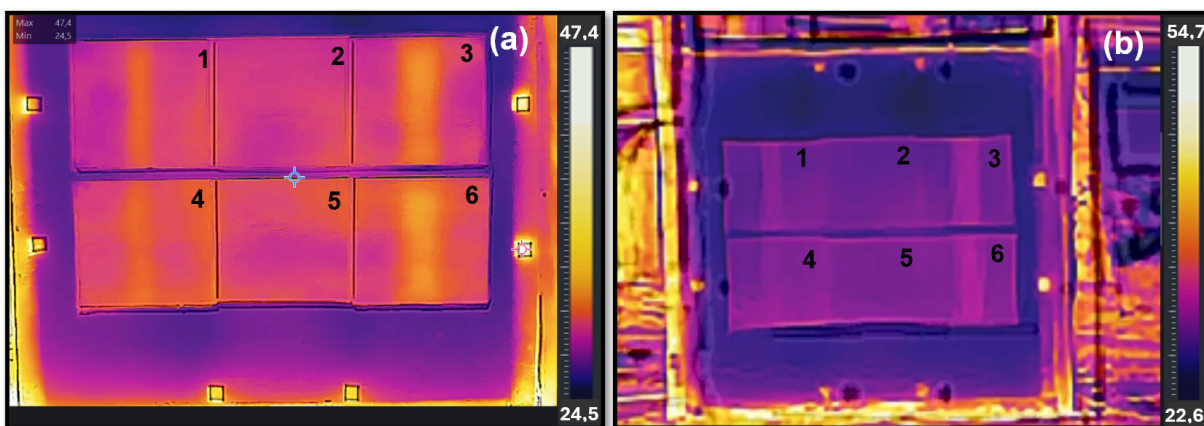
A análise do Quadro 2 revela um padrão de detecção claro. Observa-se que os descolamentos de maiores dimensões (placas 3 e 6, com 5,0 cm de largura) foram consistentemente identificados em todos os horários e em todas as distâncias testadas, evidenciando a robustez da técnica para anomalias maiores.

Em contrapartida, os defeitos de menor largura (2,5 cm) apresentaram maior sensibilidade às condições de ensaio. Tanto a placa 1 quanto a placa 4 apresentaram um desempenho idêntico, com três falhas de detecção cada. Em ambos os casos, o descolamento

tornou-se 'Não visível' em medições no período de arrefecimento, especificamente às 17:30 (nas distâncias de 7 m e 12 m) e às 19:30 (na distância de 12 m).

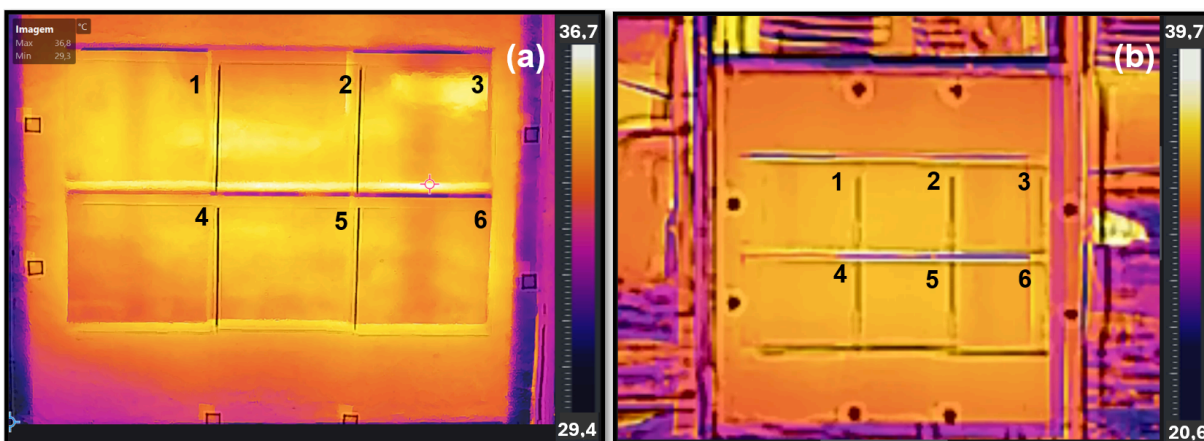
As Figuras 42 e 43 ilustram alguns dos termogramas obtidos durante os ensaios na orientação Leste. A Figura 42 apresenta os registros realizados durante o período da manhã, no qual os descolamentos se manifestaram com temperaturas superiores às da região íntegra (contraste positivo). Já a Figura 43 exibe os resultados obtidos no período da tarde, durante a fase de resfriamento, momento em que a temperatura do descolamento se apresentou inferior à da região de referência (contraste negativo). Nesse contexto, a Figura 43 (b) ilustra um dos casos onde ocorreu falha na detecção.

Figura 42 – Termogramas da orientação Leste obtidos em 10/09/2025 às 08h30: (a) distância de 2 m; (b) distância de 12 m



Fonte: Autor, 2025.

Figura 43 – Termogramas da orientação Leste obtidos em 10/09/2025 às 17h30: (a) distância de 2 m; (b) distância de 12 m



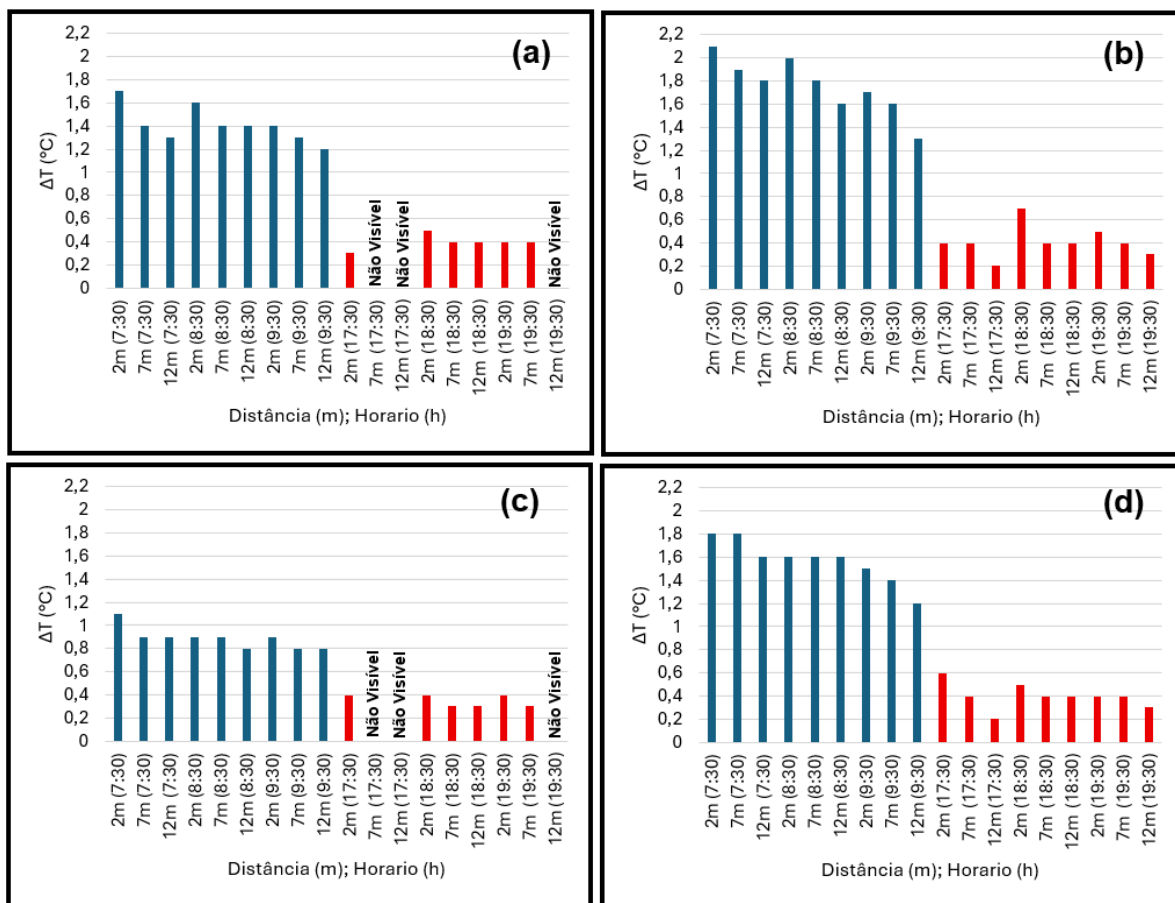
Fonte: Autor, 2025.

A análise visual dos termogramas permite identificar o comportamento dinâmico das anomalias. Na Figura 42, referente à medição das 08h30, as regiões com descolamento são classificadas como 'Visíveis', evidenciando áreas mais quentes - com temperatura superior à das demais placas - que correspondem às regiões afetadas.

Em contrapartida, na Figura 43, registrada às 17h30, observa-se a inversão do comportamento térmico, com o defeito apresentando-se mais frio em relação à região íntegra. Percebe-se, especificamente em (b), que as placas 3 e 6 apresentam áreas com temperatura inferior, associadas aos descolamentos visíveis. Entretanto, nas placas 1 e 4, a anomalia foi classificada como 'Não visível', pois não houve variação térmica significativa, o que explica a falha na detecção.

Complementando essa análise, a Figura 44 apresenta a variação do contraste térmico (ΔT) em função do horário e da distância de medição para a orientação Leste. Ressalta-se que os valores estão apresentados em módulo para permitir a comparação direta das magnitudes. Para facilitar a interpretação do fenômeno físico, adotou-se uma distinção por cores: as colunas em azul referem-se ao período da manhã (aquecimento), enquanto as colunas em vermelho representam o período da tarde. O uso da cor vermelha destaca visualmente que, nestes horários, o contraste real é negativo (inversão térmica) devido ao resfriamento da fachada.

Figura 44 – Variação do contraste térmico (ΔT) em módulo em função do horário e da distância para a Orientação Leste, detalhando o comportamento de cada placa: (a) Placa 1; (b) Placa 3; (c) Placa 4; (d) Placa 6



Fonte: Autor, 2025.

A análise quantitativa dos dados, apresentada na Figura 44, evidencia um padrão claro no comportamento do contraste térmico (ΔT), caracterizado por valores mais elevados no período da manhã, quando o aquecimento solar é mais intenso, e uma redução acentuada no período de arrefecimento. As condições ambientais registradas durante os ensaios, incluindo a variação da temperatura ambiente, da umidade relativa do ar e da temperatura média dos revestimentos, estão detalhadas no Apêndice A.

De modo geral, os valores de ΔT foram significativamente maiores em módulo entre 07h30 e 09h30, reduzindo-se de forma acentuada a partir das 17h30, quando as temperaturas atingiram níveis muito baixos. O maior contraste térmico da série foi observado na Placa 3, com 2,1 °C às 07h30 e distância de 2 m.

Analisando os descolamentos por dimensão, os dados revelam que a largura é a variável dimensional predominante. A profundidade do descolamento (0,5 cm vs. 1,0 cm) não demonstrou influência significativa, como pode ser visto no comportamento quase idêntico dos pares de mesma largura (Placa 1 e Placa 4; Placa 3 e Placa 6). Este achado corrobora as

conclusões de Tanaka e Pavon (2021), que utilizaram este mesmo protótipo. Sendo assim, as placas com defeitos de menor largura (Placa 1 e Placa 4) apresentaram contrastes menores. Para este grupo, o valor máximo foi de 1,7 °C (Placa 1, 07:30, 2m) e o valor mínimo numérico registrado foi de 0,3 °C (observado em ambas as placas em diversos horários/distâncias no período da tarde), além dos casos classificados como "Não Visível", onde o contraste foi nulo ou indetectável. Já para as placas de maior largura (Placa 3 e Placa 6), a faixa de contraste foi mais ampla, registrando o máximo geral de 2,1 °C (Placa 3, 07:30, 2m) e um contraste mínimo de 0,2 °C (observado em ambas as placas às 17:30, 12m).

Com relação à distância de medição, verificou-se uma tendência consistente de redução do contraste térmico (ΔT) à medida que o equipamento se afasta do alvo, tanto no período da manhã quanto no da tarde. Esse efeito ocorre porque o aumento da distância reduz a resolução espacial e, conseqüentemente, atenua o valor medido do contraste.

A magnitude dessa redução varia conforme as condições de medição. Por exemplo, na Placa 1 às 07h30, o ΔT diminuiu de 1,7 °C (a 2 m) para 1,3 °C (a 12 m), representando uma redução de aproximadamente 23,5%. O impacto da distância é ainda mais acentuado em situações de baixo contraste: na Placa 6 às 17h30, o ΔT reduziu-se de 0,6 °C (a 2 m) para 0,2 °C (a 12 m), o que corresponde a uma queda de aproximadamente 66,7%.

Portanto, a distância de medição demonstrou ser um fator determinante na capacidade de detecção, especialmente em condições de inspeção menos favoráveis. Para a orientação estudada, observou-se que, em horários de alto contraste térmico (período da manhã) ou em defeitos de maiores dimensões (Placas 3 e 6), a detecção foi bem-sucedida independentemente da distância. No entanto, a influência da distância tornou-se crítica na análise de defeitos menores (Placas 1 e 4) durante o período de arrefecimento. Nesses cenários, em que o ΔT já era naturalmente baixo, o aumento da distância de 2 m para 7 m e 12 m reduziu o sinal térmico a níveis indetectáveis, resultando nos casos classificados como "Não visível".

5.1.2 Orientação Norte

Na sequência, são apresentados os resultados referentes à orientação Norte. Esta se diferencia da orientação Leste pois, enquanto aquela recebe radiação concentrada no início do dia, a Norte caracteriza-se por possuir, por outro lado, maior uniformidade de incidência solar durante a manhã e a tarde. A exposição dos dados segue o mesmo procedimento adotado anteriormente, iniciando-se pela análise qualitativa da visibilidade das anomalias e, em seguida, pela avaliação quantitativa dos valores de ΔT . O Quadro 3 a seguir resume essa

análise para as placas com descolamento (1, 3, 4 e 6), indicando se a anomalia foi visível ou não visível, de acordo com o horário da medição e a distância entre a câmera e o alvo.

Quadro 3 – Análise de visibilidade dos descolamentos nas placas 1, 3, 4 e 6 do protótipo em função do horário e da distância – Orientação Norte

Horário	Distância (m)	Placa	Visibilidade do Descolamento
07:30	2	1	Não visível
07:30	7	1	Não visível
07:30	12	1	Não visível
08:30	2	1	Não visível
08:30	7	1	Não visível
08:30	12	1	Não visível
09:30	2	1	Não visível
09:30	7	1	Não visível
09:30	12	1	Não visível
17:30	2	1	Não visível
17:30	7	1	Não visível
17:30	12	1	Não visível
18:30	2	1	Não visível
18:30	7	1	Não visível
18:30	12	1	Não visível
19:30	2	1	Não visível
19:30	7	1	Não visível
19:30	12	1	Não visível

Horário	Distância (m)	Placa	Visibilidade do Descolamento
07:30	2	3	Visível
07:30	7	3	Visível
07:30	12	3	Visível
08:30	2	3	Visível
08:30	7	3	Visível
08:30	12	3	Visível
09:30	2	3	Visível
09:30	7	3	Visível
09:30	12	3	Visível
17:30	2	3	Visível
17:30	7	3	Visível
17:30	12	3	Visível
18:30	2	3	Visível
18:30	7	3	Visível
18:30	12	3	Visível
19:30	2	3	Visível
19:30	7	3	Visível
19:30	12	3	Visível

Horário	Distância (m)	Placa	Visibilidade do Descolamento
07:30	2	4	Não visível
07:30	7	4	Não visível
07:30	12	4	Não visível
08:30	2	4	Não visível
08:30	7	4	Não visível
08:30	12	4	Não visível
09:30	2	4	Não visível
09:30	7	4	Não visível
09:30	12	4	Não visível
17:30	2	4	Não visível
17:30	7	4	Não visível
17:30	12	4	Não visível
18:30	2	4	Não visível
18:30	7	4	Não visível
18:30	12	4	Não visível
19:30	2	4	Não visível
19:30	7	4	Não visível
19:30	12	4	Não visível

Horário	Distância (m)	Placa	Visibilidade do Descolamento
07:30	2	6	Visível
07:30	7	6	Visível
07:30	12	6	Visível
08:30	2	6	Visível
08:30	7	6	Visível
08:30	12	6	Visível
09:30	2	6	Visível
09:30	7	6	Visível
09:30	12	6	Visível
17:30	2	6	Visível
17:30	7	6	Visível
17:30	12	6	Visível
18:30	2	6	Visível
18:30	7	6	Visível
18:30	12	6	Visível
19:30	2	6	Visível
19:30	7	6	Visível
19:30	12	6	Visível

Fonte: Autor, 2025.

A análise qualitativa referente à orientação Norte, resumida no Quadro 3, evidencia um comportamento de detecção significativamente distinto daquele observado na orientação Leste. Os resultados se agrupam em dois padrões claros e bem definidos.

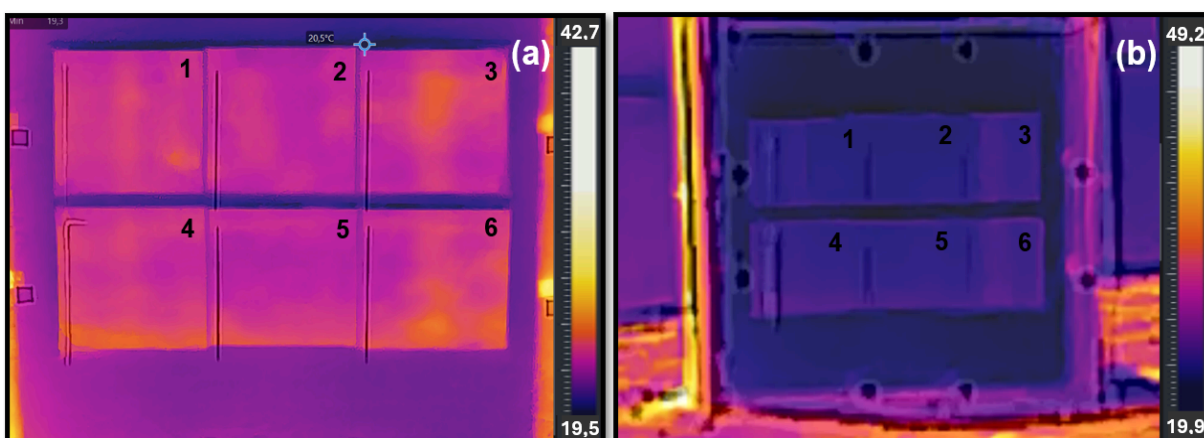
De um lado, os descolamentos de maiores dimensões (placas 3 e 6, com 5,0 cm de largura) foram identificados de forma consistente em todos os horários e distâncias avaliados.

Esse desempenho reforça a eficiência da técnica termográfica na identificação de anomalias mais expressivas, mesmo em condições de menor incidência direta de radiação solar.

Por outro lado, o resultado mais relevante foi a ausência completa de detecção dos descolamentos de menor largura (placas 1 e 4, com 2,5 cm). Conforme os registros, essas anomalias foram classificadas como 'Não visíveis' em 100% das medições, independentemente do horário ou da distância. Esse achado indica que a menor incidência solar na orientação Norte não gerou contraste térmico suficiente para evidenciar defeitos de pequenas dimensões, o que torna a inspeção inviável nessas condições.

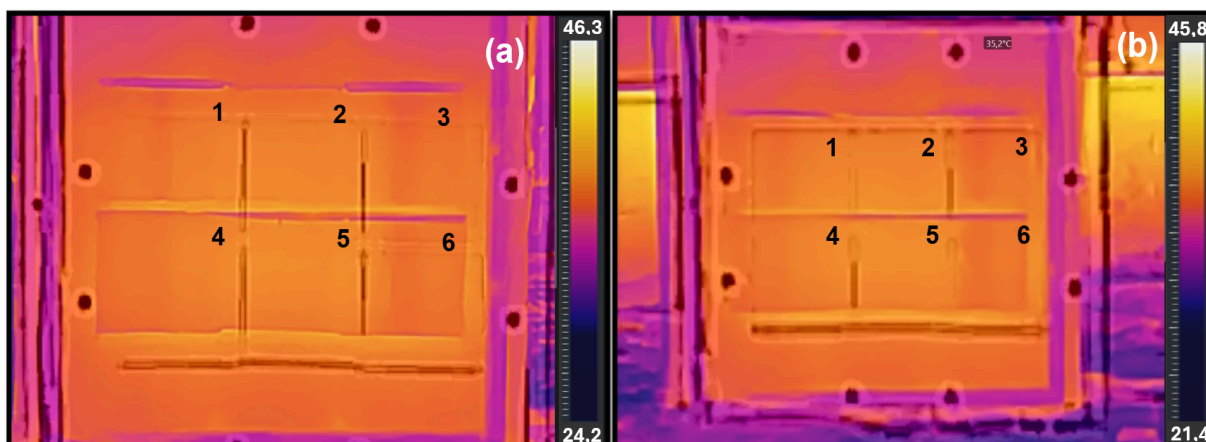
Para ilustrar visualmente os resultados descritos no quadro anterior, as Figuras 45 e 46 apresentam os termogramas obtidos para a orientação Norte. A Figura 45 exibe os registros do período da manhã (fase de aquecimento), enquanto a Figura 46 apresenta o comportamento durante a tarde (fase de resfriamento).

Figura 45 – Termogramas da orientação Norte obtidos em 11/09/2025 às 08h30: (a) distância de 2 m; (b) distância de 12 m



Fonte: Autor (2025).

Figura 46 – Termogramas da orientação Norte obtidos em 11/09/2025 às 17h30: (a) distância de 7 m; (b) distância de 12 m

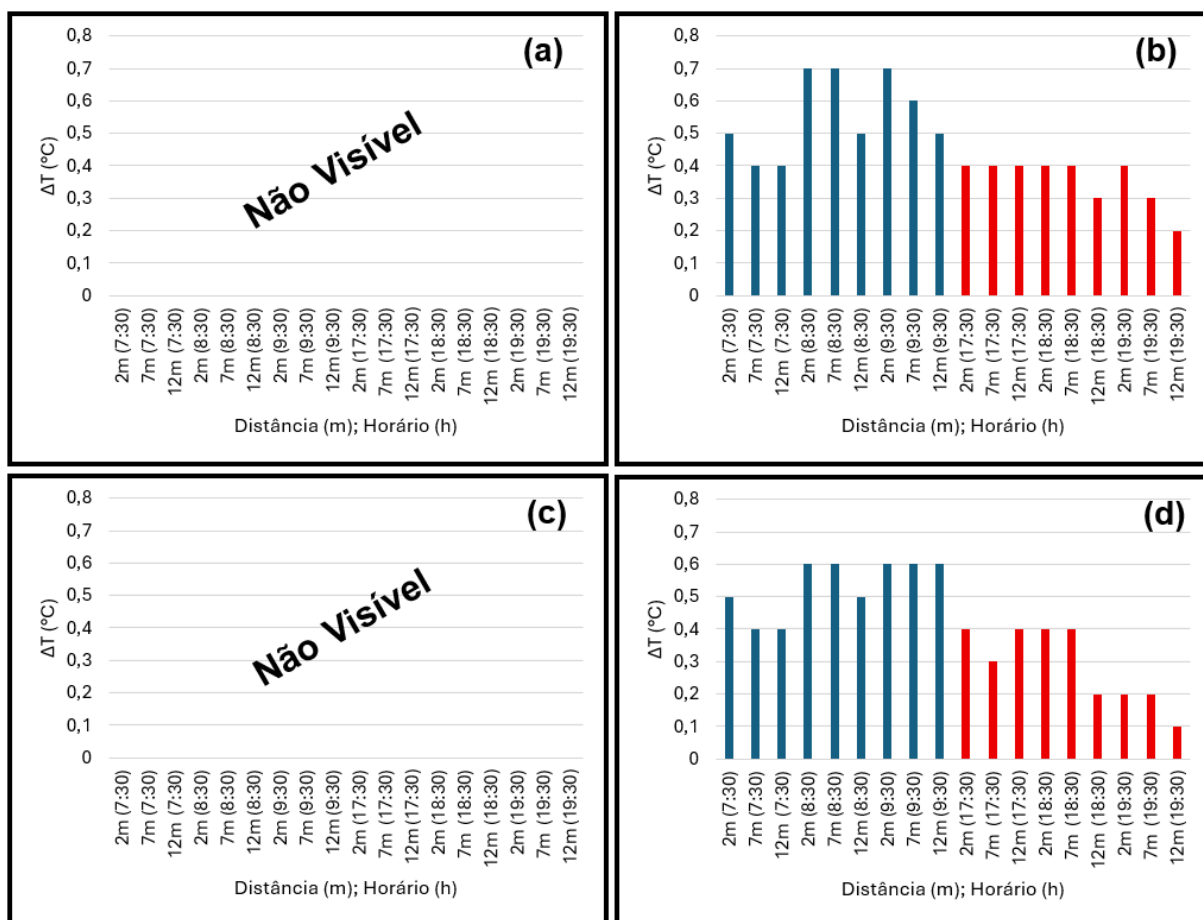


Fonte: Autor (2025).

A análise visual dos termogramas (Figuras 45 e 46) confirma o padrão observado anteriormente: pela manhã, os descolamentos visíveis (Placas 3 e 6) apresentam-se mais quentes que a região íntegra, enquanto à tarde ocorre a inversão térmica, tornando-os mais frios. Diferentemente da orientação Leste, as Placas 1 e 4 não exibiram variações térmicas perceptíveis em nenhum momento.

Complementando a análise visual, a Figura 47 apresenta a quantificação do contraste térmico (ΔT) para a orientação Norte. Adotando a mesma sistemática da análise anterior, os valores são expressos em módulo e diferenciados por cores, com barras azuis para o aquecimento (manhã) e vermelhas para o resfriamento (tarde), evidenciando a inversão térmica negativa que ocorre neste segundo período.

Figura 47 – Variação do contraste térmico (ΔT) em módulo em função do horário e da distância para a Orientação Norte, detalhando o comportamento de cada placa: (a) Placa 1; (b) Placa 3; (c) Placa 4; (d) Placa 6



Fonte: Autor, 2025.

A análise quantitativa dos dados da orientação Norte, apresentada na Figura 47, evidencia um padrão de detecção relacionado à dimensão das anomalias. As placas de maior largura (3 e 6) apresentaram contraste térmico (ΔT) mensurável em todas as condições, com valores mais elevados no período da manhã e redução progressiva no período de arrefecimento. Já as placas de menor largura (1 e 4) não apresentaram contraste detectável em nenhuma das medições.

Para as placas visíveis, os valores de ΔT foram significativamente mais altos entre 08h30 e 09h30, reduzindo-se de forma acentuada a partir das 17h30. O maior contraste térmico desta série foi observado na Placa 3, com valor de 0,7 $^{\circ}\text{C}$, registrado tanto às 08h30 (a 2 m e 7 m) quanto às 09h30 (a 2 m).

Analisando os descolamentos por dimensão, observa-se que a largura influenciou de modo relevante o comportamento térmico, enquanto a profundidade (0,5 cm e 1,0 cm) não apresentou efeito perceptível, como evidenciado pelo comportamento semelhante entre os

pares de mesma largura (Placas 1 e 4; Placas 3 e 6). Na orientação Norte esse padrão tornou-se mais acentuado: as placas de menor largura (1 e 4) não exibiram contraste detectável, sendo classificadas como “Não visível”. Em contrapartida, as placas de maior largura (3 e 6) exibiram contraste mensurável, embora com uma faixa de valores menor em comparação à orientação Leste, registrando o máximo de 0,7 °C (Placa 3) e o mínimo de 0,1 °C (Placa 6, às 19h30, a 12 m).

Quanto à distância de medição, a análise concentrou-se nas Placas 3 e 6, nas quais se observou uma tendência consistente de redução do contraste térmico (ΔT) à medida que o equipamento se afastava do alvo. Esse efeito ocorre porque o aumento da distância reduz a resolução espacial e, conseqüentemente, atenua o valor medido do contraste.

A magnitude dessa redução variou conforme as condições de medição. Por exemplo, na Placa 3, às 08h30 (momento de maior contraste), o ΔT diminuiu de 0,7 °C (a 2 m) para 0,5 °C (a 12 m), representando uma redução de aproximadamente 28,6%. Esse impacto foi proporcionalmente mais acentuado em situações de baixo contraste: na Placa 6, às 18h30, o ΔT reduziu-se de 0,4 °C (a 2 m) para 0,2 °C (a 12 m), correspondendo a uma queda de 50,0%.

Portanto, ao focar a análise na variável distância, observa-se que seu impacto no estudo termográfico da orientação Norte manifestou-se de forma distinta conforme as condições de medição. Nos descolamentos de maior largura (Placas 3 e 6), a influência da distância foi mensurável e significativa: o aumento de 2 m para 12 m provocou uma atenuação consistente do contraste térmico, com reduções que chegaram a 50,0%. Embora essa atenuação não tenha impedido a detecção, ela confirma que a distância exerce influência direta sobre a intensidade do sinal térmico. Já para os descolamentos de menor largura (Placas 1 e 4), não foi possível avaliar o efeito da distância, uma vez que não apresentaram contraste térmico detectável nem mesmo na menor distância (2 m), impossibilitando a observação de variações no ΔT associadas ao afastamento.

5.2 Análise dos resultados em fachada

A fim de validar os resultados obtidos com o protótipo em fachadas, conforme previsto na segunda etapa do estudo (item 4.2), esta seção apresenta a análise realizada em condições práticas de inspeção predial. Para isso, foram selecionados e analisados descolamentos em duas edificações distintas no município de Barreiras - BA: a primeira localizada na Rua Professor José Seabra (denominada Fachada 1) e a segunda na Rua Vasco da Gama (Fachada 2). A análise segue a mesma abordagem qualitativa e quantitativa,

avaliando a visibilidade e o contraste térmico (ΔT) em função de duas distâncias de medição, cujos detalhes são apresentados a seguir para cada caso.

5.2.1 Fachada 1 (Orientação Oeste)

Iniciando a análise dos resultados obtidos no estudo em fachada, a Fachada 1 foi inspecionada em dois momentos distintos (manhã, às 09h30, e final da tarde, às 19h30) e a partir de duas distâncias diferentes para cada descolamento identificado (denominados F1A e F1B). A Tabela 4 apresenta os resultados da análise qualitativa, indicando a visibilidade de cada descolamento nos termogramas em função dessas variáveis.

Tabela 4 – Avaliação da visibilidade dos descolamentos na Fachada 1, considerando diferentes distâncias e horários (09:30 e 19:30)

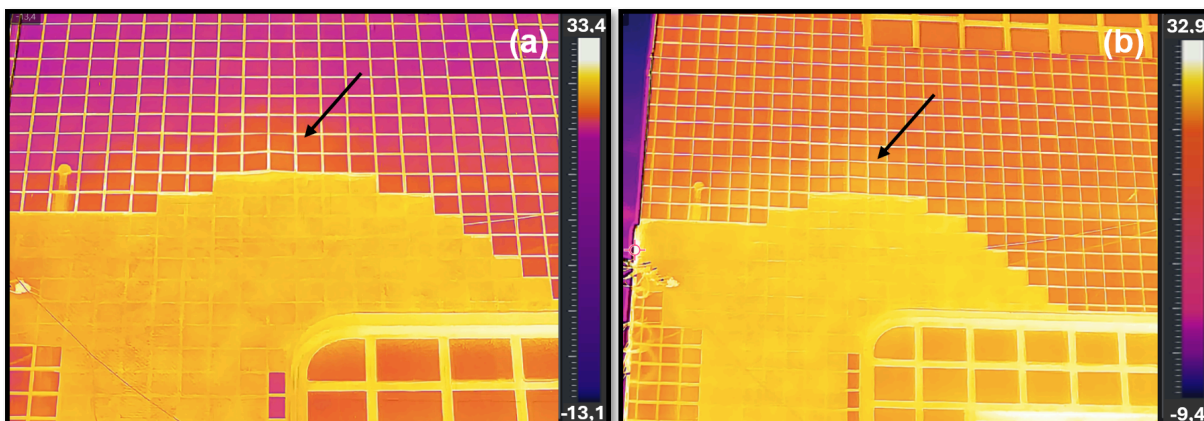
Horário	Descolamento	Distância (m)	Visibilidade do Descolamento
09:30	F1A	9,0	Visível
09:30	F1A	11,3	Visível
09:30	F1B	9,6	Visível
09:30	F1B	12,9	Visível
19:30	F1A	9,0	Visível
19:30	F1A	11,3	Visível
19:30	F1B	9,6	Visível
19:30	F1B	12,9	Visível

Fonte: Autor, 2025.

Conforme exposto na Tabela 4, ambos os descolamentos identificados na Fachada 1 foram visíveis em todas as condições testadas. Tanto pela manhã (09h30) quanto no final da tarde (19h30), e em ambas as distâncias de medição (aproximadamente 9m e 11,3m para o F1A; 9,6m e 12,9m para o F1B), as anomalias puderam ser claramente identificadas nos termogramas.

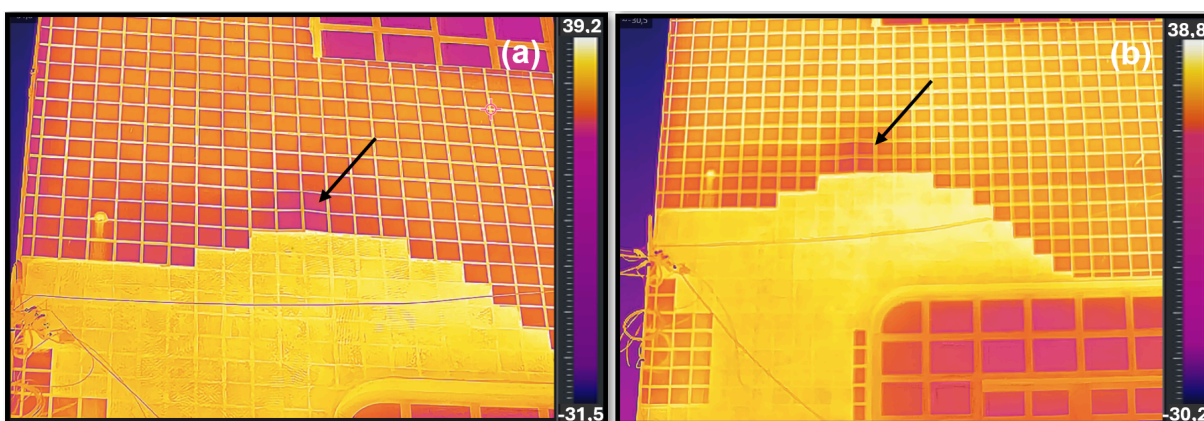
Para ilustrar o comportamento térmico e a estabilidade da detecção, as Figuras 48 e 49 apresentam os termogramas obtidos para o Descolamento F1A, capturados respectivamente às 09h30 e 19h30. Da mesma forma, as Figuras 50 e 51 exibem os registros para o Descolamento F1B em diferentes horários e distâncias. A análise visual desses termogramas confirma a visibilidade das anomalias em todos os cenários avaliados.

Figura 48 - Termogramas da Fachada 1 obtidos às 09h30, evidenciando o Descolamento F1A: (a) distância de 9,0 m; (b) distância de 11,3 m



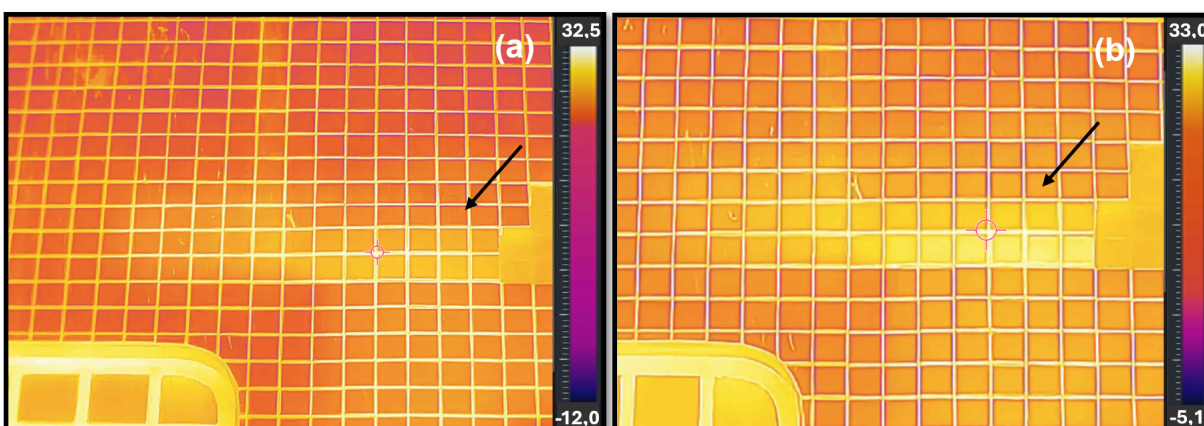
Fonte: Autor, 2025.

Figura 49 - Termogramas da Fachada 1 obtidos às 19h30, evidenciando o Descolamento F1A: (a) distância de 9,0 m; (b) distância de 11,3 m



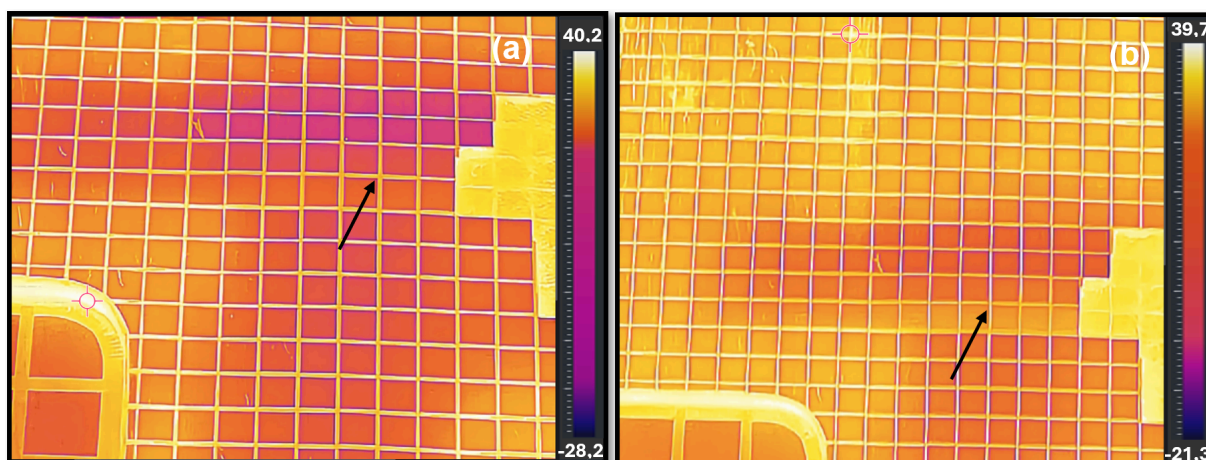
Fonte: Autor, 2025.

Figura 50 - Termogramas da Fachada 1 obtidos às 09h30, evidenciando o Descolamento F1B: (a) distância de 9,6 m; (b) distância de 12,9 m



Fonte: Autor, 2025.

Figura 51 - Termogramas da Fachada 1 obtidos às 19h30, evidenciando o Descolamento F1B: (a) distância de 9,6 m; (b) distância de 12,9 m



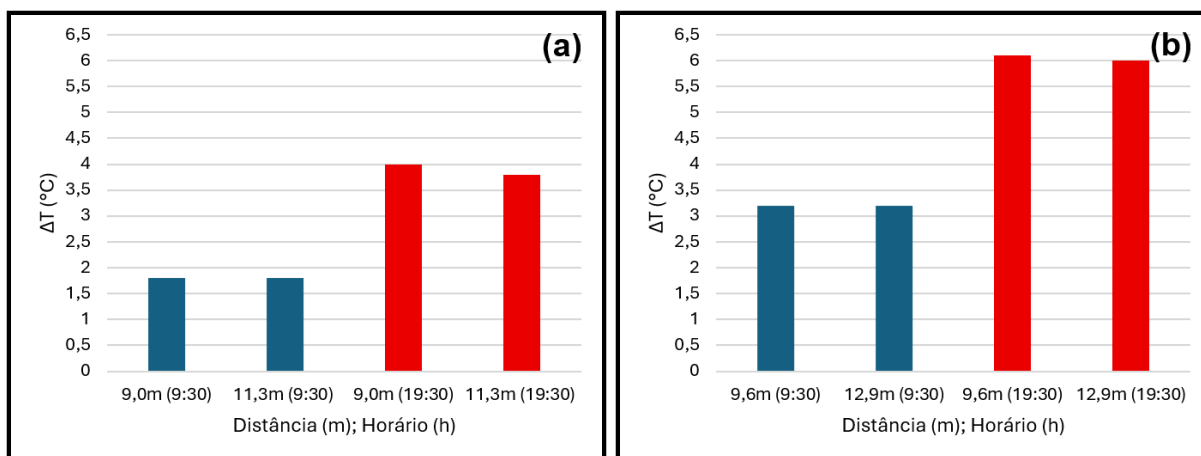
Fonte: Autor, 2025.

A análise visual dos termogramas nas Figuras 48 e 50, capturados às 09h30, confirma que, durante o ciclo de aquecimento da fachada, os Descolamentos F1A e F1B manifestaram-se como áreas mais quentes (contraste positivo) em comparação com a área íntegra adjacente. Por sua vez, as Figuras 49 e 51, registradas às 19h30, durante o ciclo de arrefecimento, demonstram a inversão térmica: a anomalia é visualizada como uma área mais fria, resultando em um contraste térmico negativo.

Em ambos os períodos, a anomalia permaneceu claramente visível independentemente da variação na distância de medição, reforçando o achado qualitativo da Tabela 4. Este resultado sugere que a robustez da detecção foi favorecida pela conjunção de dois fatores: a maior absorvância do revestimento escuro (em contraste com o protótipo de cerâmica branca) e as dimensões das anomalias que, visualmente superiores a 5,0 cm, contribuíram para garantir a detecção visual e minimizar o impacto do aumento da distância, mesmo na fase de arrefecimento, onde o contraste foi mais acentuado.

Complementando essa análise, a Figura 52 apresenta a variação do contraste térmico (ΔT) em função do horário e da distância de medição para cada descolamento da fachada em estudo. É importante ressaltar, conforme já discutido na seção do protótipo, que os valores de ΔT no gráfico correspondem ao módulo da média aritmética e são diferenciados por cores, com barras azuis para o período de aquecimento (manhã) e vermelhas para o período de resfriamento (tarde), evidenciando a inversão térmica negativa que ocorre neste segundo período.

Figura 52 – Variação do contraste térmico (ΔT) em função do horário e da distância para a fachada 1, detalhando o comportamento de cada placa (descolamento): (a) Descolamento F1A; (b) Descolamento F1B



Fonte: Autor, 2025.

A análise dos dados quantitativos da Fachada 1, apresentados na Figura 52, mostra o comportamento do contraste térmico (ΔT) nas diferentes condições de inspeção. Verifica-se que, para ambos os descolamentos, os valores de ΔT foram mais elevados no início da noite (19h30), durante a fase de resfriamento da fachada, em comparação com o período da manhã (09h30). Esse comportamento justifica-se pela orientação Oeste desta fachada, que recebe incidência solar direta predominantemente no período vespertino. Diferentemente do protótipo, onde os maiores contrastes foram registrados no período matutino (seja pela incidência direta ao amanhecer na face Leste ou pelo comportamento térmico observado na face Norte), a Fachada 1 acumula carga térmica intensa ao longo da tarde. Isso resulta em maiores contrastes térmicos no início da noite do que pela manhã, quando a superfície ainda não foi exposta à radiação solar plena.

Entre as duas anomalias, o descolamento F1B apresentou, de forma consistente, um ΔT superior ao do F1A em ambos os horários. No conjunto da análise, o menor contraste térmico registrado foi de 1,8°C (F1A às 09h30) e o maior atingiu 6,1°C (F1B às 19h30).

No que se refere à influência da distância de medição, observou-se que o aumento da distância, dentro das faixas avaliadas, exerceu efeito relativamente pequeno sobre os valores de ΔT . Nas medições realizadas pela manhã, essa influência foi praticamente nula: tanto para o F1A quanto para o F1B, os valores permaneceram inalterados, resultando em variação de 0%. Já no período da tarde, quando os contrastes térmicos foram mais elevados, o efeito foi ligeiramente perceptível. Para o descolamento F1A, o aumento da distância de 9,0 m para 11,3 m provocou uma redução de 5,0% no ΔT (de 4,0°C para 3,8°C), enquanto para o F1B, o aumento de 9,6 m para 12,9 m resultou em decréscimo de 1,6% (de 6,1°C para 6,0°C).

De modo geral, a influência da distância de medição sobre o contraste térmico (ΔT) mostrou-se quantitativamente baixa nas condições, defeitos e distâncias avaliadas. Apesar de ter ocorrido uma leve redução do ΔT com o aumento da distância, mais evidente no período da tarde, a variação registrada entre 9,0 m e 12,9 m foi menor do que a observada no estudo com o protótipo.

5.2.2 Fachada 2 (Orientação Norte)

Dando sequência ao estudo em fachada, a análise incidiu sobre a Fachada 2, localizada na Rua Vasco da Gama. Nesta etapa, foram avaliados dois descolamentos distintos, identificados como Placa F2A e F2B. Mantendo a metodologia anterior, as inspeções ocorreram em dois momentos estratégicos — manhã (09h30) e final da tarde (19h30) — e a partir de duas distâncias de medição para cada anomalia. A tabela 5 apresenta os resultados da análise qualitativa quanto à visibilidade dos defeitos.

Tabela 5 – Avaliação da visibilidade dos descolamentos na Fachada 2, considerando diferentes distâncias de captura e horários (09:30 e 19:30)

Horário	Descolamento	Distância (m)	Visibilidade do Descolamento
09:30	F2A	9,2	Visível
09:30	F2A	16,0	Visível
09:30	F2B	7,8	Visível
09:30	F2B	14,7	Visível
19:30	F2A	9,2	Visível
19:30	F2A	16,0	Visível
19:30	F2B	7,8	Visível
19:30	F2B	14,7	Visível

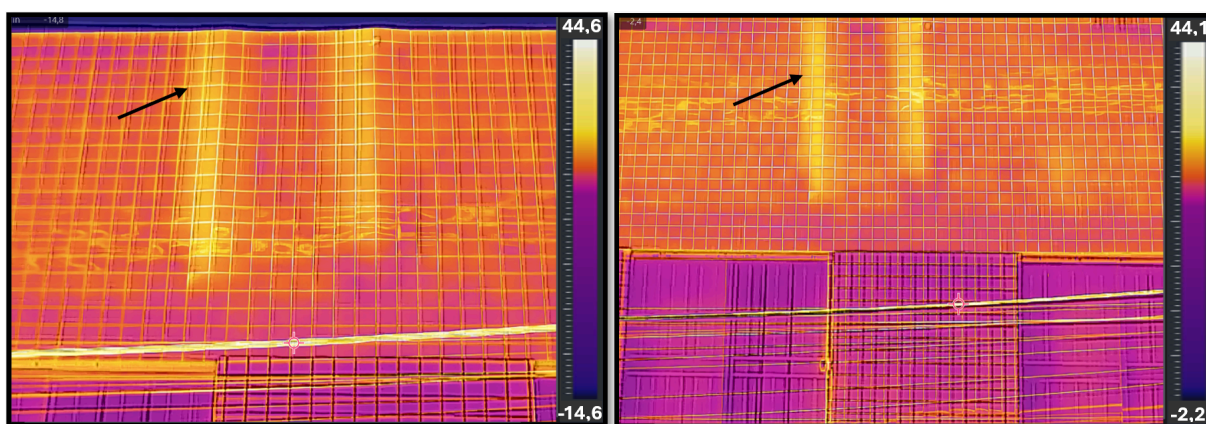
Fonte: Autor, 2025.

A análise qualitativa apresentada na Tabela 5 demonstra uma consistência notável na detecção das manifestações patológicas. Observa-se que ambos os descolamentos (F2A e F2B) foram classificados como "Visível" em 100% dos cenários analisados. Esse desempenho confirma a estabilidade da resposta térmica tanto na fase de aquecimento quanto na de arrefecimento.

É relevante destacar que a variação da distância de medição não comprometeu a identificação visual dos defeitos. A detecção permaneceu eficaz mesmo nas distâncias mais elevadas: o descolamento F2A foi visível a 16,0 m, enquanto o F2B foi identificado com clareza a 14,7 m.

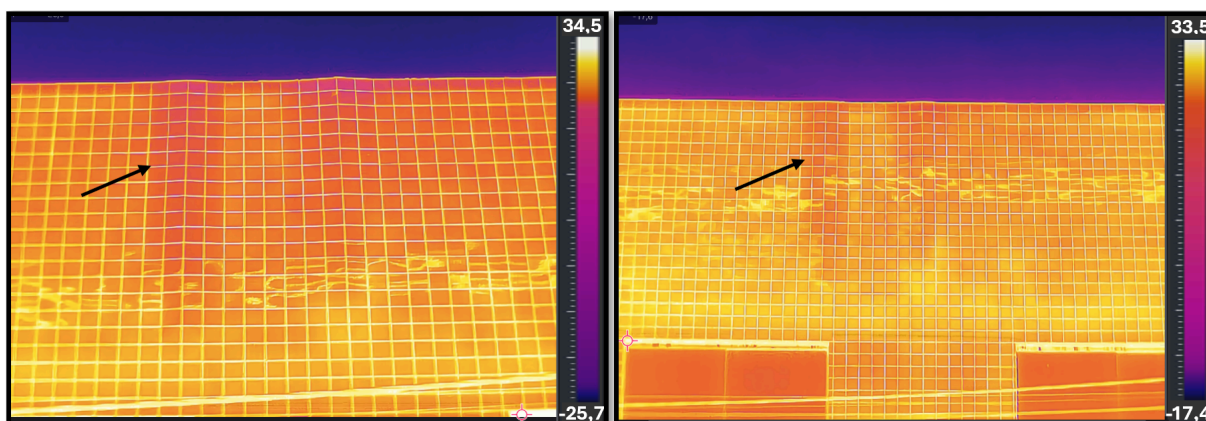
Para exemplificar visualmente esses resultados, as Figuras 53 e 54 apresentam os termogramas obtidos para o Descolamento F2A, capturados respectivamente às 09h30 e 19h30. Da mesma forma, as Figuras 55 e 56 exibem os registros para o Descolamento F2B em diferentes horários e distâncias. A análise visual desses termogramas confirma a visibilidade das anomalias em todos os cenários avaliados.

Figura 53 - Termogramas da Fachada 2 obtidos às 09h30, evidenciando o Descolamento F2A: (a) distância de 9,2 m; (b) distância de 16,0 m



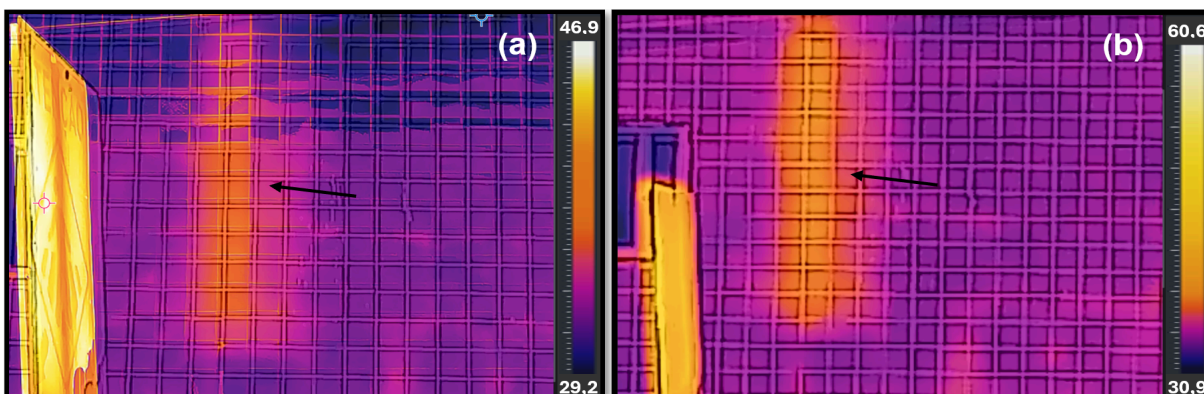
Fonte: Autor, 2025.

Figura 54 - Termogramas da Fachada 2 obtidos às 19h30, evidenciando o Descolamento F2A: (a) distância de 9,2 m; (b) distância de 16,0 m



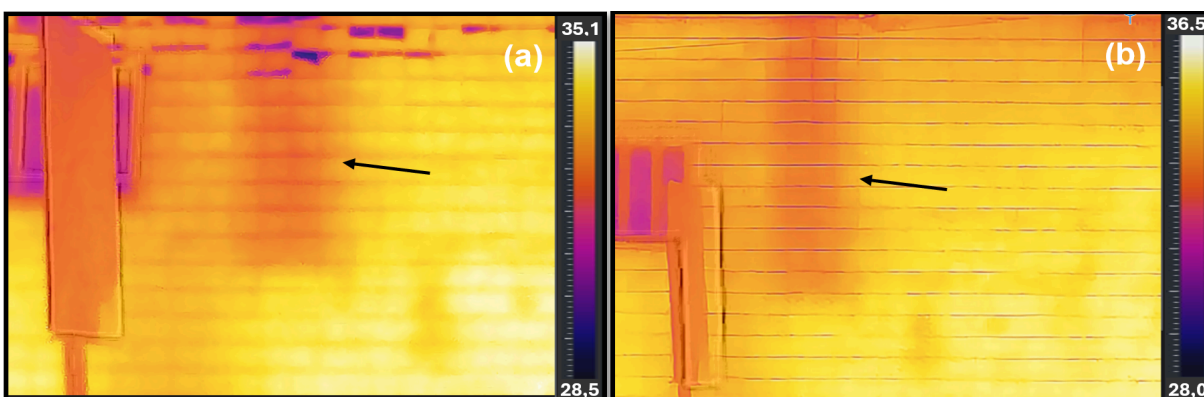
Fonte: Autor, 2025.

Figura 55 - Termogramas da Fachada 2 obtidos às 09h30, evidenciando o Descolamento F2B: (a) distância de 7,8 m; (b) distância de 14,7 m



Fonte: Autor, 2025.

Figura 56 - Termogramas da Fachada 2 obtidos às 19h30, evidenciando o Descolamento F2B: (a) distância de 7,8 m; (b) distância de 14,7 m



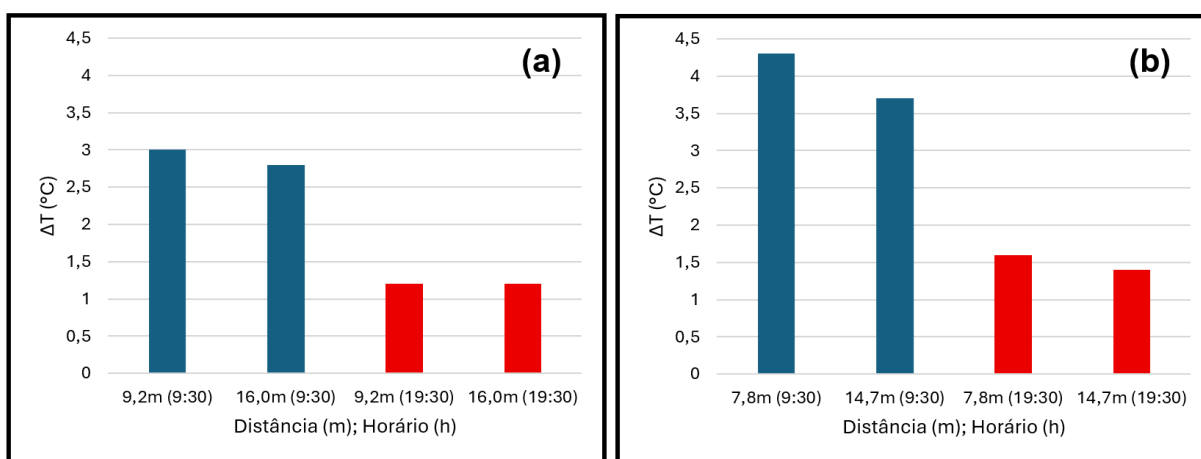
Fonte: Autor, 2025.

A análise visual dos termogramas nas Figuras 53 e 55 (09h30) revela que, sob a incidência de radiação solar, os Descolamentos F2A e F2B se destacam claramente como regiões de temperatura elevada (ponto quente), apresentando um forte contraste térmico positivo. Já nas Figuras 54 e 56 (19h30), observa-se o fenômeno da inversão térmica característico do período de arrefecimento: as anomalias passam a se comportar como regiões de temperatura inferior (ponto frio), exibindo um contraste negativo.

Em ambos os cenários, a identificação dos defeitos foi preservada mesmo com o aumento significativo da distância de medição (que variou de 7,8 m até 16,0 m nos casos analisados). Embora ocorra uma natural perda de definição nas bordas do defeito na maior distância, o elevado valor inicial de ΔT , proporcionado pelas propriedades do revestimento e pelas dimensões das anomalias que, visualmente superiores a 5,0 cm, garantiram que a detecção permanecesse visível, conforme apresentado na Tabela 5.

Complementando essa análise qualitativa, a Figura 57 apresenta a variação quantitativa do contraste térmico (ΔT) em função do horário e da distância. Ressalta-se, conforme discutido anteriormente, que os valores no gráfico correspondem ao módulo da média aritmética e são diferenciados por cores: barras azuis indicam o período de aquecimento e barras vermelhas o de resfriamento, evidenciando a inversão térmica negativa.

Figura 57 – Variação do contraste térmico (ΔT) em função do horário e da distância para a fachada 2, detalhando o comportamento de cada Descolamento: (a) F2A; (b) F2B



Fonte: Autor, 2025.

A análise quantitativa da Fachada 2, detalhada na Figura 57, revela um comportamento térmico distinto em comparação com a fachada anterior, correlacionado diretamente à sua orientação Norte. O padrão geral observado foi que o contraste térmico (ΔT) se mostrou mais elevado no período da manhã (09h30), durante a fase de aquecimento, para ambos os descolamentos. O descolamento F2B apresentou o maior sinal térmico em todas as medições, destacando-se do F2A. O maior valor de ΔT registrado em toda a análise foi de 4,3°C (na Placa F2B às 09h30, a 7,8 m), enquanto os menores contrastes foram observados no período da tarde, ficando em torno de 1,2°C (na Placa F2A às 19h30).

Quanto à influência da distância de medição, a tendência observada foi de uma leve atenuação (redução) do ΔT com o aumento da distância, embora essa influência tenha variado entre os defeitos. No caso do descolamento F2A durante a tarde, a influência foi nula (0%), com o ΔT permanecendo idêntico mesmo com o aumento da distância de 9,2 m para 16,0 m. Em outros cenários, a atenuação foi perceptível, como na Placa F2A às 09:30, onde o ΔT sofreu uma redução de 6,7% (de 3,0°C para 2,8°C). O impacto mais notável da distância ocorreu na Placa F2B, que registrou uma redução de 14,0% no ΔT pela manhã (de 4,3°C para 3,7°C) e de 12,5% à tarde (de 1,6°C para 1,4°C) ao quase dobrar a distância de medição.

Com base nos resultados quantitativos e qualitativos da Fachada 2, conclui-se que a distância de medição exerceu uma influência quantitativa variável sobre os valores de contraste térmico (ΔT). Para os defeitos, horários e orientação solar específicos desta fachada, o impacto da distância variou de nulo (0%) em alguns casos (como no F2A à tarde) a uma atenuação moderada em outros (como no F2B). No entanto, é fundamental notar que, mesmo nos casos de maior atenuação quantitativa, essa influência não foi suficiente para impedir a detecção qualitativa das anomalias. Conforme demonstrado na Tabela 5, todos os descolamentos permaneceram "Visíveis" em todas as faixas de distância testadas.

5.3 Análise comparativa e discussão dos resultados

A análise comparativa entre os resultados obtidos com o protótipo e os das fachadas permite consolidar a discussão sobre a influência da distância na inspeção termográfica. O protótipo foi projetado intencionalmente para representar uma condição crítica, com revestimento na cor branca (menor capacidade de absorção de calor) e defeitos de pequenas dimensões. Essa combinação resultou em contrastes térmicos (ΔT) baixos, que alcançaram um máximo de 2,1°C na orientação Leste e apenas 0,7°C na orientação Norte.

Em contraste, as inspeções realizadas nas fachadas analisaram descolamentos com dimensões visualmente superiores a 5 cm e em revestimentos de cores com maior absorvância (verde escuro na Fachada 1 e azul na Fachada 2). Essas condições favoreceram uma resposta térmica mais intensa, resultando em picos de ΔT de 6,1°C e 4,3°C, respectivamente.

Essa diferença nos resultados não se deve apenas ao ΔT inicial, mas também à magnitude da variação da distância aplicada em cada etapa. No estudo com o protótipo, a distância de medição aumentou seis vezes (de 2,0 m para 12,0 m), impondo uma condição de teste mais severa. Já nas inspeções em fachada, o incremento da distância foi proporcionalmente menor, não chegando a dobrar em relação à posição inicial. Conseqüentemente, no protótipo, onde o sinal térmico já era fraco e o afastamento foi drástico, o aumento da distância teve grande impacto, provocando reduções expressivas do ΔT , que chegaram a 50% e 66,7%, o que levou à perda de detecção em alguns casos ("Não visível"). Já nas fachadas, com sinais térmicos mais fortes e menor variação de distância, o efeito foi atenuado. A redução máxima observada nos descolamentos avaliados foi de 14%, e em muitos casos o impacto foi mínimo (1,6%) ou até inexistente (0%).

Com base nesses resultados, pode-se estabelecer a principal conclusão deste trabalho: a distância de medição impacta o valor quantitativo do ΔT . No entanto, seu efeito sobre a viabilidade da inspeção, ou seja, sobre a capacidade de detectar o descolamento, se torna

relevante em situações de baixo contraste térmico. O protótipo demonstrou que, em condições desfavoráveis (cor clara, defeitos pequenos e orientação menos exposta ao sol), o aumento da distância pode reduzir um sinal já fraco a níveis indetectáveis. As fachadas, por sua vez, mostraram que em situações práticas, com descolamentos maiores e cores mais adequadas, o ΔT inicial é suficientemente alto para que a atenuação causada pela distância, dentro das faixas testadas, não comprometa a detecção.

Por fim, a comparação entre as próprias fachadas reforça a importância da interação entre as variáveis envolvidas na inspeção. A diferença de comportamento térmico, com a Fachada 1 apresentando maiores ΔT à tarde e a Fachada 2 pela manhã, indica que o inspetor deve considerar também a orientação solar e o horário de medição. Esses fatores são essenciais para maximizar o contraste térmico inicial e garantir que a atenuação inevitável causada pela distância não prejudique a identificação das anomalias.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal analisar a influência da distância de medição na identificação de descolamentos em revestimentos cerâmicos por meio da termografia infravermelha. A metodologia adotada, confrontando dados em uma parede com descolamentos com dimensões controladas (protótipo) com situações de inspeção em fachadas, permitiu as seguintes conclusões:

Em relação aos ensaios experimentais realizados no protótipo (condição controlada):

- **Análise Qualitativa:** A análise evidenciou que a distância de medição interfere diretamente na visibilidade dos descolamentos, atuando em conjunto com a largura dos defeitos e a orientação solar. Enquanto os descolamentos de maiores dimensões (5,0 cm) mostraram-se resilientes ao aumento da distância, sendo detectados consistentemente nas orientações Leste e Norte, os defeitos de menores dimensões (2,5 cm) apresentaram sensibilidade crítica ao afastamento da câmera. Na orientação Leste, o aumento da distância resultou na perda de visibilidade desses defeitos menores nos horários de menor fluxo térmico, enquanto na orientação Norte eles permaneceram indetectáveis.
- **Análise Quantitativa:** Os valores de contraste térmico (ΔT) apresentaram uma faixa de variação entre 0,2°C e 2,1°C para os descolamentos detectáveis. O ΔT máximo foi registrado na orientação com maior exposição solar direta (Leste, pela manhã) e associado às placas de maiores dimensões. Já os valores mínimos de ΔT foram observados nos períodos de arrefecimento e nas placas de menores dimensões, evidenciando a dificuldade de gerar contrastes significativos em defeitos pequenos sob condições menos favoráveis.
- **Influência da Distância:** Considerando os valores médios obtidos, concluiu-se que existe uma tendência de diminuição do ΔT com o aumento da distância de medição. A distância exerceu influência determinante na detecção de anomalias em cenários de baixo contraste térmico: o aumento de 500% na distância (de 2 m para 12 m) causou reduções no sinal térmico que inviabilizaram a detecção dos descolamentos de menores dimensões.

Em relação aos estudos realizados em fachadas:

- **Análise Qualitativa:** Em cenários onde o contraste térmico inicial é elevado, favorecido por revestimentos de cores mais escuras e alta absorvância, a influência da distância mostrou-se menos crítica para fins qualitativos. Mesmo

dobrando a distância de medição, os descolamentos analisados permaneceram visíveis em 100% dos casos.

- **Análise Quantitativa:** As fachadas apresentaram uma faixa de valores de ΔT entre 1,2°C e 6,1°C, superiores aos encontrados no protótipo. Os valores máximos foram obtidos nos horários de maior carga térmica (final da tarde para a Fachada 1 e manhã para a Fachada 2), confirmando que a escolha do horário alinhada à orientação solar é fundamental para maximizar o contraste.
- **Influência da Distância:** A atenuação quantitativa do ΔT causada pelo afastamento da câmera nas fachadas variou, em média, entre 0% e 14%. Essa redução, embora existente, não foi suficiente para comprometer o diagnóstico visual das anomalias, diferentemente do comportamento observado no protótipo.

A comparação entre os resultados indicou que as fachadas apresentaram condições mais favoráveis, beneficiadas pela maior absorvância térmica dos revestimentos e pela variação moderada da distância, que não chegou a dobrar em relação à posição inicial. Em contrapartida, o protótipo, desenvolvido com revestimento cerâmico de cor branca, propositalmente desfavorável, foi concebido para testar os limites da técnica, evidenciando o impacto crítico da variável distância, uma vez que o aumento de 500% no afastamento provocou uma redução acentuada do sinal térmico.

Conclui-se, portanto, que existe uma relação direta entre o aumento da distância e a diminuição do ΔT ; contudo, a magnitude dessa redução depende do contraste térmico inicial. Observa-se que esse contraste é condicionado pelas dimensões superficiais (largura) do descolamento e pela orientação solar, ao passo que a variação da profundidade da falha não apresentou impacto significativo nos termogramas. De modo que defeitos de menor largura ou situados em orientações com menor incidência solar produzem sinais mais fracos, os quais são severamente atenuados pelo afastamento, enquanto situações com alto contraste inicial apresentam maior tolerância à interferência causada pela distância.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No intuito de dar continuidade à vertente pesquisa e aprofundar os resultados obtidos, propõem-se para trabalhos futuros:

- Realizar estudos com protótipo nas orientações solares Sul e Oeste, a fim de verificar o comportamento do contraste térmico (ΔT) e a influência da distância em condições de insolação distintas das avaliadas neste trabalho (Norte e Leste);
- Investigar a influência do ângulo de observação (verticalidade) na medição da temperatura e na detecção de descolamentos em edificações de múltiplos pavimentos, onde a inclinação da câmera pode afetar a emissividade e a leitura térmica;
- Avaliar a capacidade de detecção de descolamentos em distâncias superiores a 20 e 30 metros, verificando os limites operacionais da técnica para inspeções de edifícios de grande porte a partir do nível do solo;
- Desenvolver um estudo comparativo entre a inspeção terrestre e a inspeção com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), avaliando a eficácia, a resolução espacial e o custo-benefício de cada abordagem;
- Analisar quantitativamente a influência da distância na mensuração da área do descolamento, verificando a margem de erro no dimensionamento da anomalia à medida que a câmera se afasta do alvo, visto que a perda de resolução pode afetar a precisão das bordas do defeito;
- Comparar o desempenho de câmeras termográficas com diferentes resoluções de detector e diferentes Campos de Visão Instantâneo (IFOV), visando estabelecer os requisitos mínimos de equipamento para inspeções de fachada a longas distâncias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALA, Matheus Emanuel; VILELA, Saulo de Carvalho Campos. **Manifestações patológicas em fachadas: estudo de caso na área 3 da PUC Goiás**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/2301>. Acesso em: 18 maio 2025.

ALMEIDA, Georgiana Rodrigues da Silva; BORGES, Jairo da Silva; ARAÚJO, Tacilia Luenia Lima de; ARAÚJO, Luana Leal Fernandes. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS. **Revista Mangaio Acadêmico**, v. 6, n. 2, p. 27-46, 2021.

ALVES FILHO, G. F. **Análise comparativa das técnicas de gravimetria e termografia infravermelha na avaliação de umidade ascensional na alvenaria**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras, 2025. Disponível em: <https://pergamum.ufob.edu.br/acervo/276259>. Acesso em: 4 jul. 2025.

ANDRADE, Renan P.; RESENDE, Maurício M.; MARANHÃO, Flávio L. Estado da arte da utilização da técnica de termografia da técnica de termografia embarcada em drones para inspeção de revestimentos de fachadas. *In*: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 2., 2019, [S. l.]. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/335398256_Uso_da_termografia_para_deteccao_de_falhas_em_sistemas_de_revestimentos_aderidos_com_cameras_de_baixa_resolucao_termica. Acesso em: 11 jul. 2025.

ANDRADE, R. P. D. **Uso da termografia infravermelha embarcada em drone como ferramenta para a inspeção de patologias em revestimentos aderidos de fachada**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3153/tde-18112020-102555/>. Acesso em: 15 maio 2025.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16292: Ensaios não destrutivos - Termografia - Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16485: Ensaios não destrutivos - Termografia - Medição e compensação da emissividade utilizando câmeras termográficas ou radiômetros**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16818: Ensaios não destrutivos - Termografia infravermelha - Procedimento para aplicações do método da termografia infravermelha.** Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16969: Ensaios não destrutivos - Termografia infravermelha - Princípios gerais.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BARREIRA, E.; ALMEIDA, R. M. S. F.; FREITAS, V. P. DE; SOARES, T. Sensitivity analysis of quantitative infrared thermography. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BUILDING PATHOLOGY*, 1., 2015, Porto. **Anais [...]**. Porto: FEUP, 2015.

BAUER, E. *et al.* Infrared thermography - evaluation of the results reproducibility. **Structural Survey**, Bingley, v. 31, n. 3, p. 181-193, 2015.

BAUER, E.; LUCENAS, R. R. D.; PAVÓN, E. Critérios para identificação e diagnóstico de anomalias em fachadas cerâmicas através da termografia infravermelha quantitativa. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 2, p. 101-119, 2023. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/126502>. Acesso em: 10 jun. 2025.

BAUER, E.; PAVÓN, E. Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios. **Concreto & Construções**, São Paulo, n. 79, p. 93-98, set. 2015.

BAUER, E.; SOUZA, J. S.; MOTA, L. M. G. Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 23-43, out./dez. 2021. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/107273>. Acesso em: 10 jun. 2025.

BAUER, E. **Termografia aplicada à construção civil.** [S. l.: s. n.], 2019.

BIAGIOTTI, Nathalia. **Câmera Termográfica como ferramenta de caracterização do comportamento térmico de fachadas: Estudo de caso edifícios comerciais em Ribeirão Preto.** 2021. Tese (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

BRIQUE, S. K. **Emprego da termografia infravermelha no diagnóstico de falhas de aderência de peças cerâmicas utilizadas em fachadas de edifícios.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

CAMPELO, Gabriela *et al.* Inspeção de manifestações patológicas e mapa de danos em fachadas de um Edifício Universitário. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, Recife, v. 10, n. 1, p. 23-32, 2025.

CAU/BR. **Pesquisa Datafolha: 82% das moradias do país são feitas sem arquitetos ou engenheiros.** 2022. Disponível em: <https://www.caubr.gov.br/pesquisa-datafolha-82-das-moradias-do-pais-saofeitas-sem-arquiteto-s-ou-engenheiros/>. Acesso em: 15 maio 2025.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: Características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. (Publicação IPT, 2378).

CÔRTE, A.; HERNANDEZ, A. Termografia médica infravermelha aplicada à medicina do esporte. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 315-319, 2016.

DESPLACAMENTO cerâmico é problema setorial e requer mobilização da cadeia produtiva. **SindusCon-SP**, 2016. Disponível em: <https://sindusconsp.com.br/desplacamento-ceramico-e-problema-setorial-e-requer-mobilizacao-da-cadeia-produtiva/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

FLIR SYSTEMS. **Thermal imaging guidebook for building and renewable energy applications**: An informative guide for the use of thermal imaging cameras for inspecting building, solar panels and windmills. [S. l.], 2011.

FLIR SYSTEMS. **Catálogo geral**. AK Industrial, 2013. Disponível em: http://www.akindustrial.com.br/pdf/flir/Teste_e_Medicao/catalogo_geral.pdf. Acesso em: 12 abr. 2025.

FLIR SYSTEMS. **Infrared Camera User's Manual**. 2018. Disponível em: <https://www.flir.com>. Acesso em: 15 jun. 2025.

FLIR SYSTEMS. **Understanding Distance:Size Ratio**. FLIR Discover, 8 maio 2020. Disponível em: <https://www.flir.com/discover/professional-tools/understanding-distancesize-ratio/>. Acesso em: 20 jul. 2025.

FLIR SYSTEMS. **MO297: Pinless Moisture Psychrometer + IR Thermometer Support**. [S. l.]: FLIR Systems, 2025. Disponível em: <https://www.flir.eu/support/products/mo297/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

GOOGLE. **[Localização do Campus Reitor Edgard Santos - UFOB, Barreiras, BA]**. [S. l.: Google], 2025. 1 imagem de satélite. Disponível em: https://www.google.com.br/maps/@-12.1482167,-45.0215194,357m/data=!3m1!1e3?hl=pt-BR&entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MTExNy4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D. Acesso em: 8 nov. 2025.

GOOGLE. **[Localização da Rua Professor José Seabra, Barreiras, BA]**. [S. l.: Google], 2025. 1 imagem de satélite. Disponível em: https://www.google.com.br/maps/@-12.1502921,-45.0021698,69m/data=!3m1!1e3?hl=pt-BR&entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MTExNy4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D. Acesso em: 8 nov. 2025.

GOOGLE. **[Localização da Rua Vasco da Gama, Barreiras, BA]**. [S. l.: Google], 2025. 1 imagem de satélite. Disponível em: https://www.google.com.br/maps/@-12.1529275,-44.999603,300m/data=!3m1!1e3?hl=pt-BR&entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MTExNy4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D. Acesso em: 8 nov. 2025.

HART, J. M. **A Practical Guide to Infra-red Thermography for Building Surveys**. London: CRC Press, 1998.

HIKMICRO. **G41 Handheld Thermal Camera**. [S. l.], 2023. Datasheet. Disponível em: https://www.sensors.nl/wp-content/uploads/2023/11/G41_Datasheet_V5.5.43_en-US_20230524.pdf. Acesso em: 11 jun. 2025.

HOLST, G. C. **Common sense approach to thermal imaging**. Winter Park: JCD Publishing, 2000.

INTERNATIONAL TRAINING CENTER. **Curso de Termografia Nível 1**. [S. l.]: ITC, 2021. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/414587742/itc-nivel-1>. Acesso em: 15 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO. **Norma de Inspeção Predial**. São Paulo: IBAPE/SP, 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Tabela de estações**: estação Barreiras (A402). Brasília: INMET, 2025. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A402>. Acesso em: 5 outubro. 2025.

ITC. **Termografia Nível 1: Manual do curso**. São Paulo: Infrared Training Center, 2014.

JULIANI, Bárbara Boger Tolentino. **Avaliação da utilização e viabilidade da termografia infravermelha em inspeções de revestimentos e estruturas na construção civil**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

KYLILI, A. *et al.* Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review. **Applied Energy**, Amsterdã, v. 134, p. 531-549, set. 2014.

LOURENÇO, T.; MATIAS, L.; FARIA, P. Anomalies detection in adhesive wall tiling systems by infrared thermography. **Construction and Building Materials**, v. 148, n. September, p. 419–428, 2017.

LUCENAS, Raynnara Ribeiro Dias. **Crítérios para aplicação da termografia de infravermelho quantitativa na investigação de descolamentos cerâmicos de fachada**. 2022. 135 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.pecc.unb.br/wp-content/uploads/2023/02/DM-11A22-Raynnara-Ribeiro-Dias-Lucenas.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2025.

MALDAGUE, X. **Applications of infrared thermography in nondestructive evaluation**. Quebec, Canada. 2001.

MALDAGUE, X. **Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing**. Wiley ed. NY, USA. 2001.

MALDAGUE, X. X. P.; MOORE, P. O. **Infrared and thermal testing**. 3. ed. Columbus: American Society for Nondestructive Testing, 2001. (Nondestructive testing handbook).

MINKINA, W.; DUDZIK, S. **Infrared Thermography: Errors and Uncertainties**. Chichester: Wiley, 2009.

OLIVEIRA, G. F. P. de. **Potencialidades da termografia para o diagnóstico de patologias associadas à umidade**. 2013. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013.

OLIVEIRA, W. F. **Termografia de infravermelho na avaliação de umidade ascensional em paredes de alvenaria: influência da orientação solar e do tipo de revestimento**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras, 2019. Disponível em: <https://pergamum.ufob.edu.br/acervo/271610>. Acesso em: 4 jul. 2025.

PATRIOTA JUNIOR, A. I.; BATISTA, P. I. B.; PÓVOAS, Y. V. Verificação de Descolamento Cerâmico de Fachada por Meio da Termografia Infravermelha. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, Recife, v. 5, n. 3, p. 9-18, 2020.

PAVÓN, E. **Critérios e padrões de comportamento para avaliação de descolamentos cerâmicos com termografia de infravermelho**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

RODRIGUES, J. M. D.; RODRIGUES, L. C.; SANTOS, L. S. dos. Uso da Termografia Infravermelha na Detecção de Manifestações Patológicas em Fachadas de Edifícios. **Revista TEC-E**, Curitiba, v. 13, n. 2, p. 1-18, 2019. Disponível em: <https://revistatecie.crea-pr.org.br/index.php/revista/article/view/655>. Acesso em: 11 jun. 2025.

SANTOS, Cynthia Firmino dos; ROCHA, Joaquim Humberto Aquino; PÓVOAS, Yêda Vieira. Utilização da termografia infravermelha para detecção de focos de umidade em paredes internas de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 105-127, jan./mar. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/wfzXFzWqpPdXtYh7GjTGrVh/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

SANTOS, I. M. **Aplicação da Termografia Infravermelha na avaliação de umidade ascensional em paredes de alvenaria**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras, 2018. Disponível em: <https://pergamum.ufob.edu.br/acervo/269818>. Acesso em: 4 jul. 2025.

SILVA, D. D. S. **Diagnóstico de patologias em fachadas utilizando termografia**. 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

SILVA, Érica Dantas Pereira e; BAUER, Esequiel de Souza. Caracterização de fissuras em revestimentos de argamassa utilizando termografia infravermelha. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 24, n. 1, p. 87-101, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/v8YQXjGmjQV7dTTJsFmzjyv/>. Acesso em: 17 jun. 2025.

SILVA, Francisco Gabriel Santos; COELHO, Vinícius Almeida; BARBOSA, Luanne Bastos de Britto. Uso da termografia infravermelha como técnica para detecção de infiltrações em fachadas de edifícios Estudo de caso em Salvador-BA. *In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES*, 18., 2021, Salvador. **Anais** [...]. Salvador: CINPAR, 2021. Disponível em: <https://www.editoracubo.com.br/produto/uso-da-termografia-infravermelha-como-tecnica-para-deteccao-de-infiltracoes-em-fachadas-de-edificios-estudo-de-caso-em-salvador-ba/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

SILVA, R. N. T. da. **Estudo da termografia por infravermelho: aplicações na engenharia e determinação de parâmetros termofísicos e geométricos de materiais**. 2007. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SITTER, L. de. Costs for service life optimization: the “law of fives”. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS*, 3., 1984, Espoo. **Proceedings** [...]. Espoo: Technical Research Centre of Finland, 1984. v. 3, p. 131-144.

SOUZA, A. Miranda de *et al.* Manifestações patológicas em alvenarias de vedação. *In: SÁNCHEZ BELLIDO, Álvaro G. et al. (org.). Memórias del XVII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XIX Congreso de Control de Calidad en la Construcción - CONPAT 2023*. Santa Cruz de la Sierra: [s. n.], 2023. p. 14. Disponível em: <https://doi.org/10.21041/CONPAT2023/V2PC1902>. Acesso em: 18 maio 2025.

TAKEDA, O. T.; MAZER, W. Potential of thermographic analysis to evaluate pathological manifestations in facade cladding systems. **Revista ALCONPAT**, v. 8, n. 1, p. 38 - 50, 31 Jan. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.181>. Acesso em: 21 jun. 2025.

TANAKA, D. **Aplicação da termografia infravermelha no estudo de destacamento cerâmico: análise da influência do tamanho do defeito e da orientação solar**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras, 2016.

TANAKA, D.; PAVON, E. Influência das dimensões dos descolamentos de revestimentos cerâmicos na avaliação com termografia de infravermelho. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 133-146, 2021. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/101709>. Acesso em: 10 jun. 2025.

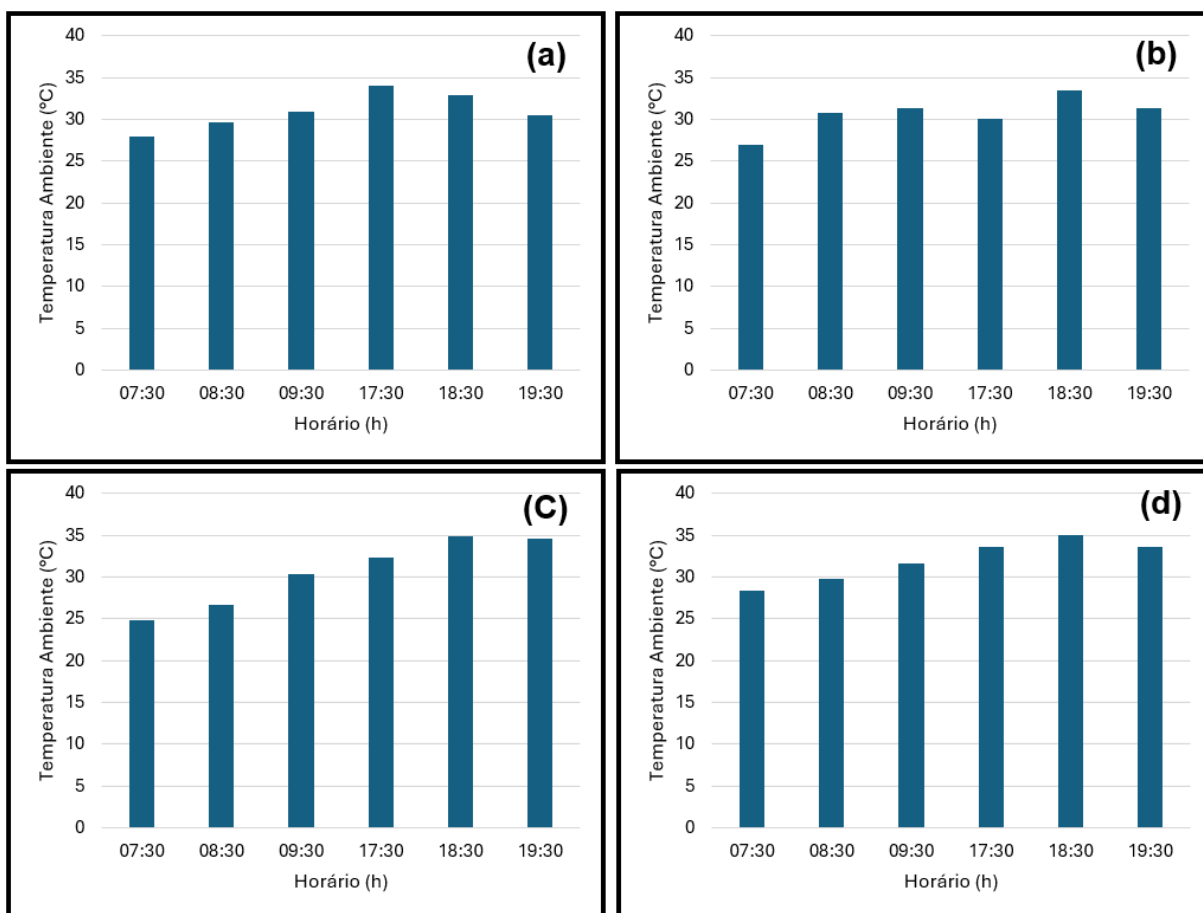
TOMITÁ, K. O.; CHEW, Michael Yit Lin. A Review of Infrared Thermography for Delamination Detection on Infrastructures and Buildings. **Sensors**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 423, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/2/423>. Acesso em: 11 jun. 2025.

TONDELO, P. G.; BARTH, F. Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 10, p. e019009, fev. 2019.

VOLLMER, M.; MÖLLMANN, K. P. **Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications**. 2. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2018.

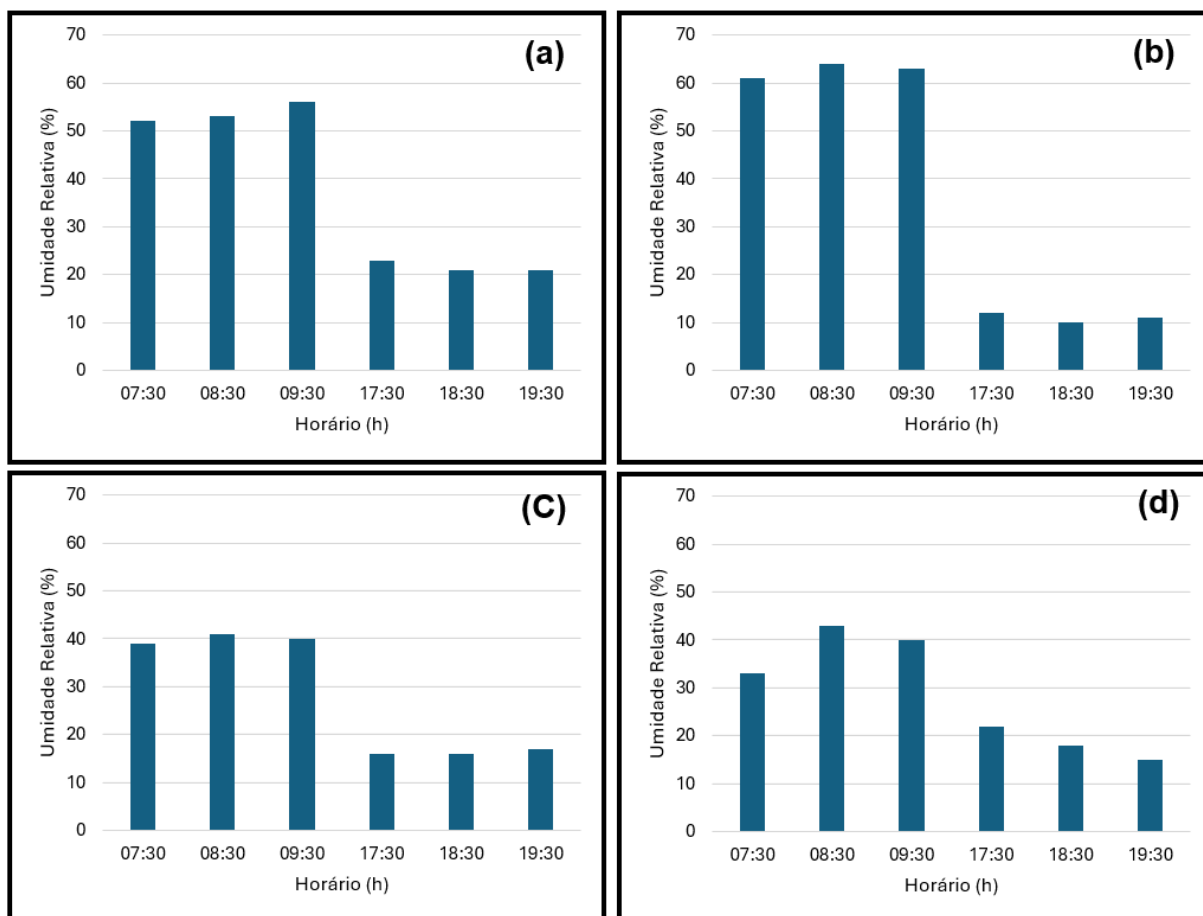
APÊNDICE A – DADOS CLIMÁTICOS E TÉRMICOS DO ESTUDO EM PROTÓTIPO

Figura 58 –Variação da temperatura ambiente nos dias de medição do protótipo:: (a) 09/09/2025; (b) 10/09/2025; (c) 11/09/2025; (d) 15/09/2025



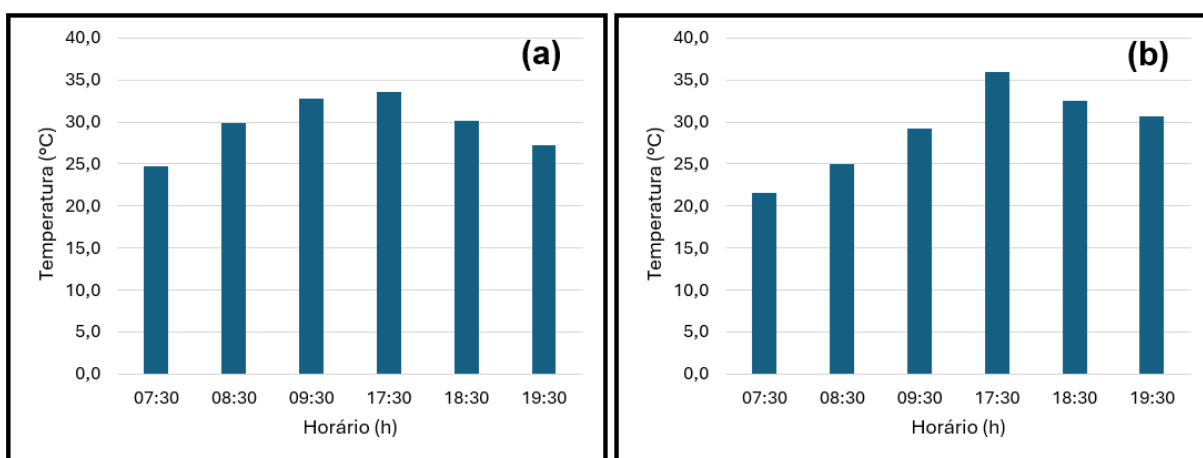
Fonte: Autor, 2025.

Figura 59 – Variação da umidade relativa do ar nos dias de medição do protótipo: (a) 09/09/2025; (b) 10/09/2025; (c) 11/09/2025; (d) 15/09/2025



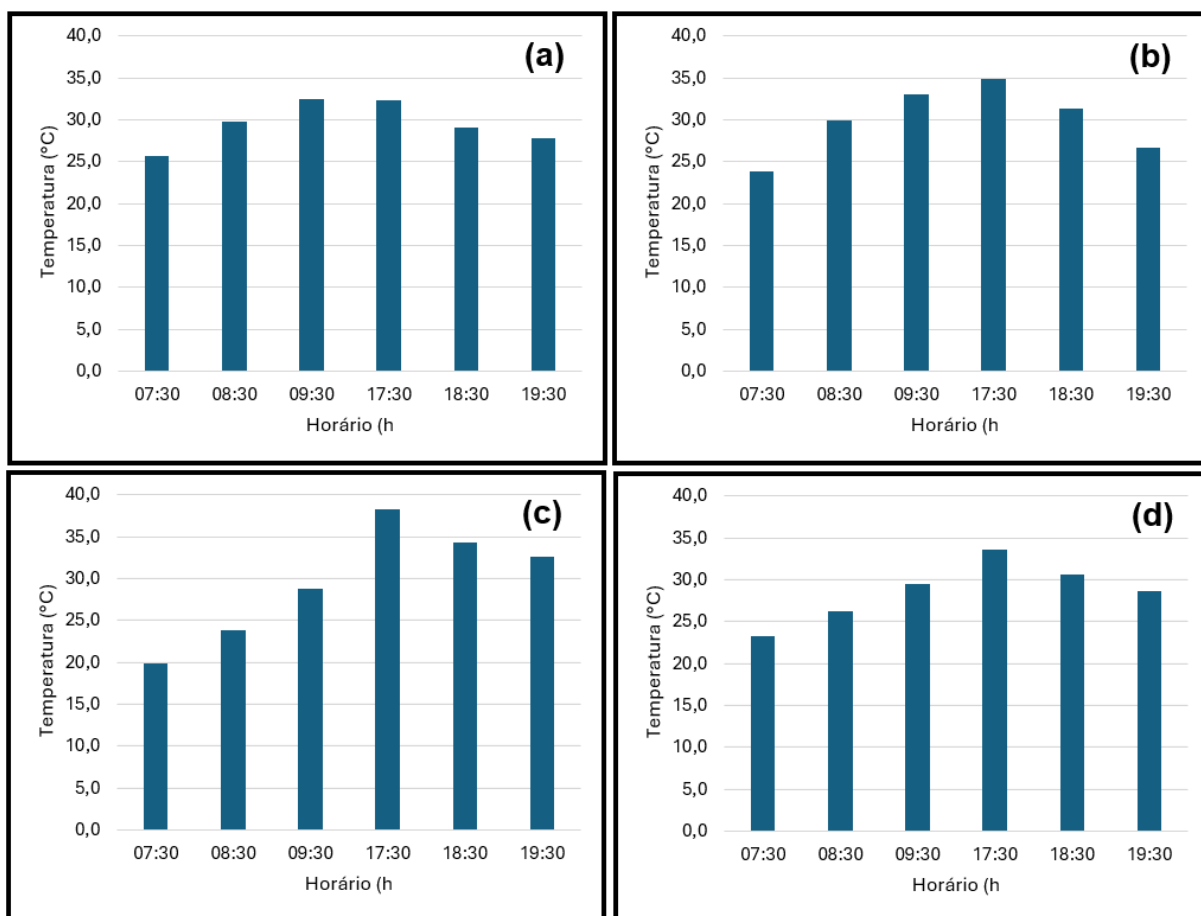
Fonte: Autor, 2025.

Figura 60 – Temperatura média do revestimento cerâmico do protótipo em função do horário para as direções: (a) Leste; (b) Norte



Fonte: Autor, 2025.

Figura 61 – Temperatura média do revestimento cerâmico do protótipo em função do horário para as direções: (a) Leste 09/09/2025; (b) Leste 10/09/2025; (c) Norte 11/09/2025; (d) Norte 15/09/2025



Fonte: Autor, 2025.