UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS (P2CEM)

LIDIA APARECIDA COUTO DA SILVA

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIAS DE APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA NA ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS NO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DE SERGIPE-UFS/EBSERH

SÃO CRISTÓVÃO, SE – BRASIL

FEVEREIRO DE 2020

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIAS DE APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA NA ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS NO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DE SERGIPE-UFS/EBSERH

LIDIA APARECIDA COUTO DA SILVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS OTÁVIO DAMAS MARTINS

SÃO CRISTÓVÃO, SE – BRASIL

FEVEREIRO DE 2020

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Silva, Lidia Aparecida Couto da
S586d Desenvolvimento de metodologias de aplicação da termografia na análise de manifestações patológicas em fachadas no Hospital Universitário de Sergipe-UFS/EBSERH / Lidia Aparecida Couto da Silva ; orientador Carlos Otávio Damas Martins. – São Cristóvão, SE, 2020.
87 f. : il.

Dissertação (mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Sergipe, 2020.

1. Engenharia de materiais. 2. Fachadas (Arquitetura) – Avaliação de riscos. 3. Edifícios públicos – Conservação. 4. Análise térmica. 5. Universidade Federal de Sergipe. Hospital Universitário. I. Martins, Carlos Otávio Damas, orient. II. Título.

CDU 620.19

"DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIAS DE APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA NA ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS NO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DE SERGIPE – UFS/EBSERH"

Lídia Aparecida Couto da Silva

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS.

Aprovada por:

Prof. Dr. Carlos Otávio Damas Martins

Prof. Dr. Jorge Antônio Vieira Gonçalves

Prof. Dr. Sandro Griza

SÃO CRISTÓVÃO, SE – BRASIL

Fevereiro/2020

Este trabalho é dedicado à minha filha Manuela.

“Não sabendo que era impossível, foi lá e fez”

Jean Cocteau

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me presentear com a vida, com saúde e com capacidade para alcançar os objetivos que até hoje busquei. Além de florear meus caminhos com pessoas que contribuíram para que minha trajetória fosse, não digo mais fácil, mas muito mais agradável do que seria se a cumprisse sozinha.

Agradeço à EBSERH - Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares -, que me permitiu o desenvolvimento desta pesquisa em suas dependências e fora delas, contribuindo para meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos colegas do Setor de Infraestrutura Física do Hospital Universitário de Sergipe/EBSERH, que contribuíram com a execução de peças e equipamentos, essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos professores do P2CEM pelos conhecimentos transmitidos com muita competência e responsabilidade, em especial ao Prof. Dr. Wilton Batista, por contribuir de forma direta no delineamento desta pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Martins, sou grata pela paciência e pelo constante incentivo à minha independência intelectual acadêmica, sem nunca reclamar das muitas mensagens aos finais de semana e fora do horário comercial.

Ao Prof. Dr. Raphael do Departamento de Estatística e Ciências Atuárias/UFS, que perdeu horas de sono com todo o bom-humor, agradeço a contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus professores do ensino fundamental, médio e superior, responsáveis por me fornecer base para alcançar o patamar acadêmico em que hoje me encontro, agradeço a paciência e o empenho. Em especial à prof. Berenice Oppido, que me desperta admiração, respeito e amizade, cuja presença foi determinante para que minhas palavras fluíssem de maneira correta e concisa.

Agradeço à minha filha Manuela, que me treinou previamente para permanecer acordada durante as madrugadas, período no qual boa parte desta dissertação foi desenvolvida. Sou grata pelos sorrisos e abraços que me renovaram constantemente a energia na minha jornada em busca deste título.

Agradeço à minha mãe, Maria, que foi meu exemplo de força e honestidade, que nunca mediu esforços para me permitir estudar e evoluir, sendo meu apoio para alcançar meus maiores objetivos.

Agradeço ao José Dantas pela imensa paciência em escutar e opinar sobre as minhas muitas inseguranças, dúvidas e desesperos, além de incentivar sempre as minhas escolhas.

Aos amigos Luciano Almeida e André Santana, que foram responsáveis por muitas discussões e ideias durante este período, nem sempre produtivas, porém sempre muito divertidas, regadas a incentivo, deixo meu profundo e sincero agradecimento.

Ao irmão que eu escolhi, Sérgio Ricardo, agradeço pelas horas de conversas, desabafos e incentivos, que resultaram em uma extrema sensação de acolhimento e alívio, de fundamental importância para continuar a ultrapassar os obstáculos do caminho, por maiores que fossem.

Ao meu grupo de estudos do mestrado, Iris, Larissa e Thais, agradeço a companhia, o apoio e a compreensão que vocês sempre me proporcionaram. Só quem passa pela experiência sabe a importância do companheirismo que sempre encontrei em vocês. Sem esse apoio com certeza o caminho teria sido muito mais sombrio.

Agradeço aos queridos Marlon e Jakeline, pela amizade e acolhida que sempre recebi quando necessitei de espaço para desestressar das cobranças diárias, assim como pelas palavras de incentivo e apoio que com carinho me direcionaram.

Agradeço à minha psicóloga Ilka Herrera, que com extremo profissionalismo e competência, tem acompanhado e facilitado meu autoconhecimento e meu desenvolvimento emocional, elementos fundamentais para basear minhas escolhas e fixar meus objetivos, resultando em muitas conquistas.

Resumo da Dissertação apresentada ao P^{2}CEM/UFS como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciência e Engenharia dos Materiais.

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIAS DE APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA NA ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS NO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DE SERGIPE-UFS/EBSERH

Lídia Aparecida Couto da Silva

Engenheira Civil

Fevereiro/2020

Orientador: Prof. Dr. Carlos Otávio Damas Martins

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais

O desempenho de uma edificação está diretamente ligado à conservação dos seus sistemas constituintes. Para as estruturas de engenharia o sistema de fachadas é responsável pela proteção contra as ações climáticas e ambientais, além de possuir importância estética, tendo a sua integridade grande importância para o bom desempenho da edificação. Em vista disto, torna-se necessário o uso de ferramentas preditivas de manutenção, buscando garantir a segurança operacional e a preservação da vida de usuários e transeuntes. Neste panorama, a técnica de termografia infravermelha tem ganhado destaque para a detecção de manifestações patológicas em fachadas e demais elementos construtivos. Este trabalho buscou o desenvolvimento de metodologias confiáveis para aplicação da técnica termográfica na análise das fachadas de revestimento cerâmico do Hospital Universitário de Sergipe – UFS/EBSERH (HU). Foram analisadas as influências de diversos fatores controlados em laboratório na sensibilidade da técnica termográfica. Ao final, a metodologia desenvolvida foi aplicada com sucesso nas fachadas do Prédio Anexo Hospitalar do HU, fornecendo melhores indícios sobre a localização e extensão das manifestações patológicas do tipo descolamento de revestimento cerâmico.

Palavras Chave: Ensaios não destrutivos, Termografia Infravermelha, Manifestações Patológicas, Integridade de Prédios Públicos, Fachadas.

Abstract of Master dissertation presented to P^{2}CEM/UFS as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Materials Science and Engineering (M.Sc.)

APPLYING INFRARED THERMOGRAPHY FOR THE FAÇADE PATOLOGIES INSPECTION ON THE HOSPITAL OF FEDERAL UNIVERSITY OF SERGIPE - UFS/EBSERH

Lídia Aparecida Couto da Silva

Civil Engineer

February/2020

Advisors: Prof. Dr. Carlos Otávio Damas Martins

Department: Post Graduate Program of Materials Science and Engineering

The performance of a building is directly linked to the conservation of its constituent systems. For engineering structures, the facade system is responsible for the protection against climate and environmental actions, besides having aesthetic importance, and its integrity is very importante for the good performance of the building. Taking this into consideration, surely it is necessary to use predictive maintenance tools, seeking to ensure opertional safety and preservation of the life of users and people who come and go. In this scenario, the technique of infrared thermography has gained prominence for the detection of pathological manifestations in facades and other constructive elements. This research was conducted to analyze the development of reliable methodologies for the application of the thermographic technique in the analysis of ceremic cladding facades of the University Hospital of Sergipe – UFS/EBSERH (HU). The influences of several laboratory controlled factors on the sensitivity of the thermographic techinique were analyzed. In the end, the methodology developed was successfully applied to the faced of the HU Hospital Annex Building, providing better evidence on the location and extent of pathological manifestations of the ceramic coating detachment type.

Key Words: Nondestructive tests, Infrared Termography, Pathological Manifestations, Integrity of Public Buildings, Facades.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....x

LISTA DE TABELAS.....xiii

1 INTRODUÇÃO.....1

2 OBJETIVOS.....3

2.1 Objetivo geral.....3

2.2 Objetivos específicos.....3

2.3 Contribuições para o desenvolvimento regional.....3

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....4

3.1 Desempenho de edificações.....4

3.2 Manifestações patológicas.....4

3.3 Sistema de fachadas.....6

3.4 Ensaios não destrutivos.....7

3.5 Termografia infravermelha.....10

3.5.1 Calor e temperatura.....11

3.5.2 Transferência de calor.....12

3.5.3 Câmera infravermelha.....14

3.6 Termografia em fachadas.....16

3.7 Estudos da termografia infravermelha aplicada à construção civil no Brasil.....21

3.8 Hospital Universitário de Sergipe - UFS/EBSERH.....22

4 MATERIAIS E MÉTODOS.....27

4.1 Equipamentos e softwares utilizados.....27

4.1.1 Câmeras termográficas.....27

4.1.2 Termo-higrômetro.....28

4.1.3 Fontes de calor e suporte metálico.....28

4.2 Confecção de corpos de prova.....29

4.3 Matriz experimental.....30

4.3.1 Primeira etapa.....30

4.3.2 Segunda etapa 33
4.3.3 Terceira etapa 34
4.4 Limitantes da pesquisa 36
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 37
5.1 Comportamento do fluxo de calor 37
5.2 Comportamento de ΔT 38
5.3 Influência da reflexão 39
5.4 Análise de variância 41
5.5 Limitações físicas para detecção de defeitos 43
5.5.1 Posicionamento para detecção dos defeitos 44
5.5.2 Controle da escala de temperatura 45
5.5.3 Comparação entre câmeras termográficas 46
5.6 Desenvolvimento de metodologia para aplicação em campo 48
5.7 Aplicação da termografia em campo 48
6 CONCLUSÕES 57
7 SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 58
8 REFERÊNCIAS 59
ANEXO A 65
ANEXO B 70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Destroços das placas de mármore com portão danificado (a) e fachada com sinais de corrosão (b) [5]. 2
Figura 2: Exemplos de manifestações patológicas recorrentes: fissuras (a) e descolamento de revestimento cerâmico (b). 6
Figura 3: Distribuição de camadas constituintes de um sistema de revestimento cerâmico de fachadas. 7
Figura 4: Expressão gráfica da influência da manutenção na garantia do desempenho de edificações (a) e da relação entre os custos associados e os tipos de intervenções (b) [27]. 10
Figura 5: Diferentes técnicas termográficas: passiva (a) e ativa (b). 11
Figura 6: Modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação [32]. 12
Figura 7: Espectro eletromagnético, com indicação de comprimentos de onda e exemplos de utilização [36]. 14
Figura 8: Esquema simplificado de uma câmera termográfica genérica, com suas partes e funções. Adaptado de SANTOS [31]. 14
Figura 9: Termograma (a) e fotografia (b) de parte da fachada de uma edificação. 15
Figura 10: Representação gráfica dos parâmetros FOV e IFOV de uma câmera termográfica, onde d = distância do equipamento à superfície. Adaptado de SANTOS [31]. 16
Figura 11: Esquema de montagem do corpo de prova. Adaptado de FREITAS et al [28]. 17
Figura 12: Corpo de prova com simulação de descolamento central das placas cerâmicas. Adaptado de BAUER et al [38]. 18
Figura 13: Vista aérea do Hospital Universitário de Sergipe – UFS/EBSERH, com indicação das principais edificações do complexo. Fonte: Google Earth (acesso em 27/02/2020). 23
Figura 14: Exemplo de fachada com infiltração e descolamento da camada de tinta (a) e fachada com descolamento de reboco e fissuras (b). 24
Figura 15: Edificações pertencentes ao Hospital Universitário de Sergipe revestidas com pastilhas cerâmicas: Prédio de ambulatórios gerais (a), Prédio anexo hospitalar (b) e Prédio do centro de ciências biológicas e da saúde (c). 25
Figura 16: Edificações pertencentes ao Hospital Universitário de Sergipe revestidas com argamassa e pintura: Prédio de ambulatórios da biomédica (a), Prédio de ambulatórios de dermatologia (b) e Prédio Principal (c). 26
Figura 17 – Projeto geral (a) e detalhamento das peças (b). 28

Figura 18: Suporte executado em utilização durante os ensaios. 29
Figura 19: Corpo de prova em execução com simulação de descolamento ao centro (a) Corpo de prova finalizado, com pastilha cerâmica e rejunte (b). 29
Figura 20: fluxograma geral da pesquisa 30
Figura 21: Disposição para extração de termogramas – 1ª etapa 31
Figura 22: Placa com três cores de pastilhas e região central pintada em preto, para ajuste de emissividades (ε). 31
Figura 23: Termograma extraído para cálculo da temperatura refletida (T. Ref.) 32
Figura 24: Disposição para extração de termogramas – 2ª etapa 34
Figura 25: Planta de cobertura do Prédio Anexo Hospitalar. Fonte: DIPRO/UFS..... 34
Figura 26: Esquema de posicionamento da câmera termográfica em relação à fachada, para ângulo horizontal de 90º. 35
Figura 27: Esquema de posicionamento da câmera termográfica em relação à fachada para ângulo horizontal 49,2º. 36
Figura 28: Esquema representativo do fluxo de calor no revestimento de fachadas, em regiões com e sem defeito, no ciclo de resfriamento..... 37
Figura 29: Curva Temperatura x Tempo (a) Termograma em t=5 minutos, com indicação dos pontos com (CD) e sem (SD) defeito (b). 38
Figura 30: Curva da diferença da temperatura entre as regiões com e sem defeito em função do tempo (ΔT x t). 39
Figura 31: Braço do operador à direita (a), braço do operador à esquerda (b) e corpo do operador abaixo do centro da placa (c). 39
Figura 32: Placa a 0º (a) Placa a 30º (b). 40
Figura 33: Esquema de corte transversal da placa com defeito de 15 cm, com leve afundamento das pastilhas cerâmicas no centro do defeito. 42
Figura 34: Termogramas extraídos com ângulo de 0º. Distância variando em 5 m (a), 7,5 m (b) e 10 m (c). 44
Figura 35: Termogramas extraídos com ângulo de 30º. Distância variando em 5 m (a), 7,5 m (b) e 10 m (c). 44
Figura 36: Termogramas extraídos com ângulo de 60º. Distância variando em 5 m (a), 7,5 m (b) e 10 m (c). 45
Figura 37: Comparação entre imagens do mesmo termograma com escala de temperatura diferentes: 20ºC a 45ºC (a) e 29ºC a 38ºC (b). 46
Figura 38: modelo T640, ângulo=0º (a) modelo T640, ângulo=30º (b) modelo T640, ângulo=60º (c) modelo E40, ângulo=0º (d) modelo E40, ângulo=30º (e) modelo E40, ângulo=60º (f). 47

Figura 39: Planta de cobertura do prédio Anexo Hospitalar (a) e parte da fachada norte, onde foram identificadas regiões com suspeita de descolamento (b). 49
Figura 40: Imagem da fachada do primeiro pavimento (a) e o termograma correspondente no ciclo de resfriamento (b). 49
Figura 41: Imagem da fachada do segundo pavimento (a) e o termograma correspondente no ciclo de resfriamento (b). 50
Figura 42: Imagem da fachada do terceiro pavimento (a) e o termograma correspondente no ciclo de resfriamento (b). 50
Figura 43: Termogramas extraídos com ângulo horizontal de 49,2º do primeiro (a), segundo (b) e terceiro pavimento (c). 52
Figura 44: Imagem do Prédio Anexo Hospitalar e passarela metálica ligando a fachada norte ao Prédio Principal do HU. Fonte: DIPRO/UFS..... 53
Figura 45: Imagem da fachada do terceiro pavimento (a) e o termograma correspondente no ciclo de aquecimento (b). 53
Figura 46: Termogramas obtidos com a câmera E40 do primeiro (a), segundo (b) e terceiro pavimento (c), com indicação de regiões com descolamento..... 55
Figura 47: Fachada do prédio Anexo Hospitalar durante o processo de manutenção, com a retirada das pastilhas cerâmicas descoladas. 56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Técnicas de ensaios não destrutivos utilizadas na construção civil [23]. 9
Tabela 2: Valores críticos de ângulos de visão. Adaptado de LITWA [46]. 21
Tabela 3: Comparativo entre as câmeras termográficas utilizadas neste trabalho. 27
Tabela 4: Tabela com valores da Análise de Variância. 41
Tabela 5: Teste Tukey para fator TAMANHO 41
Tabela 6: Teste Tukey para fator ÂNGULO 42
Tabela 7: Tabela com valores da Análise de Variância incluindo o fator COR. 43
Tabela 8: Valores de ΔT para os ciclos de resfriamento e aquecimento, do terceiro pavimento. 51
Tabela 9: Valores de ΔT para as regiões de descolamento, por modelo de câmera. .. 54

1 INTRODUÇÃO

Um componente de engenharia deve operar de forma confiável quando submetido a determinadas condições, durante um certo período, exercendo a função para a qual foi projetado. Porém, algumas interferências externas podem influenciar negativamente no seu desempenho, como a ação do meio, sobrecargas, degradação dos materiais constituintes, causas fortuitas, entre outras. Sabendo-se que a falha de um componente pode levar à prejuízos não só materiais e financeiros, mas também de natureza humana, justifica-se a necessidade e o interesse no desenvolvimento do controle de qualidade assim como na fabricação mais eficiente destes componentes [1].

Os sistemas de controle de qualidade corroboram com o conceito de confiabilidade operacional, o qual visa garantir que a segurança individual ou coletiva não seja afetada pela depreciação estrutural [2].

Em relação à construção civil, sabe-se que o seu desenvolvimento num país atinge um grau de importância muito além do ponto de vista econômico, já que não se destaca apenas nas atividades relacionadas ao seu ciclo produtivo, gerando consumo de bens e serviços, mas também pela relevância dos valores sociais e morais. Nesse contexto, o crescimento do setor é inerente e depende constantemente dos avanços tecnológicos.

Em uma edificação existe a interação entre diferentes tipos de materiais, processos e sistemas construtivos, onde se originam diversas manifestações patológicas. Estas podem gerar prejuízos, desconforto, riscos e comprometer o desempenho das edificações. Repará-las é um dos principais desafios enfrentados pelo Engenheiros Civis atualmente. Isto porque, antes do reparo, é preciso diagnosticar, recorrendo-se ao uso de tecnologias avançadas de ensaios e análise de elementos construtivos. Uma vez que a Engenharia de Materiais se dedica ativamente ao desenvolvimento de metodologias de análise e inspeção de materiais, a abordagem multidisciplinar, envolvendo a participação de diversos profissionais, torna-se uma proposta razoável para o combate à mitigação de manifestações patológicas e para garantir a durabilidade na construção civil.

Em se tratando de prédios públicos, a manutenção da integridade torna-se mais importante, devido ao grande fluxo de pessoas atendidas diariamente. Infelizmente, não existe a cultura de manutenção preditiva em obras públicas no Brasil, o que resulta em grandes prejuízos, sociais e financeiros, para toda a população.

Neste trabalho, buscou-se o desenvolvimento de metodologias confiáveis de manutenção preditiva para o sistema de fachadas presentes no Hospital Universitário

de Sergipe – UFS/EBSERH. Atenção especial foi dedicada ao estudo e a aplicação da técnica termográfica na inspeção de manifestações patológicas em fachadas revestidas com pastilhas cerâmicas, salientando que esse tipo de revestimento chega a alcançar aproximadamente 5% do valor da construção.

A saber, a fachada é o sistema de vedação externo que protege a edificação contra os agentes agressivos [3], além de ser parte importante de sua estética. O revestimento cerâmico é muito utilizado em fachadas de edificações devido às suas propriedades, como isolamento térmico e impermeabilidade. Porém, como todos os componentes, estes revestimentos também estão sujeitos a falhas [4].

Um exemplo recente (março de 2019) [5], aconteceu na cidade do Rio de Janeiro (Figura 1), onde seis placas de mármore despencaram e atingiram uma estudante de Engenharia Civil, resultando em traumatismo craniano. O caso levantou a importância da manutenção de fachadas em condomínios e edificações, assim como da sua importância para a segurança de pedestres e transeuntes. Um estudo feito na mesma época, apontou que cerca de 52% dos prédios vistoriados no Rio de Janeiro apresentavam irregularidade na manutenção das fachadas.

(a) (b)

Figura 1: Destroços das placas de mármore com portão danificado (a) e fachada com sinais de corrosão (b) [5].

Deste modo, esta pesquisa se mostra relevante, buscando o desenvolvimento de ferramentas versáteis, que possibilitem a rápida inspeção e análise de integridade de sistemas construtivos. Apesar de estar focada na análise de manifestações patológicas nas fachadas do Hospital Universitário de Sergipe, as metodologias aqui desenvolvidas podem ser adaptadas para outros tipos de revestimentos e edificações.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho buscou o desenvolvimento de metodologias confiáveis de inspeção e monitoramento de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico através do uso da termografia infravermelha.

Atenção especial foi dada para o controle de integridade dos prédios do Hospital Universitário de Sergipe - UFS/EBSERH. Para tal, foram realizados ensaios em laboratório e *in loco*, buscando identificar a relação entre os parâmetros de controle da técnica, as condições externas e a capacidade de detecção de manifestações patológicas do tipo descolamento de pastilhas cerâmicas.

2.2 Objetivos específicos

1) Relacionar os conceitos de patologia das edificações com os fundamentos de análise e tecnologia de materiais;
2) Compreender a influência de fatores pré-determinados no comportamento da temperatura diferencial superficial entre áreas danificadas e íntegras;
3) Determinar as limitações da aplicação da técnica termográfica em campo, assim como os cuidados necessários para a obtenção de resultados confiáveis;
4) Desenvolver um plano de manutenção da integridade de edificações do HU, com base no uso de ferramentas modernas de inspeção e análise de materiais;
5) Desenvolver pesquisa cientifica e aplicável ao campo, com foco para a solução de problemas REAIS no Estado de Sergipe.

2.3 Contribuições para o desenvolvimento regional

Em concordância com o Relatório CAPES de Avaliação quadrienal do P2CEM (2013 – 2016), este trabalho visou o desenvolvimento de pesquisas com foco na identificação e solução de problemas regionais, buscando a maior inserção da Universidade Federal de Sergipe nos setores produtivos e sociais do Estado. Apesar de estar focado no Hospital Universitário de Sergipe, as metodologias desenvolvidas, encontram aplicabilidade em diversos setores, tanto no âmbito regional, quanto nacional, ampliando a abrangência e a importância da área. Finalizando, este trabalho foi desenvolvido no LAIES – Laboratório de Análise de Integridade Estrutural da Universidade Federal de Sergipe, o qual tem se dedicado à avançar no desenvolvimento de metodologias de análise pericial, a partir da difusão de conhecimentos nas áreas de Ensaios Não Destrutivos, Tecnologia de Materiais e Análise de Integridade, com foco para a melhoria dos sistemas e serviços em operação em Sergipe.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Desempenho de edificações

A ABNT NBR 15.575 – Desempenho de Edificações Habitacionais [3], conhecida como “norma de desempenho”, entrou em vigor no Brasil em junho de 2013. Introduziu-se, então, o conceito de desempenho para avaliação das habitações apesar deste já ser utilizado na Europa desde a década de 1960. Com isso surgiu a necessidade de se avaliar o comportamento das edificações em condições de utilização através de ensaios e rotinas pré-estabelecidas. Com base nos resultados foi possível gerar melhoria nos projetos elevando assim a segurança e a confiabilidade das edificações [6].

Para que uma edificação alcance a vida útil prevista em projeto, conforme indicado na NBR 15.575, é fundamental que durante sua utilização sejam feitas as manutenções necessárias. Quando da detecção de alguma manifestação patológica, é preciso que esta seja avaliada corretamente para conhecer sua origem, a fim de se escolher a melhor forma de correção. Quanto mais cedo se detectar o problema, menor será o custo para a recuperação. Neste contexto a utilização de ensaios não destrutivos pode auxiliar no diagnóstico correto, de forma mais barata, rápida e confiável, possibilitando o alcance da vida útil especificada para a edificação [7].

Apesar de a norma supracitada ser direcionada às edificações residenciais, os limites e critérios nela estabelecidos podem servir de base para avaliação do desempenho de outros tipos de edificações, como comerciais, públicas, hospitalares etc.

3.2 Manifestações patológicas

Patologia é o ramo da engenharia que estuda o conjunto de fatores (sintomas, mecanismos, origens e causas) que promovem o surgimento de anomalias no funcionamento de materiais ou sistemas da construção civil, denominadas manifestações patológicas. Por vezes, as manifestações patológicas apresentam características típicas na superfície do material ou do sistema construtivo o que permite, através da inspeção visual, a identificação da origem da falha, sua localização e extensão. Em algumas situações a simples inspeção visual não é suficiente para a determinação das causas das falhas, demandando o uso de ensaios auxiliares [8].

As manifestações patológicas podem trazer desconforto e diminuição da durabilidade da edificação. As fissuras e a umidade são as mais comumente encontradas, sendo que a umidade ainda gera outros tipos de problemas. Erros de

projetos, execução e utilização inadequada de materiais estão entre suas principais causas no Brasil [9, 10]

As fissuras são uma importante manifestação patológica pois podem indicar o colapso da estrutura ou causar a diminuição do desempenho em serviço da edificação, além de impor um desconforto psicológico aos usuários [11]. As fissuras decorrem da variação volumétrica dos materiais causada pela variação da temperatura e/ou umidade, uma vez que estejam presentes vínculos que restrinjam essa movimentação [12]. A variação volumétrica também ocorre devido a reações químicas que causam retração (como a reação de hidratação do cimento) ou expansão (como a oxidação de barras de aço) [11].

A umidade nas edificações geralmente é percebida através de manchas, bolhas e até mesmo o desprendimento de parte do revestimento. O surgimento de mofo, bolor, eflorescência, entre outros, também são sintomas da ocorrência de infiltração em uma edificação. Essas manifestações podem trazer danos à saúde do usuário, além de prejudicar a estética do ambiente [13]. A umidade presente em uma edificação pode ter várias origens, como a água excedente das reações químicas que ficam nos poros dos materiais, a umidade ascendente do solo, a chuva combinada com a direção do vento, vazamentos nas instalações hidráulicas, entre outras [14].

O sistema de fachadas tem sua durabilidade afetada pelos fenômenos climáticos. A deposição de material particulado, chuva, vento e insolação afetam sua vida útil e causam manifestações patológicas diversas como: fissuras, infiltrações, manchamentos, descolamentos e desplacamentos de revestimento [15]. Os problemas mais encontrados em fachadas são as fissuras e o descolamento do revestimento (Figura 2), sendo desejável um programa de manutenção para garantir sua funcionalidade durante toda a vida útil do empreendimento [3, 12, 16, 17]. O gretamento e a presença de fungos ou algas no rejuntamento também são manifestações patológicas de destaque, porém apresentam apenas comprometimento estético, sem causar riscos aos usuários [18].

O descolamento do revestimento cerâmico, objeto de estudo desta pesquisa, pode ocorrer devido à falta de junta de movimentação nas fachadas, não suportando os movimentos advindos da edificação e dos fatores climáticos, erro no procedimento do assentamento da cerâmica, prejudicando a fixação destas à base, e a utilização de materiais inadequados, entre outros [18].

(a) (b)

Figura 2: Exemplos de manifestações patológicas recorrentes: fissuras (a) e descolamento de revestimento cerâmico (b).

3.3 Sistema de fachadas

A fachada de uma edificação faz parte do seu sistema de vedações verticais internas e externas (SVVIE). Esta interage com outros sistemas e materiais, influenciando e sendo influenciada pelo desempenho da edificação [3], além de proporcionar condições favoráveis de salubridade e habitabilidade [19]. É formada por camadas sobrepostas onde cada uma sofre ação das camadas adjacentes, pois são compostas por diferentes materiais, com propriedades e funções específicas [20].

Os dois tipos de acabamento externo de fachadas mais comumente utilizados são a pintura e as placas cerâmicas, sendo que os revestimentos cerâmicos devem atender às especificações da ABNT NBR 13.755. Para acabamento em pintura, as camadas a serem aplicadas na base, em sequência, são: o chapisco, o emboço, o reboco, a massa corrida e a tinta. Para revestimento cerâmico (Figura 3), no lugar do reboco é aplicada a argamassa colante e logo depois assentadas as placas cerâmicas. Nesse último caso ainda existe a aplicação do rejunte que é utilizado para vedar os vãos entre essas placas [4]. Abaixo estão detalhadas as camadas utilizadas em fachadas com revestimento cerâmico [20, 21]:

- Base: Parede executada em blocos ou placas de concreto, com função de vedação e recebimento do revestimento;
- Chapisco: Camada de argamassa composta por cimento, areia e água, com função de melhorar a aderência do revestimento à base. Deve atender às especificações da ABNT NBR 7.200 e ABNT NBR 13.281;
- Emboço: Camada de argamassa composta por cimento, areia e água, com ou sem aditivos, com função de regularizar e cobrir a superfície. Deve atender às especificações da ABNT NBR 7.200 e ABNT NBR 13.281;

- Argamassa colante: Massa viscosa, plástica e aderente, com função de aderir as placas cerâmicas à camada de emboço. Deve atender às especificações da ABNT NBR 14.081-1;
- Acabamento decorativo: Placas cerâmicas, com função decorativa, de isolamento, de impermeabilidade e limpabilidade. Deve atender às especificações da ABNT NBR 13.818;
- Argamassa de rejuntamento: argamassa a base de cimento ou resina epóxi, com função de vedação das juntas entre as placas cerâmicas. Deve atender às especificações da ABNT NBR 14.992.

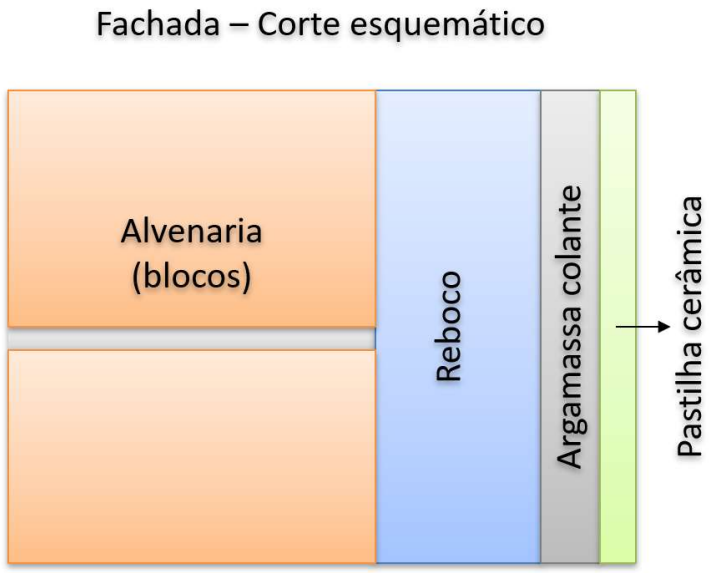


Figura 3: Distribuição de camadas constituintes de um sistema de revestimento cerâmico de fachadas.

Para que o revestimento de fachada cumpra com as funções que lhe foram atribuídas, é necessário que este apresente as seguintes propriedades: aderência, capacidade de absorver deformações e permeabilidade à água e ao vapor d'água [19].

3.4 Ensaios não destrutivos

Ensaios não destrutivos (ENDs) são técnicas de inspeção não invasivas, que permitem a análise de estruturas e materiais sem causar dano à região estudada. Assim, permitem o monitoramento contínuo através da coleta de dados no mesmo local ou regiões vizinhas, durante um determinado período. Raramente medem de maneira direta a propriedade que se está buscando, sendo esta obtida através de correlações com outra grandeza observada no momento da execução do ensaio, através de fenômenos físicos que interagem com o material sem modificar sua função e características [22].

O procedimento básico para a execução de um ensaio não destrutivo inicia-se na escolha de um meio de inspeção (equipamento utilizado para leitura do sinal) e é seguida pela modificação do meio a ser avaliado (através de fonte natural ou artificial, que não altere as propriedades do material). Utilizando um detector sensível, são obtidos sinais que serão comparados aos sinais padrão do material, sendo o observador responsável por interpretar e analisar quaisquer modificações apresentadas com o intuito de identificar regiões com anomalias [2].

Segundo CASTRO [23], os ENDs podem ser divididos em três grupos, conforme sua aplicação: (1) estimar propriedades mecânicas nas obras, (2) localizar anomalias não visíveis e (3) verificar comportamento de elementos estruturais individualmente e do sistema como um todo. Essas técnicas, quando utilizadas durante a execução da obra, podem evitar gastos com intervenções futuras pós obra, além de evitar o desgaste de mobilização do espaço prejudicando o usuário [24].

Grandes construtoras têm utilizado os ENDs (Tabela 1) com intuito de fabricar produtos isentos de defeitos, com aumento da qualidade e produtividade, dando mais eficiência aos materiais e reduzindo custos [23]. Além do processo de fabricação, estas técnicas vêm sendo utilizadas também para reduzir riscos e manter a integridade de peças, estruturas e equipamentos, visando manter ou reestabelecer as condições de segurança e durabilidade [23, 25]. As principais vantagens na aplicação dos ensaios não destrutivos em um programa de manutenção são a redução de custos e de tempo, pois a identificação da região danificada é feita com assertividade e precisão, causando menor incomodo e desgaste na tratativa dos problemas [24, 25].

Existem diversas técnicas de ensaios não destrutivos baseadas em diferentes princípios físicos. Deve-se analisar qual o tipo mais adequado para auxiliar na inspeção, para que os resultados obtidos retratem de forma confiável a real situação do material ou sistema.

Tabela 1: Técnicas de ensaios não destrutivos utilizadas na construção civil [23].

TECNICAS DE END	Vigas	Pilares	Lajes	Pisos	Tubulações	Solos
Inspeção Visual	M e C	M e C	M e C	M e C	M e C	N/A
Liquido Penetrante	M	M	M	M	M	N/A
Ultrassom	M e C	M e C	M e C	M e C	M e C	N/A
Partícula Magnética	M	M	M	M	M	N/A
Correntes Parasitas	M e C	M e C	M e C	M e C	M e C	N/A
Pacometria (Magnético)	C	C	C	C	C	N/A
Esclerometria	C	C	C	C	N/A	N/A
Radiográficos	M e C	M e C	M e C	M e C	M e C	N/A
Emissão Acústica	M e C	M e C	M e C	M e C	M e C	N/A
Freqüência de Ressonância	M e C	M e C	M e C	M e C	N/A	N/A
Termografia Infra-Vermelho	M e C	M e C	M e C	M e C	M e C	OK
Permeabilidade	C	C	C	C	C	OK
Estanqueidade	M e C	M e C	M e C	M e C	M e C	OK
Revestimento Protetor	M	M	M	M	M	N/A
Uniformidade revestimento por Holliday Detector	M e C	M e C	M e C	M e C	M e C	N/A
Prova de Carga Estática	M e C	M e C	M e C	M e C	M e C	OK
Réplica Metalográfica	M	M	M	M	M	N/A
Prova de Carga Dinâmica						
PDA (Pile Driving Analyzer)	M e C	M e C	M e C	M e C	N/A	N/A
Arrancamento com Carga Controlada - Chumbadores e Tirantes	M e C	M e C	M e C	M e C	M e C	OK
Ensaios Integridade Estacas PIT (Pile Integrity Test)	N/A	C	N/A	N/A	N/A	M e C

M – Aplicável em Estruturas Metálicas; C – Aplicável em Estruturas de Concreto; N/A – Não Aplicável; OK – Aplicável

Os ensaios não destrutivos podem ser utilizados para auxiliar as ações do plano de manutenção de uma edificação ou de um sistema. Para melhor compreensão, a ABNT NBR 5.462 – Confiabilidade e Mantenabilidade [26] – detalha os três principais tipos de manutenção que devem ser conhecidos para elaborar a estratégia mais adequada para atender às necessidades de correção.

Manutenção corretiva: Tem como finalidade corrigir o que foi danificado e que gerou a pane no sistema. O custo e o tempo utilizados neste tipo de manutenção são altos, além de causar lucro cessante (prejuízo causado pela parada de atividades).

Manutenção preventiva: Tem como finalidade manter o sistema funcionando de forma satisfatória, sendo feita através de ações que evitem a pane ou a parada não planejada das atividades. O custo e o tempo utilizados neste tipo de manutenção são medianos, mais baixos do que na manutenção corretiva, porém mais altos do que na manutenção preditiva.

Manutenção preditiva: Tem como finalidade predizer falhas em estágios iniciais em um sistema, possibilitando o planejamento de ações para eliminá-la. O custo e o tempo utilizados neste tipo de manutenção são os menores em comparação aos outros dois citados acima.

Na Figura 4a, percebe-se que as intervenções (inspeções, perícias e manutenções) visam a manter a edificação dentro de níveis aceitáveis de desempenho. Adicionalmente (Figura 4b), os guias de qualidade indicam que os custos com manutenção corretiva são, em geral, muito superiores aos custos com intervenções realizadas após o diagnóstico precoce de patologias (manutenção preventiva). Estes envolvem: a mobilização emergencial de equipes, o tempo de não funcionamento do equipamento e o reparo de elementos e regiões adjacentes ao componente falhado

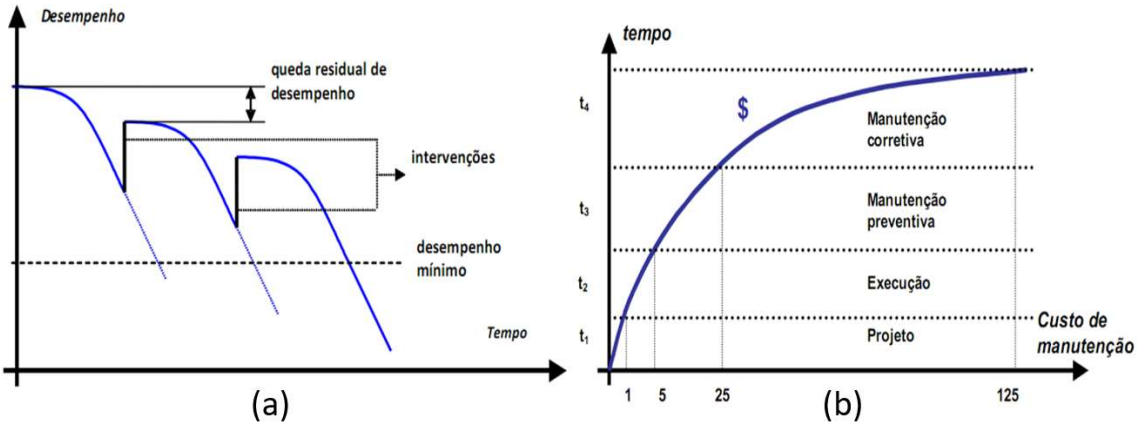


Figura 4: Expressão gráfica da influência da manutenção na garantia do desempenho de edificações (a) e da relação entre os custos associados e os tipos de intervenções (b) [27].

3.5 Termografia infravermelha

A termografia é um tipo de ensaio não destrutivo que possibilita a análise remota de um componente, isto é, sem o contato direto com a superfície estudada. O princípio de funcionamento da técnica consiste na detecção da radiação infravermelha emitida por uma determinada superfície (invisível a olho nu) e a transformação desses dados em imagens térmicas (termogramas) [28]. Inicialmente estas são geradas em tons de cinza, posteriormente, com auxílio de software específico, as imagens são convertidas para padrões de cores.

As técnicas termográficas geralmente consistem em:

- APLICAÇÃO de tensões térmicas no objeto;
- MEDIÇÃO da radiação emitida pela superfície;
- APRESENTAÇÃO da mesma, na forma de termogramas.

Em termos práticos, a termografia pode ser classificada em duas categorias: passiva e ativa (Figura 5). Na termografia passiva a energia captada pela câmera provém do próprio objeto, sem qualquer estímulo térmico externo, sendo que o próprio objeto

funciona como fonte de calor. Geralmente é utilizada para testes qualitativos, com o objetivo de identificar a localização de anomalias térmicas [29].

Já na termografia ativa, uma fonte de calor externa é necessária para induzir uma diferença de temperatura significante entre regiões com e sem defeito. A escolha do tipo de termografia a ser utilizado em uma inspeção deve levar em conta a natureza do objeto a ser inspecionado, a acessibilidade ao local da inspeção e as características do defeito que se pretende detectar (como tamanho, profundidade, formato, etc.) [30].

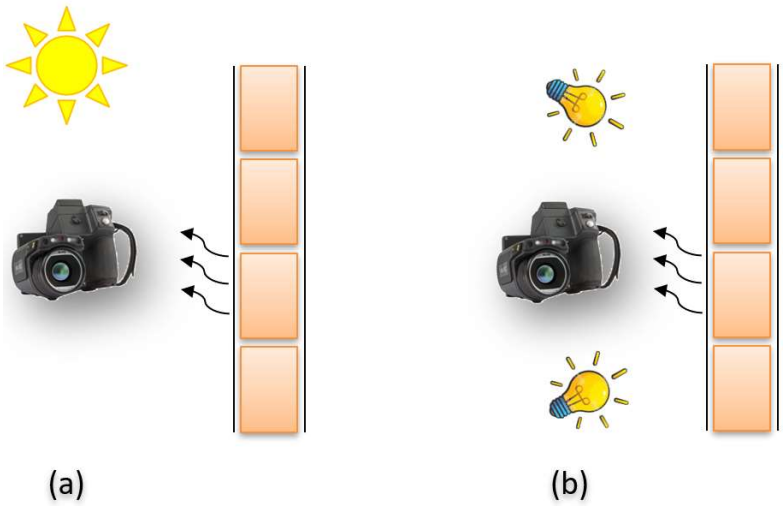


Figura 5: Diferentes técnicas termográficas: passiva (a) e ativa (b).

Uma vez que a termografia tem como princípio de funcionamento a captação da radiação infravermelha emitida por um material, mostra-se útil revisar alguns conceitos sobre calor, transferência de calor e temperatura. Conhecer o funcionamento de uma câmera termográfica também auxilia na melhor compreensão desta técnica.

3.5.1 Calor e temperatura

Pela definição, calor é o movimento da energia entre diferentes regiões de um material (ou entre corpos distintos) que apresentam diferentes valores de temperatura. Esta energia provém da agitação das moléculas constituintes do material e o seu movimento acontece da região mais quente (com maior agitação) para a região mais fria (com menor agitação). Quando o equilíbrio térmico é atingido, a transferência de energia cessa [31, 32].

A temperatura é uma grandeza que representa o estado de equilíbrio térmico entre os corpos e está relacionada com a energia cinética média de suas partículas, em uma determinada região [31, 33].

3.5.2 Transferência de calor

Para existir transferência de calor é necessário existir uma diferença de temperatura entre meios. O fluxo de calor ocorrerá sempre da região com maior temperatura para a região com menor temperatura. Esse fenômeno pode acontecer através de três mecanismos distintos, a saber (Figura 6): condução, convecção e radiação [34].

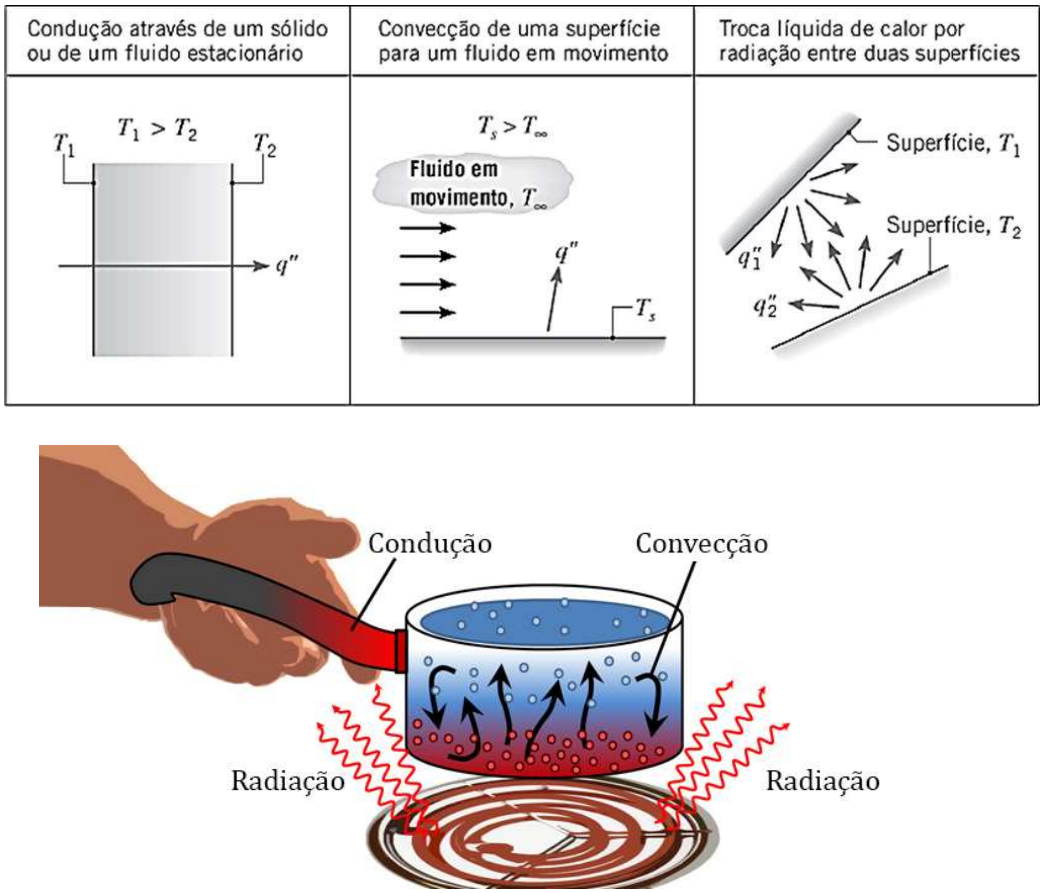


Figura 6: Modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação [32].

3.5.2.1 Condução

A transferência de calor por condução acontece em escalas atômica e molecular. A energia é transferida das partículas mais energéticas (associadas às temperaturas mais altas) para as menos energéticas (associadas às temperaturas mais baixas) através de colisões entre moléculas do material. A condução acontece entre materiais sólidos, entre materiais sólidos e fluidos estacionários e em gases, desde que este não apresente movimento global [32, 33].

3.5.2.2 Convecção

A transferência de calor por convecção acontece entre a superfície de um material sólido e um fluido em movimento, na presença de um gradiente de temperatura

[33]. Dois mecanismos estão presentes nesta interação: a difusão, que é a transferência de energia através do movimento aleatório molecular, e a advecção, que é a transferência de energia através do movimento global do fluido. Isto é, em um determinado momento um grande número de moléculas se movimenta próximo à superfície do material, facilitando assim a transferência de calor entre as moléculas de sua superfície e as moléculas do fluido [32].

3.5.2.3 Radiação

A radiação térmica é a energia emitida por uma matéria que se encontra a uma temperatura superior ao zero absoluto, e pode ser atribuída às mudanças das configurações eletrônicas de seus átomos ou moléculas. A radiação é emitida não somente por corpos sólidos, mas também por líquidos e gases [32]. A transferência de energia por radiação se dá através de ondas eletromagnéticas, e diferentemente da condução e da convecção, a radiação não necessita de um meio para transferir o calor, sendo mais eficiente sua propagação no vácuo [35].

A taxa de liberação de energia por unidade de área de uma superfície (medida em W/m^2) é chamada de poder emissivo (E) e a lei de Stefan-Boltzmann determina o seu valor máximo [32], conforme a Equação 1:

$$E = \sigma T^4 \qquad \text{Equação 1}$$

Onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann (σ = 5,67x10^{-8} $W/(m^2.K^4)$) e T é a temperatura absoluta da superfície (K).

O corpo que possui o poder emissivo máximo é chamado de radiador ideal ou corpo negro, ou seja, toda a energia que incide sobre ele é absorvida, não ocorrendo qualquer transmissão ou reflexão [32]. Um corpo real possui um fluxo térmico menor do que o emitido por um corpo negro, sendo seu poder emissivo representado pela Equação 2:

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \qquad \text{Equação 2}$$

Onde ε representa a eficiência na qual uma superfície emite energia em relação ao corpo negro, denominada emissividade. O material da superfície e o tipo de acabamento influenciam de forma direta no valor da emissividade, que pode variar entre 0 e 1 [32, 34].

Segundo a lei de Kirchoff, quando um material se encontra em equilíbrio, a quantidade de energia absorvida é igual a quantidade de energia irradiada. Sendo a quantidade total de energia incidente em um corpo a soma da energia transmitida, refletida e absorvida por ele [2].

3.5.3 Câmera infravermelha

A Figura 7 representa alguns valores de comprimento de onda do Espectro Eletromagnético. A radiação infravermelha possui ondas com comprimento (λ) entre 730 nm e 1 mm aproximadamente, não sendo visível ao olho humano [36].

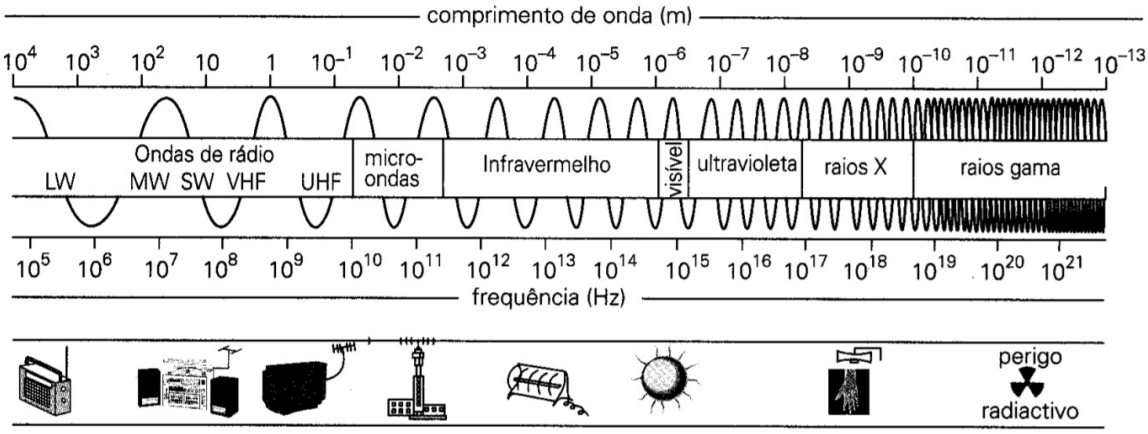


Figura 7: Espectro eletromagnético, com indicação de comprimentos de onda e exemplos de utilização [36].

O termógrafo, ou câmera termográfica, é o principal equipamento a ser utilizado em uma inspeção termográfica. Através dele a radiação infravermelha é captada e transformada em imagens térmicas visíveis, ou termogramas, apresentando o mapa de temperatura de uma dada superfície [31]. A Figura 8 apresenta um esquema simplificado do funcionamento e das partes de um termógrafo genérico.

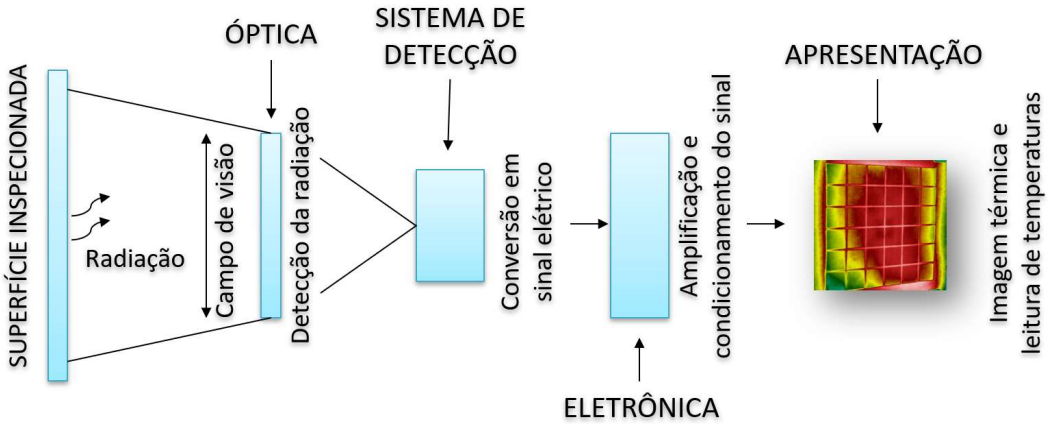


Figura 8: Esquema simplificado de uma câmera termográfica genérica, com suas partes e funções. Adaptado de SANTOS [31].

Os termogramas são imagens que representam a distribuição da temperatura superficial de um material, utilizando escala de cores, sendo que cada tonalidade indica um valor de temperatura. A Figura 9a mostra um exemplo de termograma extraído da fachada de uma edificação e sua escala de temperatura representada por cores. A Figura 9b mostra a fotografia da mesma região.

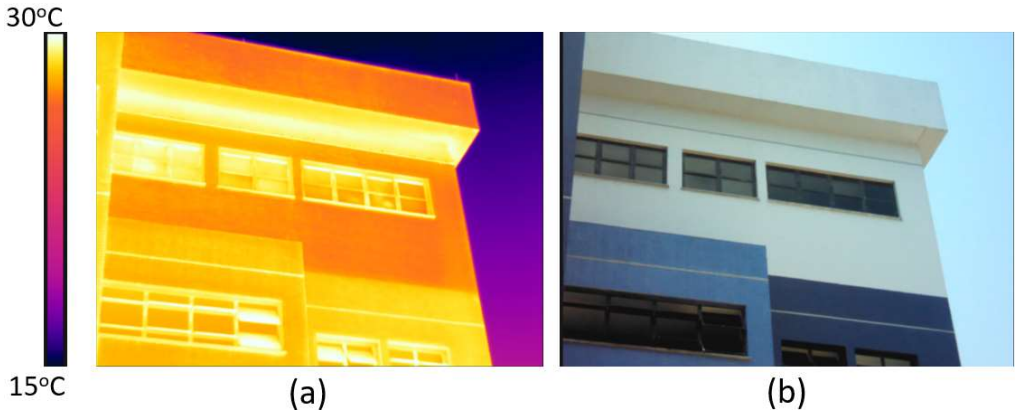


Figura 9: Termograma (a) e fotografia (b) de parte da fachada de uma edificação.

A escolha adequada de um termógrafo para avaliar as fachadas de um edifício precisa levar em consideração as características do equipamento, do local onde este será utilizado e do tipo de defeito que se deseja detectar.

O tamanho mínimo do detalhe que se pode perceber através da imagem gerada pela câmera termográfica é função de sua resolução espacial. Dois importantes parâmetros são necessários para determinar suas dimensões mínimas, a saber: IFOV e FOV (Figura 10).

O campo de visão instantânea, ou IFOV – *"Instantaneous Field of View"*, representa a projeção da área de um pixel na superfície analisada. A projeção englobando a área de todos os pixels, isto é, a somatória dos IFOV's, é denominada campo de visão, ou FOV – *"Field of View"*, e representa a área total da superfície que é captada pelo equipamento [2]. Estes dois parâmetros são geralmente fornecidos pelos fabricantes e suas unidades são mrad para o IFOV e graus para o FOV [37].

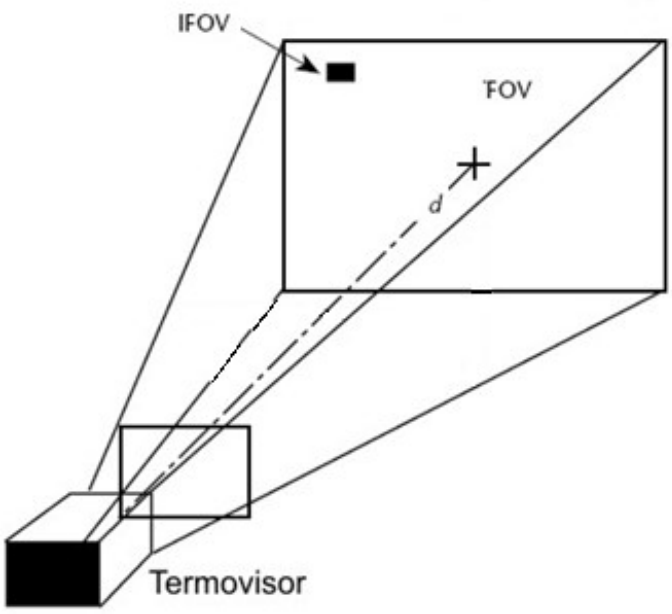


Figura 10: Representação gráfica dos parâmetros FOV e IFOV de uma câmera termográfica, onde d = distância do equipamento à superfície. Adaptado de SANTOS [31].

A temperatura em um ponto do termograma é dada pela média da temperatura contida na região de um pixel. Sendo assim, quando se deseja obter a temperatura de um determinado objeto ou região, o ideal é que sua área não seja menor do que a projeção do pixel (IFOV). Se assim o for, a temperatura média não representará apenas a temperatura do objeto ou da região de interesse, mas considerará também a temperatura de sua vizinhança, não retratando fielmente suas condições [37].

Sendo assim, no caso de inspeção em fachadas, a distância entre a câmera e a superfície avaliada, juntamente com os parâmetros de resolução espacial deste equipamento, definirão qual será o tamanho mínimo de defeito que se poderá detectar.

3.6 Termografia em fachadas

A termografia tem sido amplamente utilizada em diferentes áreas, como: metalurgia, detecção de defeitos em diversos materiais, equipamentos militares, inspeções em instalações elétricas, controle de processos industriais, detecção de fissuras no concreto, conservação de prédios históricos, entre muitos outros [28, 29]. Especificamente na avaliação do sistema de fachadas em edifícios, a termografia tem sido aplicada para a detecção de manifestações patológicas como fissuras, umidade e descolamento de revestimento (cerâmico e argamassado) [10].

A termografia produz padrões de contraste térmico, porém, é preciso testar a relação desses padrões com as manifestações patológicas investigadas e os parâmetros de controle, assim, pode-se garantir a confiabilidade da técnica.

Para conhecer o comportamento térmico do defeito de descolamento, FREITAS *et al* [28] procederam com duas análises, em laboratório e em campo. Para o ensaio em laboratório foram montados três corpos de prova com base de concreto e revestimento com argamassa cimentícia. Na região central foi fixado um pedaço de plástico bolha sob o revestimento a fim de simular o seu destacamento (Figura 11). A fonte de calor utilizada foi uma lâmpada infravermelha de 500 W de potência, posicionada a 65 cm de distância do corpo de prova, aquecendo a superfície analisada.

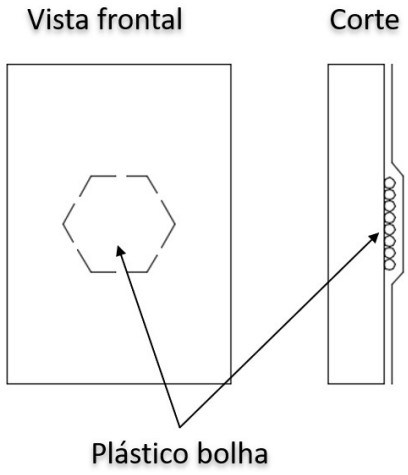


Figura 11: Esquema de montagem do corpo de prova. Adaptado de FREITAS *et al* [28].

Além do teste em laboratório, os autores utilizaram simulação numérica utilizando o software WUFI, e foi demonstrado o comportamento térmico superficial de regiões com e sem o descolamento, indicando a diferença de temperatura existente entre elas. No ciclo de aquecimento, a região com descolamento apresentou valores de temperatura superiores aos valores de temperatura da região íntegra, e no ciclo de resfriamento o comportamento foi inverso. Vale ainda ressaltar que o ΔT no ciclo de aquecimento foi cerca de seis vezes maior do que no ciclo de resfriamento, sendo mais visível a existência da manifestação patológica do tipo descolamento durante o aquecimento.

Em sequência, foi feita a avaliação em campo de uma área de fachada revestida com argamassa cimentícia, onde observou-se região com descolamento e comportamento semelhante ao obtido em laboratório.

BAUER *et al* [38], identificaram as limitações da termografia em campo, estudando o comportamento de protótipos em laboratório. Para tanto, foi construído um

corpo de prova com placas cerâmicas com três espessuras e com ausência de argamassa colante na região central, simulando o descolamento (Figura 12).

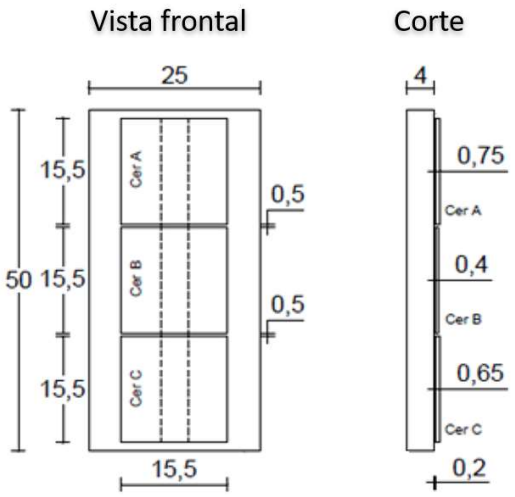


Figura 12: Corpo de prova com simulação de descolamento central das placas cerâmicas. Adaptado de BAUER *et al* [38].

Foram utilizadas lâmpadas infravermelhas de 750W como fonte de calor, posicionadas lateralmente (aproximadamente 30º com o plano perpendicular à superfície da placa) e posterior à placa, e o aquecimento foi feito de formas direta e indireta. A câmera termográfica ficou posicionada a 1,7m de distância do corpo de prova e perpendicular a ele, para evitar a influência de reflexões nos termogramas.

Os resultados deste estudo mostraram que o sentido do fluxo de calor (de fora para dentro da fachada, ou vice-versa), as dimensões do defeito e a espessura da placa cerâmica alteraram o comportamento térmico da falha. Os autores evidenciaram a necessidade de estudos em laboratório, para melhor compreensão sobre o comportamento das falhas antes de proceder uma avaliação em campo.

MORESCO *et al* [10] desenvolveram metodologias para identificar manifestações patológicas em fachadas revestidas com argamassa cimentícia utilizando a termografia infravermelha. A fachada estudada apresentava três tipos de manifestações patológicas: fissuras, biodeterioração e manchas. Os termogramas foram obtidos nos três períodos do dia (manhã, tarde e noite) para cada tipo de manifestação patológica. A câmera termográfica foi posicionada a 1 m de distância e perpendicular à superfície estudada.

Os autores evidenciaram a necessidade de se acompanhar as variações climáticas durante o estudo, pois estas podem influenciar na acurácia dos resultados. Concluiu-se que o melhor período para obtenção dos termogramas é o da manhã, por

causa do início da incidência solar. Assim, possibilitou a ocorrência da diferença de temperatura entre as regiões com e sem a manifestação patológica, facilitando sua identificação. Ficou claro também que as anomalias que ainda não alcançaram a superfície da fachada podem ser identificadas através da termografia. Citaram ainda a necessidade de se considerar a distância entre o equipamento e o alvo, pois detalhes das manifestações patológicas podem ser perdidos devido à perda de resolução nos termogramas.

Com os conhecimentos obtido, entendeu-se que a termografia infravermelha pode ser utilizada para detectar manifestações patológicas em fachadas de edifícios do tipo descolamento. Contudo, para garantir a confiabilidade da técnica, é necessário avaliar os fatores que podem influenciar nas leituras de campo.

BAUER e PAVÓN [39] evidenciaram a dificuldade de aplicação da termografia infravermelha na detecção de manifestações patológicas em fachadas. Na transição do ciclo de aquecimento para o ciclo de resfriamento (e vice-versa) existe um momento em que os defeitos não apresentam diferença de temperatura em relação às regiões íntegras, podendo passar despercebidos. A reflexão também foi apontada como uma preocupação, pois pode induzir à falsos resultados, principalmente quando a superfície em análise está sob forte incidência solar. Ademais, existem os parâmetros que devem ser fornecidos à câmera termográfica (emissividade, temperatura refletida, umidade relativa do ar e distância do alvo à câmera) que, quando incorretos, podem gerar diferenças significativas em relação aos valores reais de temperatura. O ângulo de visão e a geometria da superfície analisada também podem gerar falsos valores de temperatura superficial nos termogramas. Os autores destacam a necessidade de profissionais com uma forte base teórica para a aplicação da técnica e posterior análise dos dados de maneira confiável, devido a quantidade de variáveis envolvidas.

FOX *et al* [40] destacaram a necessidade de cuidados com as interferências que podem ocorrer no momento da captura da imagem térmica. O trabalho sugeriu o acompanhamento por um período prolongado, obtendo-se várias imagens térmicas da mesma região. Dessa forma, reduz-se as interferências que afetam os resultados das imagens, tais como, a temperatura aparente refletida ou fatores climáticos. Com esse método foram identificadas áreas com reboco oco, provavelmente provocado por umidade, foi identificada a localização de estrutura sob reboco e região com vazamento de ar, do interior para o exterior da edificação.

O fenômeno da reflexão pode levar a identificação equivocada de defeitos e, por esse motivo, é uma das preocupações no processo de avaliação de fachadas. LI *et al*

[41] propuseram uma metodologia para eliminar esta influência no processo de inspeção de revestimentos cerâmicos. Os autores analisaram o comportamento térmico de três pontos distintos, sendo um na região com descolamento confirmado, outro na região íntegra e o terceiro sobre a região duvidosa. Foram extraídos termogramas sequenciais em um dia nublado (com e sem a incidência solar direta), mantendo o mesmo posicionamento da câmera em relação à superfície de interesse. Com isso, perceberam que o ponto sobre a região duvidosa apresentava variação de temperatura dependendo da incidência direta ou não dos raios solares, enquanto os outros dois pontos mantiveram suas temperaturas constantes nas duas situações. Sendo assim, identificaram a ocorrência de reflexão no terceiro ponto, e foi eliminada a possibilidade de descolamento das placas cerâmicas naquela região.

BAUER *et al* [42] analisaram a influência de erros nos parâmetros termográficos na leitura da temperatura superficial de revestimento cerâmico e argamassado, utilizando a termografia infravermelha. Foram variadas a emissividade, a temperatura aparente refletida e a distância entre o alvo e a câmera termográfica. Neste trabalho foi identificada a maior influência da emissividade nos valores das temperaturas (erro de até +6ºC), quando comparada com as alterações devido ao erro nos valores de temperatura refletida e distância (erro entre -1ºC e +1ºC). Porém, mesmo com a pouca alteração na temperatura, a influência destes dois últimos fatores pode se somar a outros erros, produzindo resultados que levam às falsas detecções de manifestações patológicas.

No estudo sobre detecção de anomalias em paredes com revestimentos cerâmicos, LOURENÇO *et al* [43] executaram duas paredes variando as cores do revestimento cerâmico (preto e branco) e o tipo de base (com e sem isolamento térmico). Foram avaliados os defeitos de descolamento de placas cerâmicas e a presença de umidade. Para o defeito de descolamento, os autores perceberam que quanto maior a absorbância do revestimento, maior foi a variação de temperatura entre a área íntegra e a área com descolamento (ΔT). Quanto a distância entre a superfície de estudo e a câmera termográfica, os autores recomendam que seja a menor possível para que a temperatura dos arredores não influencie no termograma, uma vez que a grande faixa de temperatura na imagem dificulta a detecção de pequenas variações.

No estudo sobre detecção de umidade através da termografia, BARREIRA *et al* [44] avaliaram a influência da emissividade, da reflectância, da distância e do ângulo de visão nas leituras de temperatura superficial de diferentes materiais de construção. Foram utilizados termógrafo, termômetro infravermelho e termopar para as leituras,

sendo os valores obtidos pelo termopar tomados como referência. Concluiu-se que, para materiais com alta emissividade e baixa reflectância, os equipamentos infravermelhos apresentam resultados com alta precisão. Os autores ainda colocaram a necessidade de atenção para as leituras em ângulo e apresentaram o maior erro de leitura de temperatura superficial para os materiais com alta reflectância, como metais.

MILHOMEM *et al* [45] avaliaram em campo o comportamento da temperatura de fachadas de dois edifícios. Neste trabalho foi demonstrada a diminuição da temperatura com o aumento do ângulo de visão. Quanto à distância, foi encontrado um aumento da temperatura com o aumento da distância, o que contrariou os resultados encontrados por BARREIRA *et al* [44], porém os autores verificaram maior representatividade na variação da temperatura com a variação angular do que com a variação da distância.

LITWA [46] estudou a influência do ângulo de visão na leitura da temperatura superficial em laboratório, utilizando um radiador infravermelho, com ajustes angulares horizontal e vertical, e três modelos de câmeras termográficas. Além de variar o ângulo de visão e as distâncias entre o alvo e a câmera, foi variada também a intensidade do radiador infravermelho.

Os autores definiram como limite de precisão o valor de 2% para o erro relativo da temperatura superficial, obtendo a partir daí os valores dos ângulos críticos para cada modelo de câmera e para cada distância, conforme apresentado na Tabela 2. Após a análise dos dados, concluíram que o ângulo de visão não deve ultrapassar 50º para que os valores de temperatura superficial sejam os mais confiáveis possíveis.

Tabela 2: Valores críticos de ângulos de visão. Adaptado de LITWA [46].

Distância entre a Câmera e o Objeto	**Tipo de Câmera**		
	ThermaCAM E25	Ti20	TH7800
	Valor crítico de ângulo de visão		
l_1=0,55m	53º	58º	58º
l_2=1,50m	54º	57º	60º
l_3=3,60m	57º	57º	60º

3.7 Estudos da termografia infravermelha aplicada à construção civil no Brasil

No Brasil, estudos vêm sendo realizados utilizando a termografia como ensaio não destrutivo aplicado à construção civil. Na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFGRS) foram feitos estudos sobre a utilização da termografia para avaliação de alvenarias [47] e blocos em situação de incêndio [48]. O potencial da termografia na

detecção de descolamento de revestimento cerâmico e a presença de umidade em fachadas foi avaliado por TAKEDA e MAZER [49] na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Na Universidade de Brasília (UnB) as pesquisas foram voltadas para a utilização da termografia na avaliação da temperatura superficial de fachadas, na identificação e avaliação de suas manifestações patológicas, assim como as limitações da técnica [38, 39, 45, 50].

BAUER *et al* [38] estudaram os critérios para utilização da termografia como técnica auxiliar no diagnóstico de manifestações em fachadas. Nos ensaios realizados em laboratório perceberam que a menor espessura de placa cerâmica forneceu maiores valores de ΔT, e que este fator sozinho não caracteriza uma falha, sendo necessária a avaliação conjunta com a temperatura da fachada e os fluxos de calor existentes.

BAUER e PAVÓN [39] estudaram a utilização da termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios. Foram identificadas áreas com descolamento de pastilhas cerâmicas, fissuração, umidade e na detecção de elementos estruturais ocultos.

A existência de fissuras e suas profundidades também foram analisadas com a termografia infravermelha por BAUER e PAVÓN [50]. Os autores identificaram o comportamento térmico do defeito na região das fissuras, que apresentou maiores temperaturas no ciclo de aquecimento e menores no ciclo de resfriamento quando comparadas às regiões íntegras (ΔT). Em sua investigação os autores concluíram que a profundidade das fissuras estava relacionada com maiores valores de ΔT, e que após o reparo das superfícies, estes valores não apresentaram diferença significativa entre si, possibilitando avaliação da eficiência do reparo executado.

No estado de Sergipe os estudos sobre a utilização de ensaios não destrutivos na construção civil ainda estão incipientes. Alguns estudos estão sendo desenvolvidos pelo Laboratório de Análise e Integridade Estrutural da Universidade Federal de Sergipe (LAIES-UFS) e entre eles está a utilização da termografia para detecção de manifestações patológicas em fachadas [51]. Porém, existe a necessidade de aumentar os conhecimentos com o intuito de aperfeiçoar a produção acadêmica e a transferência de tecnologias no Estado.

3.8 Hospital Universitário de Sergipe - UFS/EBSERH

Com a criação da Faculdade de Medicina de Sergipe (1960), as atividades acadêmicas inicialmente foram desenvolvidas no Instituto Parreira Horta. A partir de 1962, tais atividades passaram a acontecer na Fundação de Beneficência Hospitalar de

Cirurgia, onde permaneceram até 1989, quando foram transferidas para as instalações do então Hospital Sanatório, construído na década de 1940 [52].

Segundo o Plano Diretor Estratégico do Hospital Universitário de Sergipe [53], inicialmente o Hospital Sanatório era composto por 4.255,41 m^2. Para receber o curso de medicina, a edificação precisou passar por adaptações, apresentando problemas por exemplo quanto à largura de corredores, instalações elétricas e hidráulicas muito antigas e danificadas. Em 1999 houve uma ampliação para 7.881,87 m^2, englobando o prédio de ambulatórios gerais e ambulatório de especialidades. Em 2006 foi construído o pavimento térreo do prédio do Anexo Hospitalar, que teve a conclusão de mais três pavimentos no ano de 2017, totalizando 2.682,00 m^2. No mesmo período foi concluída a obra do Centro de Imagens, com mais 515,59 m^2. Atualmente está em andamento a obra da Unidade Materno-Infantil, com 6.952,00 m^2, com previsão de término para meados de 2020.

Figura 13: Vista aérea do Hospital Universitário de Sergipe – UFS/EBSERH, com indicação das principais edificações do complexo. Fonte: Google Earth (acesso em 27/02/2020).

Nota-se que algumas das edificações que hoje fazem parte do complexo hospitalar são antigas, e apresentam deterioração devido ao tempo e utilização. Muitas ações de manutenção corretiva são aplicadas rotineiramente, abrangendo maior extensão, tempo e custo quando comparadas às ações preventivas ou preditivas.

O sistema de fachadas, por estar exposto às intempéries, sofre intensa deterioração como pode ser observado na Figura 14, sendo importante manter inspeções rotineiras com o intuito de manter sua funcionalidade. Cuidado ainda maior há de se tomar em edificações hospitalares, uma vez que a degradação das fachadas pode possibilitar, por exemplo, a entrada de água e o consequente crescimento de fungos em seu interior, onde encontram-se pessoas já com a saúde debilitada.

(a) (b)

Figura 14: Exemplo de fachada com infiltração e descolamento da camada de tinta (a) e fachada com descolamento de reboco e fissuras (b).

Atualmente, no Hospital Universitário de Sergipe, existem edificações com revestimento cerâmico (Figura 15) assim como com acabamento em argamassa e pintura (Figura 16).

(a)

(b)

(c)

Figura 15: Edificações pertencentes ao Hospital Universitário de Sergipe revestidas com pastilhas cerâmicas: Prédio de ambulatórios gerais (a), Prédio anexo hospitalar (b) e Prédio do centro de ciências biológicas e da saúde (c).

(a)

(b)

(c)

Figura 16: Edificações pertencentes ao Hospital Universitário de Sergipe revestidas com argamassa e pintura: Prédio de ambulatórios da biomédica (a), Prédio de ambulatórios de dermatologia (b) e Prédio Principal (c).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho visou o desenvolvimento de metodologias confiáveis de inspeção e monitoramento de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico através do uso da termografia infravermelha. Atenção especial foi dada para a análise das fachadas com revestimento cerâmico do Hospital Universitário de Sergipe.

Para tal, foram analisadas as influências de parâmetros operacionais e ambientais, a fim de otimizar a sensibilidade da técnica para a detecção de manifestações patológicas do tipo descolamento de pastilhas cerâmicas.

4.1 Equipamentos e softwares utilizados

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

4.1.1 Câmeras termográficas

Foram utilizadas duas câmeras termográficas da marca FLIR, modelos T640 Sc e E40, com o software Flir Tools +. A utilização de dois equipamentos distintos possibilitou a comparação entre as imagens térmicas obtidas, diante das mesmas condições de utilização. A Tabela 3 apresenta as características de cada câmera, conforme seus respectivos manuais técnicos.

Tabela 3: Comparativo entre as câmeras termográficas utilizadas neste trabalho.

Câmera termográfica	**FLIR T 640 Sc**	**FLIR E 40**
Faixa de medição	-40 ºC a +2000 ºC	-20 ºC a +120 ºC
Resolução	640 x 480	160 x 120
Faixa espectral	7,5 a 13 μm	7,5 a 13 μm
Exatidão	+/- 1 ºC	+/- 2 ºC
Sensibilidade térmica	< 0,02 ºC a 30 ºC	< 0,07 ºC a 30 ºC
Frequência de imagens	30 Hz	60 Hz
Zoom digital	1 a 8 vezes	2 vezes
FOV	25º x 19º	25º x 19º
IFOV	0,68 mrad	2,72 mrad

4.1.2 Termo-higrômetro

Foi utilizado o termo-higrômetro de marca TESTO e modelo 605-i para aferição da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar. Tais dados são necessários para alimentar a câmera termográfica antecedendo a extração dos termogramas, a fim de se obter valores corrigidos de temperatura superficial nas imagens térmicas.

4.1.3 Fontes de calor e suporte metálico

Foram utilizadas duas lâmpadas infravermelhas com 250 W de potência cada, acopladas em luminárias que foram fixadas em suporte metálico desenvolvido e fabricado durante esta pesquisa. O suporte especial forneceu melhores condições de fixação das amostras e do sistema de aquecimento (Figuras 17 e 18).

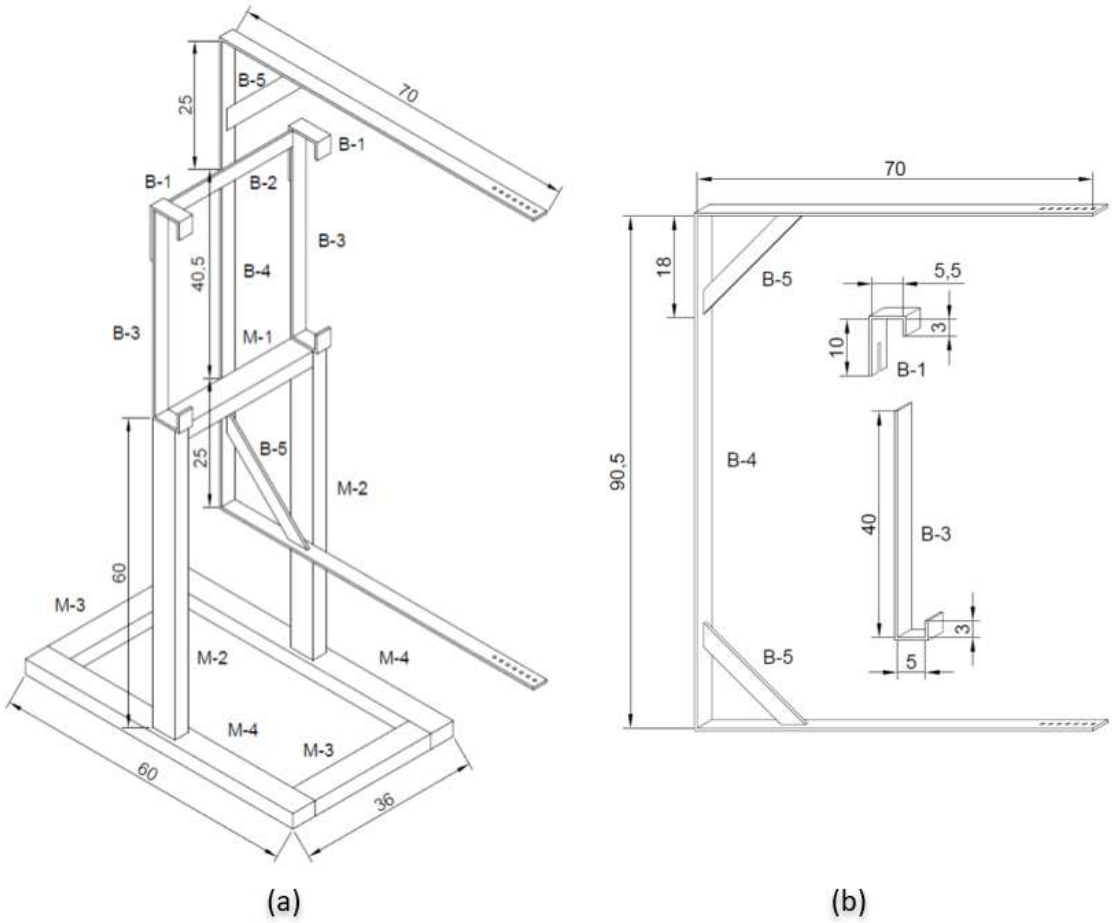


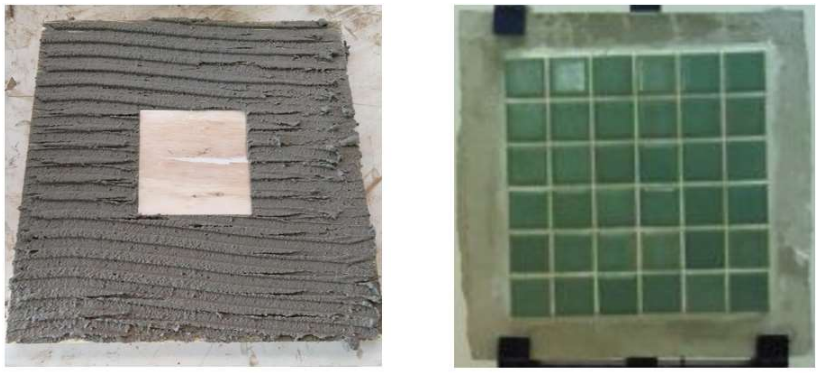
Figura 17 – Projeto geral (a) e detalhamento das peças (b).

Para a execução do suporte foram utilizadas barras de metalon com dimensões transversais de 50 x 20 milímetros (para as peças M1, M2, M3 e M4) e barras chatas com dimensões transversais de ½“ x ¼” (para as peças B1, B2, B3, B4 e B5).

Figura 18: Suporte executado em utilização durante os ensaios.

4.2 Confecção de corpos de prova

Foram moldadas placas em argamassa cimentícia (30cm x 30cm x 3,5cm) utilizadas como base para o assentamento de pastilhas cerâmicas de diferentes cores (branca, cinza e verde). A área central da placa foi protegida com fita adesiva e, após o espalhamento de uma camada de argamassa colante (tipo AC-II), a fita adesiva foi retirada criando uma falha de aderência, para simular o defeito de descolamento entre as pastilhas e sua base, com dimensões laterais de 5cm, 10cm e 15 cm (Figura 19a). Após sua secagem, foi aplicado o rejunte para acabamento (Figura 19b).



(a) (b)

Figura 19: Corpo de prova em execução com simulação de descolamento ao centro (a) Corpo de prova finalizado, com pastilha cerâmica e rejunte (b).

4.3 Matriz experimental

Este trabalho foi desenvolvido seguindo a sequência de atividades apresentadas na Figura 20.

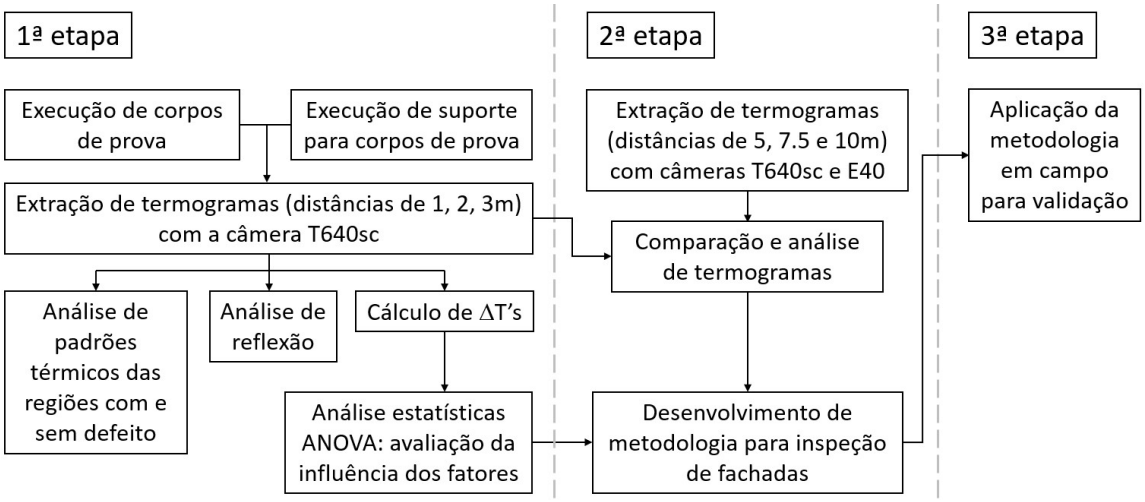


Figura 20: fluxograma geral da pesquisa

4.3.1 Primeira etapa

Foi utilizada a câmera termográfica FLIR-T640sc para a obtenção das imagens térmicas. Para a leitura da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar foi utilizado o termo-higrômetro TESTO-605i. Foram definidos os valores da emissividade e da temperatura refletida seguindo as orientações das normas ASTM E 1933 e ASTM E 1862, respectivamente. Os valores obtidos foram inseridos na câmera termográfica antes de cada sequência de extração de termogramas.

No início dos ensaios as placas foram aquecidas durante duas horas com duas lâmpadas infravermelhas de 250W, tempo suficiente para o aquecimento ser o mais uniforme possível e atingir uma temperatura mínima de 40º, temperatura geralmente alcançada em fachadas no final do período de incidência solar.

Durante o ciclo de resfriamento foram extraídos termogramas a cada cinco minutos, durante duas horas, tempo suficiente para que a diferença de temperatura entre a região do defeito e a região íntegra fosse mínima ou nula ($\Delta T=0$). Variou-se a distância (1m, 2m e 3m) e os ângulos de visão (00º, 30º e 60º), totalizando 9 posições para cada placa e 24 termogramas para cada uma dessas posições (Figura 21).

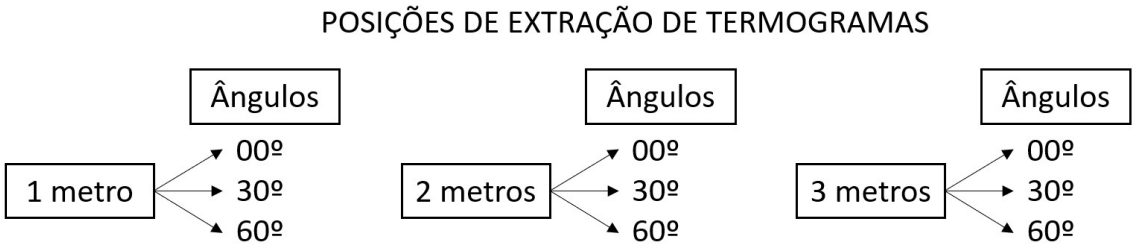


Figura 21: Disposição para extração de termogramas – 1ª etapa

4.3.1.1 Ajuste de emissividades (ε)

Para a definição da emissividade das diferentes pastilhas cerâmicas deste trabalho foi utilizado o método detalhado na ASTM E 1933 – *"Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers"* (Procedimento padrão para medida e compensação para emissividade utilizando radiômetros de imagem infravermelha).

Para os ensaios em laboratório, foram assentadas três cores de pastilhas em uma placa de argamassa e uma pequena região foi pintada com tinta preta fosca em spray para servir de referencial (Figura 22), com emissividade conhecida igual a 0,97 [54].

Figura 22: Placa com três cores de pastilhas e região central pintada em preto, para ajuste de emissividades (ε).

A placa foi aquecida por duas horas e então foi extraído um termograma. Com a ajuda do software Flir tool+, foram ajustadas as emissividades das pastilhas coloridas até que a temperatura apresentada em cada cor fosse igual a temperatura apresentada nas pastilhas pintadas de preto. Assim foram encontrados os seguintes valores para a emissividades das cores: branca – 0,73; cinza – 0,76 e verde – 0,85.

Para a etapa desenvolvida em campo foi definido o valor da emissividade da superfície seguindo o mesmo procedimento descrito acima. Porém, ao invés de tinta preta fosca, foi utilizada fita isolante preta colada sobre a superfície para servir de referencial (ε=0,97), uma vez que a pintura de uma região da fachada seria inviável esteticamente. Para a cor azul, foi encontrado o valor de ε=0,92

4.3.1.2 Cálculo da temperatura refletida

Para o cálculo da temperatura refletida foi utilizado o método detalhado na ASTM E 1862 – *"Standard Practice for Measuring and Compensating for Reflected Temperature Using Infrared Imaging Radiometers"* (Procedimento padrão para medida e compensação de temperatura refletida utilizando radiômetros de imagem infravermelha).

Para os ensaios em laboratório, foi utilizada uma folha de papel alumínio, inicialmente amassada e depois realinhada, fixada paralelamente à superfície do corpo de prova. Utilizando a câmera termográfica, ajustou-se o valor da emissividade para ε=1 e foi extraído um termograma da região coberta com a folha de papel alumínio (Figura 23).

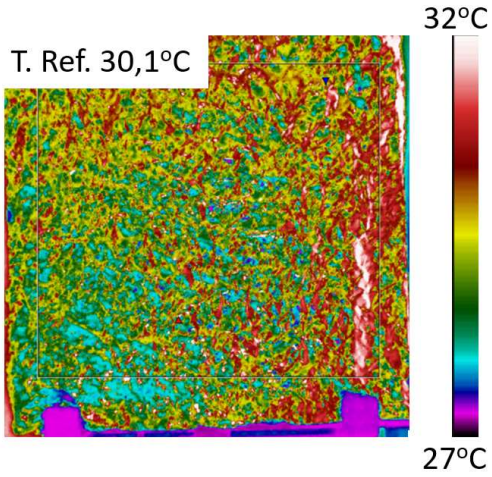


Figura 23: Termograma extraído para cálculo da temperatura refletida (T. Ref.)

A temperatura média dessa área foi obtida com o auxílio do software Flir Tool + e esse valor foi inserido na câmera termográfica como a temperatura refletida no momento da realização dos ensaios. O valor encontrado foi de 30,1ºC.

Para a etapa desenvolvida em campo, foi definido o valor da temperatura refletida seguindo o mesmo procedimento descrito acima. Devido à impossibilidade de fixação da folha de papel alumínio na região dos defeitos, que se apresentaram em regiões altas

da fachada, esta foi fixada a altura de 1,5 m do piso, perpendicular à câmera. O valor encontrado foi de 27,1ºC.

4.3.1.3 Análise de variância (ANOVA)

O objetivo desta análise estatística foi conhecer a influência de fatores pré-determinados (emissividade, tamanho do defeito, distância e ângulo de visão) nos valores de ΔT (temperatura diferencial entre as regiões íntegra e com defeito). Para tanto, foi utilizado o método da análise de variância conhecido como ANOVA – *"Analysis of Variance*".

Para cada termograma extraído na 1ª etapa desta pesquisa foram calculados os valores de ΔT, gerando curvas representando seu comportamento em função do tempo. Notando-se que os maiores valores estavam entre os instantes t=10min e t=30min, foi calculada a média desse intervalo para ser considerada como variável de resposta para cada placa, com um posicionamento específico.

Através da programação e dos dados fornecidos ao software R Studio, foi obtido o valor de P para cada fator avaliado, determinando assim qual deles influenciou significativamente as variáveis de resposta. Ainda com a utilização do mesmo software, procedeu-se também o teste Tukey, com o objetivo de identificar qual combinação de níveis de fator foi responsável pela influência nos resultados.

O valor de P, que é referente ao índice de significância, indica a probabilidade de ocorrência das variações nas variáveis de resposta terem acontecido ao acaso, sendo considerado o limite mínimo de 5%. Para P menor do que este limite, a influência do fator é considerada significativa. O teste Tukey segue a mesma lógica, analisando a combinação dos níveis de fator dois a dois.

4.3.2 Segunda etapa

Para a segunda etapa dos ensaios em laboratório, seguiu-se a mesma metodologia da primeira etapa, porém foram utilizados dois tipos de câmera termográfica FLIR T640 e FLIR E40. As distâncias foram alteradas para 5 m; 7,5 m e 10 m (Figura 24).

Nesta etapa avaliou-se a influência das configurações das câmeras termográficas nas imagens térmicas obtidas através dos diferentes modelos utilizados, assim como a possibilidade de detecção de defeitos até a distância máxima de 10 metros.

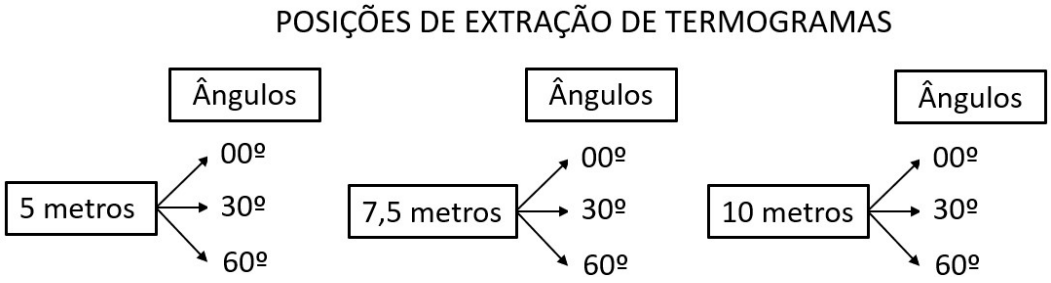


Figura 24: Disposição para extração de termogramas – 2ª etapa

4.3.3 Terceira etapa

Como teste de campo, foram analisadas as fachadas do Prédio Anexo Hospitalar do Hospital Universitário de Sergipe - UFS/EBSERH. Tal edificação é composta por um pavimento térreo e mais três pavimentos superiores, possuindo revestimento com pastilhas cerâmicas em toda a sua fachada. A Figura 25 apresenta sua planta de cobertura com a indicação de orientação de cada fachada.

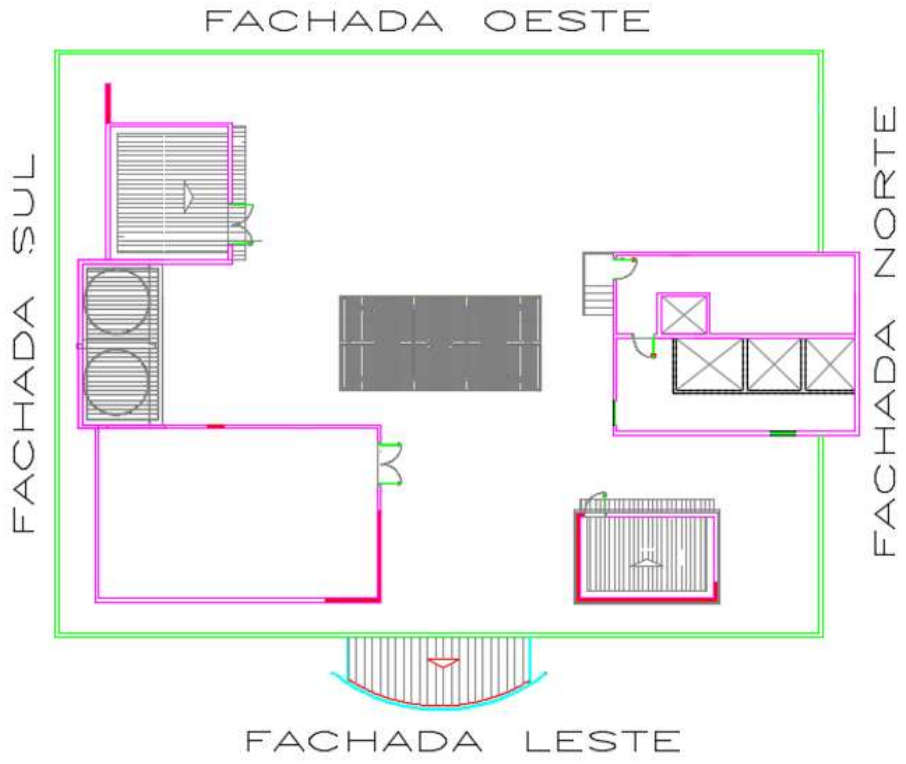


Figura 25: Planta de cobertura do Prédio Anexo Hospitalar. Fonte: DIPRO/UFS

Na primeira análise, foi feita uma varredura de toda a fachada utilizando a câmera termográfica para identificação inicial de regiões com diferença de temperatura superficial. Após a detecção das áreas com suspeita de descolamento, foi feita a segunda análise, extraindo termogramas fixando a câmera perpendicular à superfície (ângulo horizontal), variando somente o ângulo vertical, conforme ilustra a Figura 26.

Os termogramas foram extraídos entre 18:30 e 19:30 para que toda a fachada já estivesse no ciclo de resfriamento.

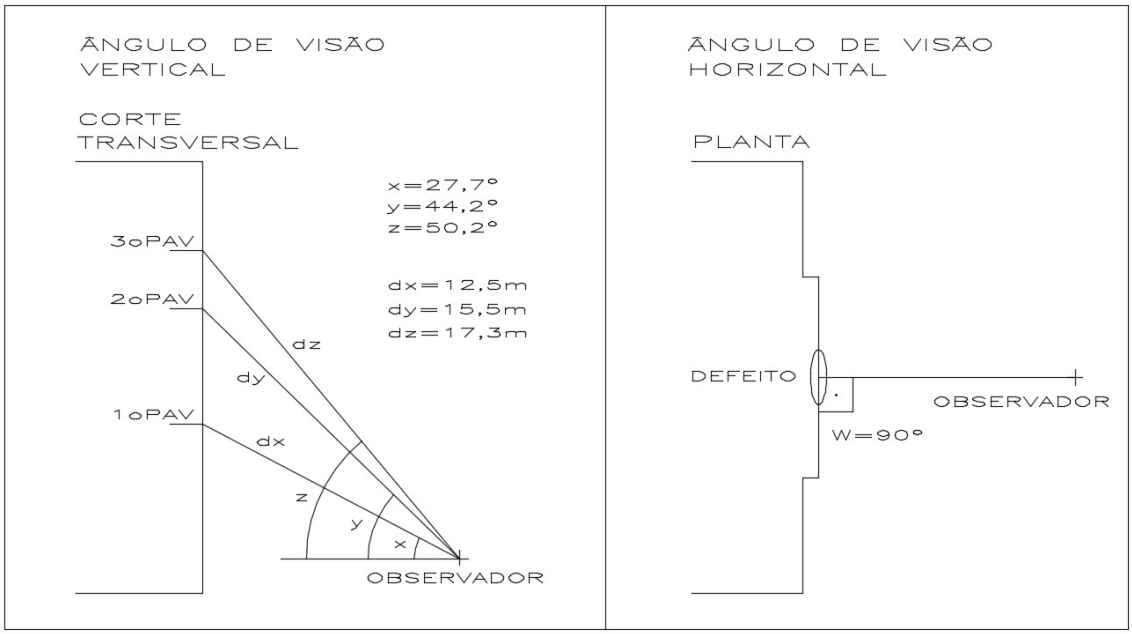


Figura 26: Esquema de posicionamento da câmera termográfica em relação à fachada, para ângulo horizontal de 90º.

Foram encontradas indicações de defeitos no 1º, 2º e 3º pavimentos de parte da fachada norte, tendo sido observados conforme os ângulos indicados na Figura 26 (x, y e z). Foi mantido o ângulo máximo de visão abaixo de 50º.

Em terceira análise, após a identificação das regiões com possível descolamento, foram extraídos termogramas da mesma área com ângulo horizontal diferente para eliminar a influência de possíveis reflexos nas imagens térmicas. Priorizou-se manter as distâncias entre a câmera e o alvo (dx, dy e dz) as mais próximas possíveis dos valores obtidos na segunda análise, com o intuito de eliminar qualquer influência relativa à essa variação. Sendo assim, obteve-se um ângulo horizontal de 49,2º. A Figura 27 mostra o esquema de posicionamento da terceira análise.

Após a extração dos novos termogramas, seguiu-se com a comparação entre os dados das imagens térmicas da segunda e terceira análise, para eliminação de influências externas e identificação de áreas danificadas.

Para regiões que não puderam ter a existência do descolamento confirmada no ciclo de resfriamento, foi feita a extração de termogramas no ciclo de aquecimento, seguindo o posicionamento esquematizado na Figura 26, evitando a incidência solar direta.

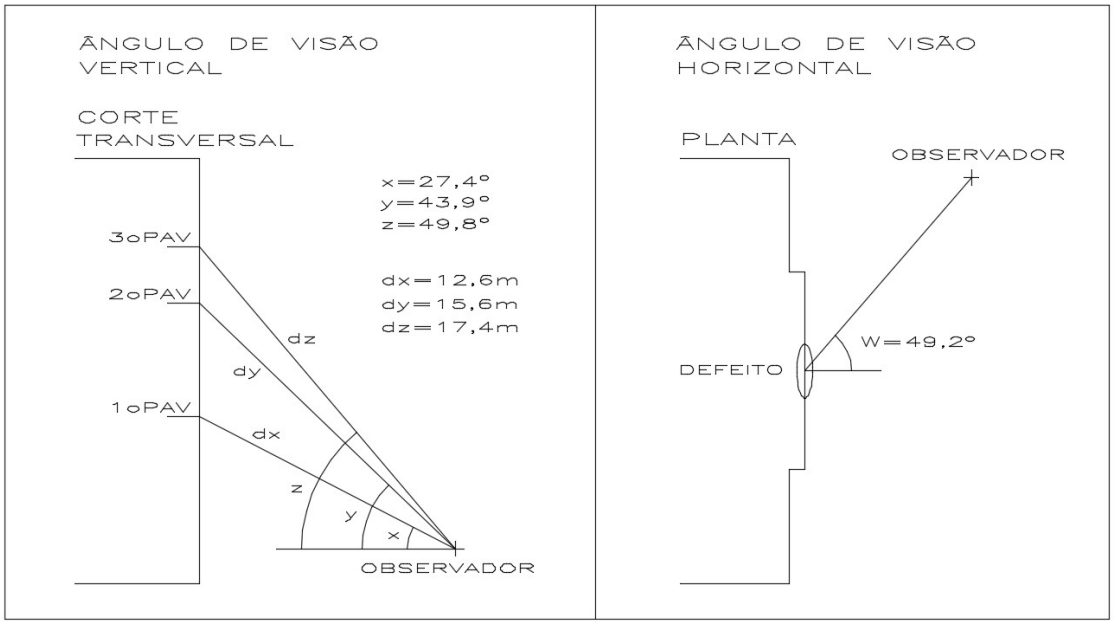


Figura 27: Esquema de posicionamento da câmera termográfica em relação à fachada para ângulo horizontal 49,2º.

4.4 Limitantes da pesquisa

A metodologia desenvolvida neste trabalho se restringe à identificação de descolamento de pastilhas cerâmicas assentadas com argamassa colante do tipo AC-II sobre reboco de argamassa cimentícia. O descolamento da camada de reboco de sua base (alvenaria) não foi analisado. A espessura do volume de ar contido entre o revestimento cerâmico e o reboco foi aproximadamente 2 mm. Os fatores que podem influenciar na detecção do descolamento do revestimento cerâmico, analisados neste trabalho, foram a distância e o ângulo de visão, o tamanho do defeito e a emissividade. Tendo a região nordeste alto índice de radiação solar durante todo o ano, esta pesquisa foi desenvolvida no ciclo de resfriamento dos corpos de prova a fim de simular o início do sombreamento em fachadas. A alta incidência solar durante a extração dos termogramas pode causar reflexão de outros corpos na superfície estudada, situação que deve ser evitada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalhou buscou o desenvolvimento de metodologias confiáveis de aplicação da técnica de análise termográfica para a detecção de manifestações patológicas em fachadas de edificações verticais. Atenção especial foi dada a análise das fachadas do Hospital Universitário de Sergipe – UFS/EBSERH.

5.1 Comportamento do fluxo de calor

É de notório saber que a velocidade do fluxo de calor em um meio depende das propriedades térmicas deste meio [31]. Considerando a fachada de uma edificação, que apresenta camadas de diferentes materiais sobrepostos, a atenção foi direcionada ao sistema de revestimento, que é o foco deste trabalho. Quando uma fachada é aquecida pelo sol, o fluxo de calor é orientado de fora para dentro da edificação. Já no período de resfriamento, no poente, o calor flui na direção contrária, de dentro para fora da edificação. Na presença de manifestação patológica do tipo descolamento de revestimento cerâmico, a transferência de calor nesta região é retardada, uma vez que a ausência de continuidade entre as camadas funciona como resistência térmica (Figura 28).

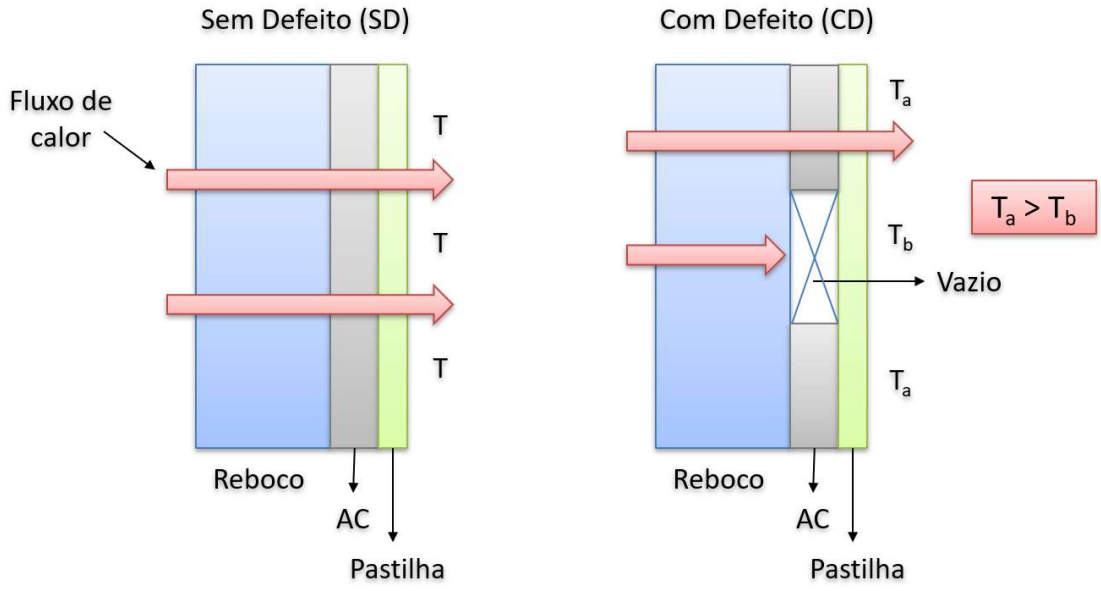


Figura 28: Esquema representativo do fluxo de calor no revestimento de fachadas, em regiões com e sem defeito, no ciclo de resfriamento.

Durante o resfriamento da fachada, o vazio impede que o calor alcance a superfície do revestimento cerâmico com a mesma velocidade que acontece nas regiões íntegras. Dessa forma, a região defeituosa apresenta temperaturas inferiores ao seu

entorno. Tal comportamento do fluxo de calor pode ser observado na Figura 29 através das curvas de temperatura obtidas nas regiões com (CD) e sem defeito (SD).

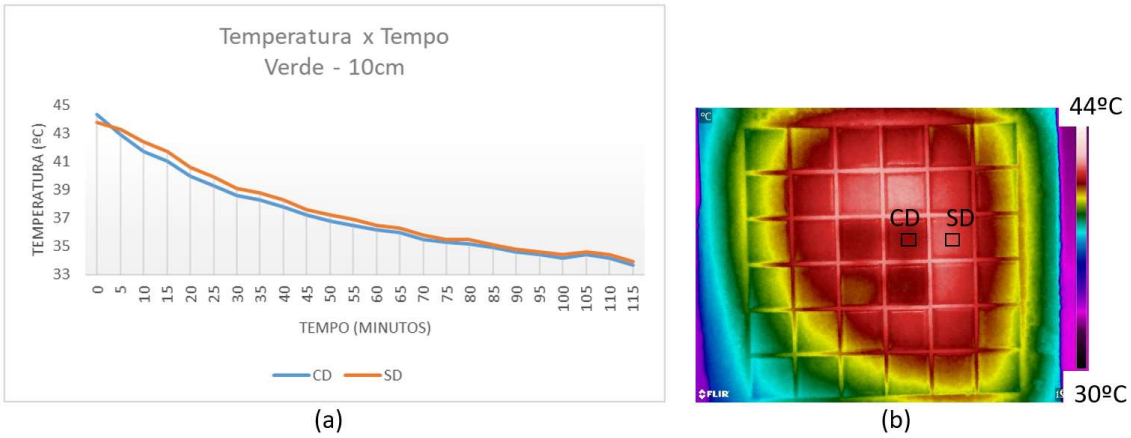


Figura 29: Curva Temperatura x Tempo (a) Termograma em t=5 minutos, com indicação dos pontos com (CD) e sem (SD) defeito (b).

Os dados apresentados acima referem-se à placa verde com defeito central de 10 cm, posicionada a 1 metro da câmera termográfica e perpendicular à ela, porém para as outras placas com cores, defeitos e posições diferentes, o comportamento térmico segue o mesmo padrão, apresentando temperatura mais baixa para a região com defeito quando comparada à temperatura da região íntegra.

5.2 Comportamento de ΔT

Para melhor visualização e compreensão, foi feito o cálculo da variação de temperatura entre as regiões com (CD) e sem defeito (SD), denominada Delta T (ΔTºC). Tais valores foram obtidos subtraindo-se o valor da temperatura da região íntegra do valor da região defeituosa (=CD-SD). A curva ΔT x Tempo está apresentada na Figura 30.

Para os corpos de prova analisados, notou-se que os maiores valores de ΔT foram encontrados entre 10 e 30 minutos, sendo este o intervalo de tempo mais adequado para a detecção destes defeitos, uma vez que sua identificação acontece através do contraste entre as áreas íntegras e defeituosas. Comportamento semelhante foi apresentado por FREITAS *et al* [28], obtido por simulação numérica, no ciclo de resfriamento (entre 18h e 8h), deixando evidente os maiores valores de ΔT para o início deste ciclo (entre 18h e 23h). Nesta condição, conforme apresentado na literatura [10, 28, 43], os melhores momentos para aquisição dos termogramas de fachada são o início do ciclo de aquecimento (nascente) ou o início do ciclo de resfriamento (poente).

Figura 30: Curva da diferença da temperatura entre as regiões com e sem defeito em função do tempo (ΔT x t).

A Figura 30 apresenta o comportamento do ΔT em função do tempo para a placa verde com defeito de 10 cm, posicionada a 1 metro da câmera termográfica e perpendicular a ela. Mais uma vez, o comportamento das outras placas e posições seguem o mesmo padrão apresentado.

5.3 Influência da reflexão

Durante a execução dos ensaios, foi identificado o problema de reflexão da câmera termográfica e do operador (fonte de calor próxima) no corpo de prova, principalmente nas placas com emissividades (ε) mais baixas (placa cinza ε=0,76 e branca ε=0,73), conforme ilustra a Figura 31. As regiões em destaque nos termogramas indicam as interferências de parte do corpo do operador no momento da captação da imagem, ao acionar a câmera termográfica. Essas manchas apresentam temperatura superior em relação à sua vizinhança, podendo ser facilmente confundidas com anomalias existentes não identificadas por inspeção visual.

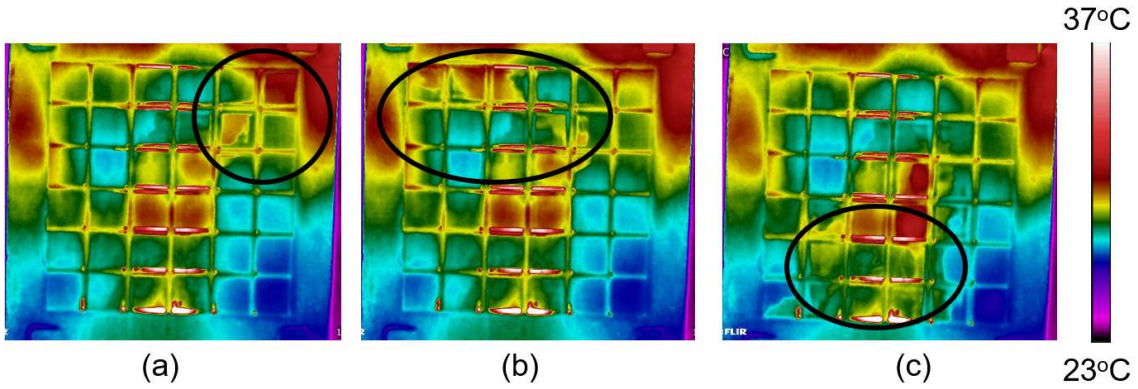


Figura 31: Braço do operador à direita (a), braço do operador à esquerda (b) e corpo do operador abaixo do centro da placa (c).

Em relação a detecção de anomalias em revestimentos cerâmicos aderidos utilizando termografia, LOURENÇO *et al* [43] destacaram que a extração dos termogramas deve ser realizada com a menor distância possível da superfície em estudo, para que a temperatura de regiões vizinhas não interfira nas imagens térmicas. Porém, BARREIRA *et al* [44] chamaram a atenção em seu trabalho para fontes de calor próximas à região de estudo, pois podem interferir nos valores de temperatura superficial obtidos. Além de detectarem a imprecisão da medida da temperatura em materiais com baixa emissividade e alta reflectância quando utilizados equipamentos com infravermelho.

Baseado na ideia exposta no trabalho de LI *et al* [41] , o qual suprimiu a influência da reflexão eliminando a incidência direta da fonte de calor na superfície, optou-se por modificar o ângulo de visão entre a câmera e as placas (Figura 32), melhorando a sensibilidade da técnica.

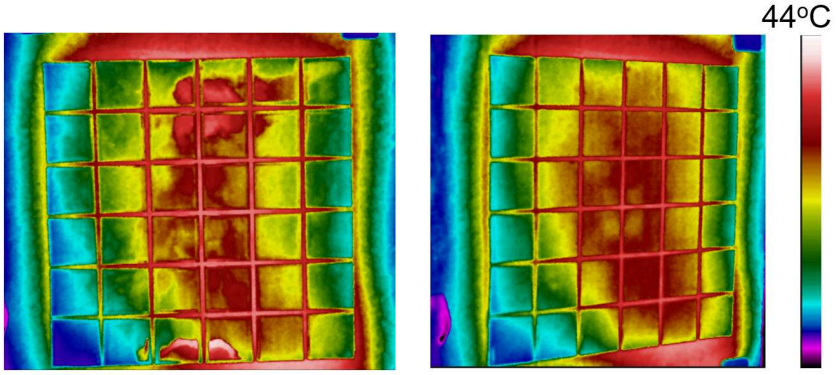


Figura 32: Placa a 0º (a) Placa a 30º (b).

Por se tratar de uma edificação, as condições de contorno nem sempre são confortáveis ou favoráveis para proceder com a inspeção termográfica utilizando o posicionamento ideal, sendo necessário adaptar distâncias e ângulos de visão com o intuito de eliminar as interferências de reflexão de fontes de calor próximas, pois estas podem levar a diagnósticos imprecisos.

Outra opção para evitar a reflexão causada pelo operador na superfície analisada é a utilização do acionamento remoto, disponível em alguns modelos de câmeras termográficas. Porém, é ainda necessário atenção para a possibilidade de reflexão causada pelo próprio equipamento.

5.4 Análise de variância

Neste trabalho foi utilizada a Análise de Variância (ANOVA) como teste estatístico. Esta análise estatística foi desenvolvida em duas etapas, sendo a primeira com os fatores Tamanho, Distância e Ângulo e a segunda etapa incluindo o fator Cor.

Os dados de entrada para a ANOVA foram obtidos através da média entre os valores de ΔT calculados a partir dos termogramas extraídos entre os instantes t=10 min e t=30 min. A tabela com os dados utilizados está disposta no ANEXO A.

Em primeira análise, a ANOVA apresentou influência significativa para os fatores Tamanho e Ângulo, com valor P igual a $2x10^{(-16)}$ e $7,4x10^{(-3)}$, respectivamente, indicados com asterisco na Tabela 4.

Tabela 4: Tabela com valores da Análise de Variância.

Fatores	F crítico	F calculado	Valor P	
Tamanho	3,1107	68,507	2x10^-16	*
Distância	3,1107	2,617	0,0747	!
Ângulo	3,1107	4,984	0,0074	*

Quanto ao fator Distância, apesar de apresentar valor de P próximo ao limite, indicado por um ponto de exclamação na Tabela 4, não houve influência significativa nas variáveis de resposta. Isso pode ser explicado pelo fato de, apesar da diminuição da temperatura ter ocorrido com o aumento da distância, as áreas com e sem defeito apresentaram diminuição em valores semelhantes (diferença máxima entre eles de 0,1ºC), não alterando significativamente o valor de ΔT.

Analisando os resultados do teste Tukey para o fator Tamanho (Tabela 5), nota-se que a combinação 2 é a única que apresenta valor de P > 0,05. Tal fato não era esperado uma vez que esta combinação analisa as diferenças entre as variáveis de resposta do maior e do menor tamanho de defeito. Esperava-se que esta combinação seguisse o padrão apresentado para as combinações 1 e 3, pois o volume de ar contido no vazio é diretamente proporcional à resistência que ele oferece ao fluxo de calor.

Tabela 5: Teste Tukey para fator TAMANHO

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

Contudo, tal comportamento pode ser explicado por uma leve alteração percebida nos corpos de prova com defeito de 15 cm, conforme ilustrado na Figura 33. Um leve afundamento das pastilhas cerâmicas no centro do defeito fez com que o revestimento cerâmico entrasse em contato com a base.

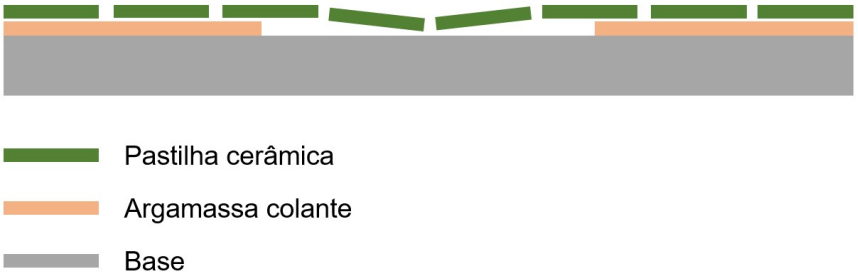


Figura 33: Esquema de corte transversal da placa com defeito de 15 cm, com leve afundamento das pastilhas cerâmicas no centro do defeito.

Analisando os resultados do teste Tukey para o fator Ângulo (Tabela 6), nota-se que a combinação 1 apresentou valor de P bem acima do limite, enquanto as outras combinações apresentaram valor de P abaixo de 0,05. Corroborando com o resultado obtido, a literatura mostra que o aumento do ângulo de visão altera a leitura da temperatura superficial. De acordo com LITWA [46] o ângulo crítico é de 50º, ângulo a partir do qual os valores de temperatura não apresentam confiabilidade suficiente quando utilizadas câmeras termográficas.

Tabela 6: Teste Tukey para fator ÂNGULO

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

MILHOMEM *et al* [45] concluíram que a temperatura superficial diminui com o aumento do ângulo de visão. Tais fatos podem explicar a diferença significativa nas variáveis de resposta do ângulo de 60º em relação aos outros ângulos, demonstrada pelo valor de P < 0,05 nas combinações 2 e 3 da Tabela 6.

No caso da combinação 1, que apresentou valor de P próximo de 1, nota-se a proximidade das variáveis de resposta nessas duas posições. Fato este que contribui para a facilitar a inspeção em campo, uma vez que nem sempre a câmera pode ser posicionada perpendicular à superfície avaliada.

Para a segunda análise a cor também foi considerada um fator variável (Tabela 7). Nota-se que o comportamento dos fatores Tamanho, Distância e Ângulo permaneceu o mesmo, e a Cor apresentou valor de P < 0,05, gerando influência significativa nas variáveis de resposta.

Tabela 7: Tabela com valores da Análise de Variância incluindo o fator COR.

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

Conforme LOURENÇO *et al* [43], no seu trabalho sobre detecção de defeitos em revestimentos cerâmicos, os revestimentos com maior absorbância, logo maior emissividade, apresentaram maiores valores de ΔT. Tal fato pode ter contribuído para o resultado apresentado, uma vez que o revestimento cerâmico de cor verde tem maior valor de emissividade em comparação com os de cor cinza e branca.

Apesar de ter influência significativa sobre as variáveis de resposta, a Cor é um fator que não pode ser controlado ou modificado durante a inspeção em fachadas, já que é uma característica inerente à edificação. Sendo assim, optou-se por realizar a primeira análise (Tabela 4) dos valores de ΔT de forma mais ampla, sem restrições quanto às diferentes cores utilizadas. Já a segunda análise (Tabela 7) forneceu informações complementares, indicando apenas em que situação a detecção do defeito de descolamento pode ser mais nítida, devido ao maior contraste térmico.

5.5 Limitações físicas para detecção de defeitos

Além dos parâmetros e fatores já estudados neste trabalho, existe ainda limitações físicas que devem ser levadas em conta na hora de inspecionar uma fachada em busca de descolamentos de revestimentos cerâmicos.

Muitas vezes não existe espaço livre suficiente ao redor da edificação para o melhor posicionamento do equipamento, assim, é necessário conhecer o limite para o fator distância, com o intuito de possibilitar a melhor condição para que a inspeção seja feita com o máximo de confiabilidade.

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

características do equipamento devem ser conhecidas, assim como respeitadas suas limitações.

5.5.1 Posicionamento para detecção dos defeitos

O melhor posicionamento da câmera termográfica em relação à área analisada nem sempre é possível quando se está trabalhando em campo. Várias interferências no entorno da edificação (como outras construções, vias, desníveis, entre outros) podem limitar a distância e o ângulo sob os quais a inspeção será realizada. Por conseguinte, torna-se relevante conhecer os limites para estes dois fatores, a fim de manter um posicionamento favorável com maior possibilidade de detecção de defeitos.

Observando os termogramas apresentados nas Figuras 34 a 36, percebe-se que, ao posicionar o termógrafo a maiores distâncias, a nitidez do contorno do defeito fica levemente prejudicada, assim como os detalhes da imagem, como por exemplo as linhas do rejunte entre as pastilhas. Nota-se ainda que com o aumento do ângulo de visão aumenta também este prejuízo, chegando ao ponto de ser imperceptível o contraste térmico entre as regiões com e sem defeito para distância de 10 metros com ângulo de 60º (Figura 36c).

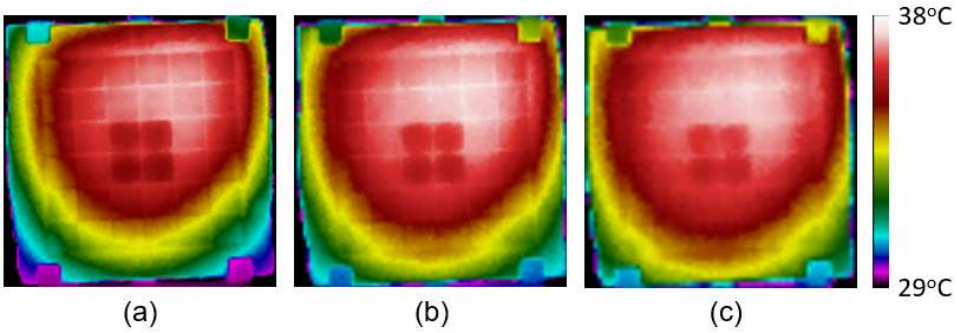


Figura 34: Termogramas extraídos com ângulo de 0º. Distância variando em 5 m (a), 7,5 m (b) e 10 m (c).

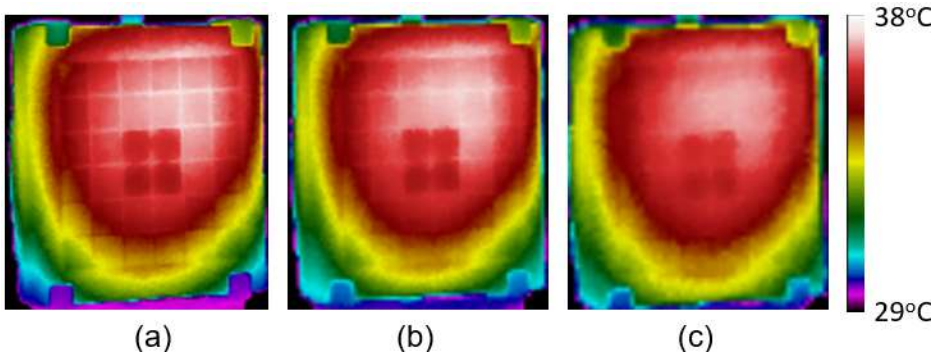


Figura 35: Termogramas extraídos com ângulo de 30º. Distância variando em 5 m (a), 7,5 m (b) e 10 m (c).

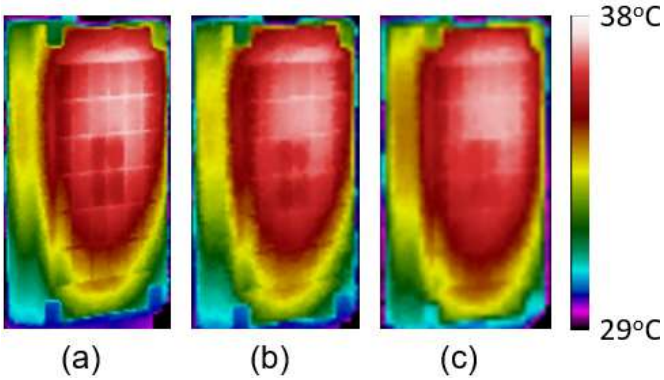


Figura 36: Termogramas extraídos com ângulo de 60º. Distância variando em 5 m (a), 7,5 m (b) e 10 m (c).

Os corpos de prova com defeito central de 15 x 15 cm apresentaram termogramas semelhantes aos apresentados nas figuras 34 a 36. Já para os corpos de prova com defeito central de 5 x 5 cm, não foi possível identificar visualmente a região danificada mesmo com o melhor posicionamento (5 metros de distância entre o termógrafo e o corpo de prova, com ângulo de visão 0º). Assim, para defeitos de descolamento com espessura de aproximadamente 2 mm, a dimensão mínima identificada neste trabalho foi de 10 x 10 cm, para distância máxima de 10 metros e ângulo máximo de 30º.

5.5.2 Controle da escala de temperatura

Devido às influências do contorno da edificação em relação ao posicionamento da câmera termográfica, geralmente os termogramas extraídos para avaliação de uma região não abrange somente esta, mas têm a interferência da temperatura de regiões vizinhas. Sendo assim, deve-se tomar cuidado com a escala de temperatura sendo necessária uma avaliação cuidadosa por parte do inspetor, pois o defeito pode ficar visualmente escondido se os limites da escala estiverem muito distantes.

Tal fato pode ser observado na Figura 37, onde são apresentados dois termogramas com os limites da escala de temperatura diferentes. Na Figura 37a o intervalo vai de 20ºC a 45ºC, não sendo possível a identificação visual de contraste térmico na região central, onde existe o descolamento com dimensão de 10 cm. Nem mesmo as linhas de rejunte são visíveis para este termograma. Já na Figura 37b, com o limite inferior da escala em 29ºC e o superior em 38ºC, pode ser identificado o defeito central e as linhas de rejunte ficam perceptíveis.

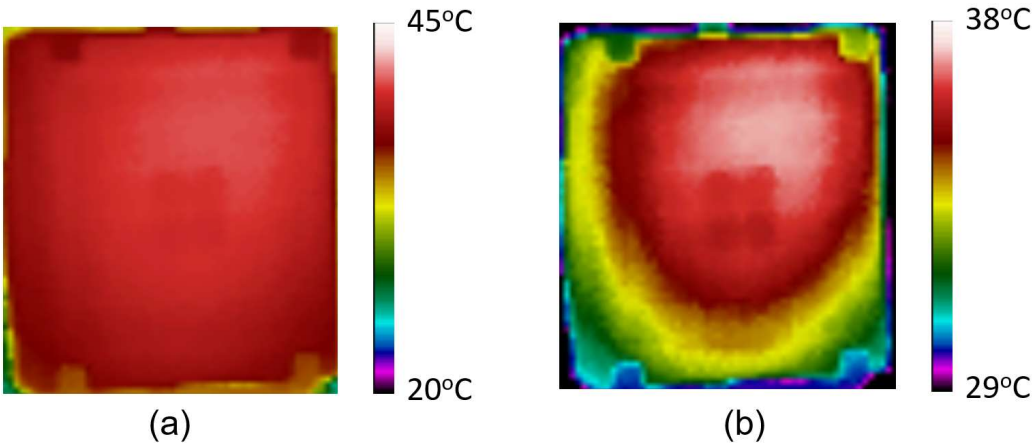


Figura 37: Comparação entre imagens do mesmo termograma com escala de temperatura diferentes: 20ºC a 45ºC (a) e 29ºC a 38ºC (b).

Esta influência foi comentada por LOURENÇO *et al* [43] . Os autores sugeriram posicionar o equipamento o mais próximo possível do alvo para evitar que a região vizinha aumente muito a variação de temperatura no termograma, pois este aumento pode tornar as pequenas variações invisíveis. Considerando que o defeito de descolamento de placas cerâmicas pode provocar diferença na temperatura superficial menor do que 1ºC, dependendo de suas dimensões, a detecção visual deste ficaria prejudicada.

Assim, no momento da inspeção é importante que seja feita uma avalição minuciosa para cada região isoladamente, definindo para cada uma delas os limites da escala de temperatura mais adequados, possibilitando a identificação de pequenos defeitos ocultos.

5.5.3 Comparação entre câmeras termográficas

Existem no mercado diferentes modelos de câmeras termográficas, variando seu valor conforme suas características. No momento da aquisição desse tipo de equipamento é necessário considerar a finalidade a que ele se destinará e o quanto de capital poderá ser investido. No balanceamento desses dois requisitos (finalidade e capital) a escolha deve ser feita.

Para esta pesquisa foram disponibilizados dois modelos de câmeras termográficas, com suas características descritas na Tabela 3. Sabendo-se que a detecção dos vazios sob o revestimento cerâmico pode sofrer a influência da resolução do equipamento, além dos parâmetros e fatores já citados anteriormente, a Figura 38 compara os termogramas obtidos através de cada um dos modelos utilizados.

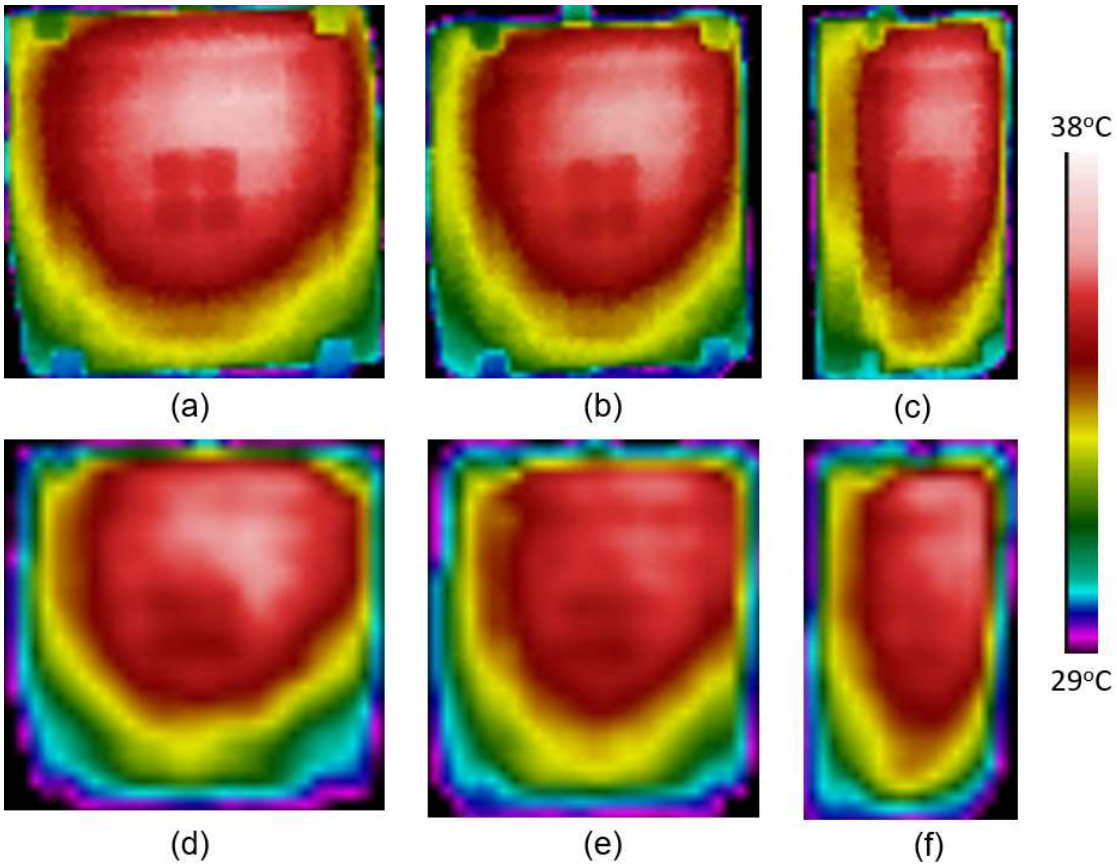


Figura 38: modelo T640, ângulo=0º (a) modelo T640, ângulo=30º (b) modelo T640, ângulo=60º (c) modelo E40, ângulo=0º (d) modelo E40, ângulo=30º (e) modelo E40, ângulo=60º (f).

Percebe-se com facilidade a diferença nas imagens geradas pelos dois modelos, sendo visualmente mais fácil de detectar o descolamento das pastilhas cerâmicas nos termogramas da câmera T640sc (Figura 38 a-b-c), apesar de ambas apresentarem a mesma diferença de temperatura entre as regiões íntegra e com defeito ($\Delta T=1^{o}C$).

O contorno do descolamento ficou mais bem definido com a câmera de maior resolução, e detalhes como as linhas de rejunte puderam ser identificados. Apesar disso, nota-se que a utilização do equipamento com menor resolução (Figura 38 d-e-f) não se tornou inviável, pois através de suas imagens térmicas os defeitos também puderam ser detectados. Este equipamento apresentou custo dez vezes inferior ao modelo científico.

Optou-se por apresentar na Figura 38 os termogramas extraídos a 10 metros por ser a maior distância considerada neste trabalho, sendo assim, a pior situação possível. Porém, para as distâncias de 5 metros e 7,5 metros, a resolução das imagens seguiram o mesmo padrão comparativo aqui constatado.

5.6 Desenvolvimento de metodologia para aplicação em campo

Com base nos resultados obtidos em laboratório, propõe-se a seguinte metodologia para a Inspeção Termográfica de rotina das Fachadas do Hospital Universitário de Sergipe – UFS/EBSERH:

1) Planejamento da Inspeção: Realizar estudo preliminar com base em análises anteriores e referências da literatura.
2) Desenvolvimento do procedimento de análise: Seleção de equipamento termográfico; seleção do objeto de análise; definição do tipo de manifestação patológica a ser investigada.
3) Ajustes preliminares para a inspeção: Identificação de parâmetros de controle; Identificação do melhor horário para a realização das análises; Identificação da sensibilidade da tecnologia; definição dos limites operacionais da técnica.
4) Realização da Inspeção: Inspeção termográfica a partir de parâmetros operacionais pré-definidos; Definição da emissividade e parâmetros de controle; Extração de termogramas.
5) Análise e interpretação dos resultados: Análise dos termogramas e demais curvas de ciclo térmico; cálculo da diferença de temperaturas entre regiões analisadas;
6) Elaboração de relatórios para o suporte à tomada de decisões: Elaboração de relatórios com base em informações fundamentais da literatura, nos resultados coletados e nas análises posteriores. Caso os resultados sejam inconclusivos, as análises termográficas podem ser repetidas em diferentes horários, ou podem ser solicitados ensaios complementares como suporte à tomada de decisão.

5.7 Aplicação da termografia em campo

Após definidos os limites da técnica, conhecidas as influências dos fatores selecionados e a metodologia desenvolvida neste trabalho, foi feita a inspeção nas fachadas do prédio Anexo Hospitalar, uma das edificações que fazem parte do Hospital Universitário de Sergipe - UFS/EBSERH.

A extração dos termogramas foi feita no dia 22 de outubro de 2019 (durante a primavera), entre 18:30 e 19:30, momento em que as fachadas já se encontravam no ciclo de resfriamento, uma hora após do pôr do sol. Durante o período da manhã, as fachadas leste e sul receberam incidência solar direta, enquanto no período da tarde, a incidência solar atingiu as fachadas oeste e norte. Após a varredura inicial em toda a fachada utilizando a câmera termográfica, foram identificadas áreas com suspeita de descolamento em parte da fachada norte (Figura 39), as quais foram posteriormente

investigadas. A suspeita da presença de manifestações patológicas foi melhor evidenciada através do uso da técnica termográfica.

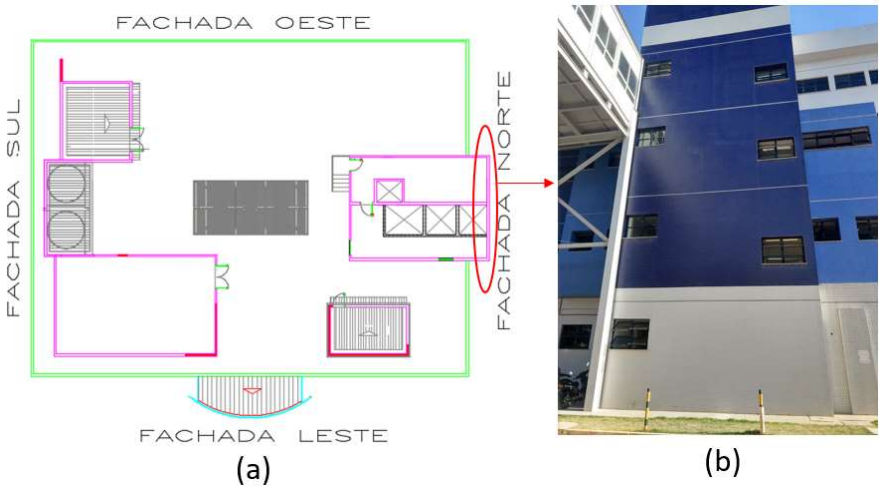


Figura 39: Planta de cobertura do prédio Anexo Hospitalar (a) e parte da fachada norte, onde foram identificadas regiões com suspeita de descolamento (b).

A Figura 40 mostra a fachada do primeiro pavimento e seu respectivo termograma. A escala de temperatura foi ajustada entre 20ºC e 30ºC para restringir a leitura das temperaturas superficiais às áreas de interesse, com o intuito de deixar mais nítidas as pequenas variações de temperatura. LOURENÇO *et al* [43] chamaram a atenção em seu trabalho para a questão da dificuldade de detecção de pequenas variações quando existe uma grande faixa de temperatura na imagem, causada pelas regiões vizinhas àquela em estudo.

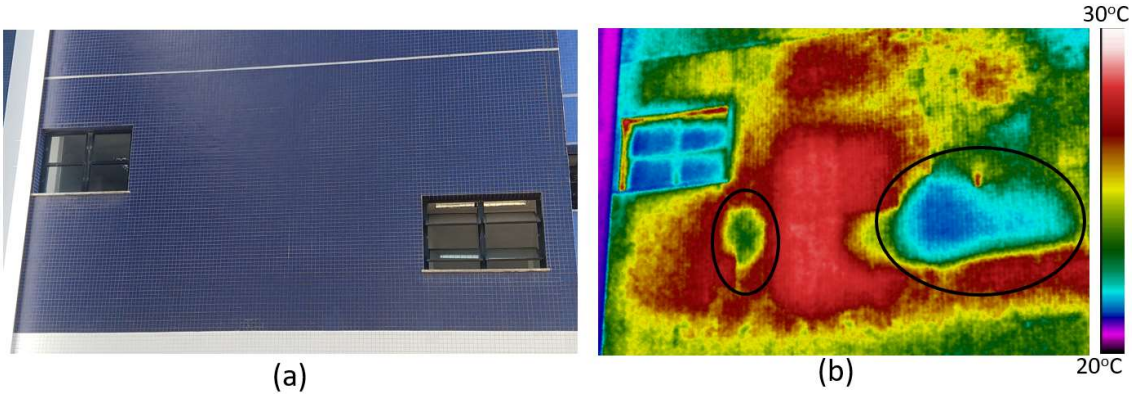


Figura 40: Imagem da fachada do primeiro pavimento (a) e o termograma correspondente no ciclo de resfriamento (b).

Em inspeção visual não foi notada alteração na superfície da fachada, porém, no termograma da Figura 40b, notam-se duas regiões com temperaturas menores do que a temperatura do seu entorno, ambas apresentando contornos bem definidos. O ΔT

entre a maior área circulada e sua região vizinha foi de 0,9ºC e o ΔT entre a menor área circulada e sua região vizinha foi de 0,5ºC. Tal comportamento é compatível com a existência de descolamento do revestimento cerâmico, causado pela presença de uma camada de ar entre as pastilhas cerâmicas e sua base, funcionando como barreira ao fluxo de calor que atravessa a fachada.

A Figura 41 mostra a fachada do segundo pavimento e seu respectivo termograma, com escala de temperatura entre 20ºC e 30ºC. Na inspeção visual foi identificado o descolamento das pastilhas cerâmicas em processo avançado, fato claramente visível através do comportamento térmico da região (Figura 41b). A variação de temperatura entre as regiões com e sem o defeito de descolamento (ΔT) foi de 1,1ºC.

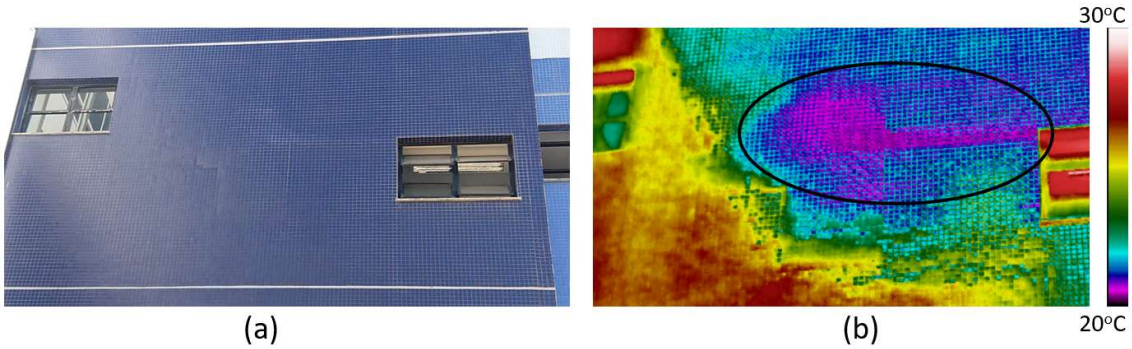


Figura 41: Imagem da fachada do segundo pavimento (a) e o termograma correspondente no ciclo de resfriamento (b).

A figura 42 mostra a fachada do terceiro pavimento e seu respectivo termograma, com escala de temperatura entre 20ºC e 30ºC. Na inspeção visual não foi identificado o descolamento do revestimento cerâmico, contudo, no termograma da Figura 42b notam-se quatro regiões com temperatura abaixo da temperatura de entorno, nomeadas como A, B, C e D.

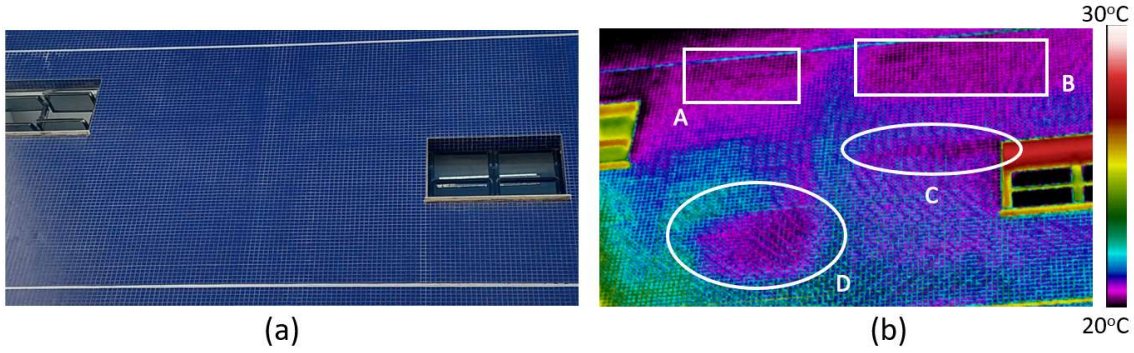


Figura 42: Imagem da fachada do terceiro pavimento (a) e o termograma correspondente no ciclo de resfriamento (b).

Analisando o contorno de cada uma delas, percebeu-se que a região A não apresentou limites bem definidos, enquanto nas regiões C e D a definição do contorno é visível. Para a região B, identificou-se a estrutura existente sob o revestimento, confirmada pela planta estrutural, o que pôde explicar a diferença de temperatura entre as regiões, devido às diferentes propriedades térmicas da alvenaria e do concreto.

Para cada área supracitada foram calculados os valores de ΔT, indicando a diferença de temperatura entre a região com suspeita de descolamento e sua região vizinha. Valores estes que ficaram próximos entre si (Tabela 8).

Tabela 8: Valores de ΔT para os ciclos de resfriamento e aquecimento, do terceiro pavimento.

Ciclo	**Área A**	**Área B**	**Área C**	**Área D**
Resfriamento	-0,5 ºC	-0,7 ºC	-0,7 ºC	-0,8 ºC
Aquecimento	0,0 ºC	0,2 ºC	0,9 ºC	1,4 ºC

Assim, com os dados apresentados acima, percebe-se que as regiões C e D apresentam comportamento compatível com a existência de descolamento de pastilhas cerâmicas, enquanto para a região A ficou inconclusiva a existência do defeito, devido à falta de limites entre as regiões com diferentes temperaturas, sendo necessária outra abordagem para sua definição.

A primeira opção foi extrair termogramas com posicionamentos diferentes, alterando o ângulo de visão horizontal, conforme ilustrado na Figura 27. A sequência de termogramas apresentada na Figura 43 confirmou a presença de descolamento nas regiões C e D identificadas anteriormente (Figura 43c), como pode ser visto em destaque. Nota-se, contudo, a presença das regiões A e B, que geraram dúvida durante a detecção dos defeitos do terceiro pavimento, com o mesmo formato apresentado anteriormente (Figura 42b).

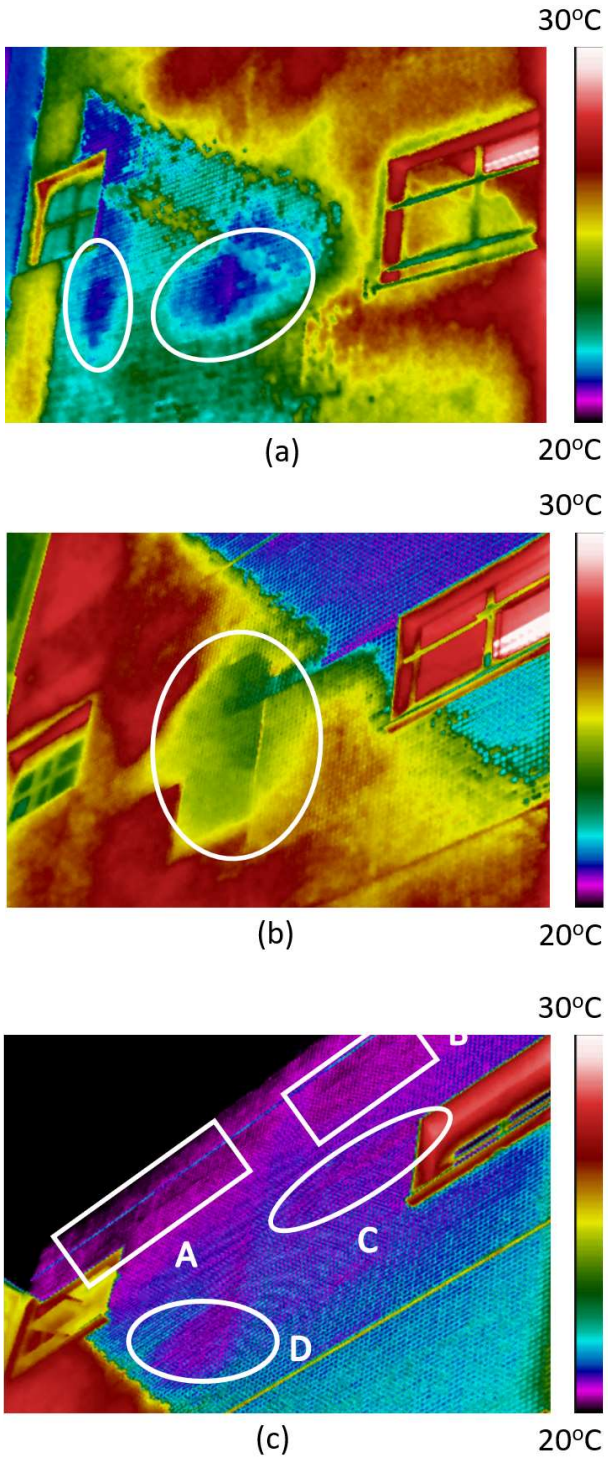


Figura 43: Termogramas extraídos com ângulo horizontal de 49,2º do primeiro (a), segundo (b) e terceiro pavimento (c).

Para a sequência de termogramas apresentada na Figura 43, nota-se ainda a influência da reflexão da passarela metálica, que pode ser vista na Figura 44, existente na lateral da fachada norte. Essa reflexão foi identificada através das regiões com temperatura mais elevada em relação ao seu entorno, sendo visíveis na forma de

manchas avermelhadas nos três pavimentos (Figura 43a – região superior direita. Figura 43b – regiões esquerda, central e inferior. Figura 43c – região inferior esquerda).

Figura 44: Imagem do Prédio Anexo Hospitalar e passarela metálica ligando a fachada norte ao Prédio Principal do HU. Fonte: DIPRO/UFS.

Tratando-se de uma área localizada a aproximadamente 16 metros de altura, e não havendo disponível equipamento adequado para alcançar a região, a opção de executar o ensaio de martelo a percussão foi descartada. Assim, a segunda opção foi extrair termogramas no ciclo de aquecimento da fachada para conhecer o comportamento térmico nesta situação, porém, evitando a incidência solar direta (Figura 45).

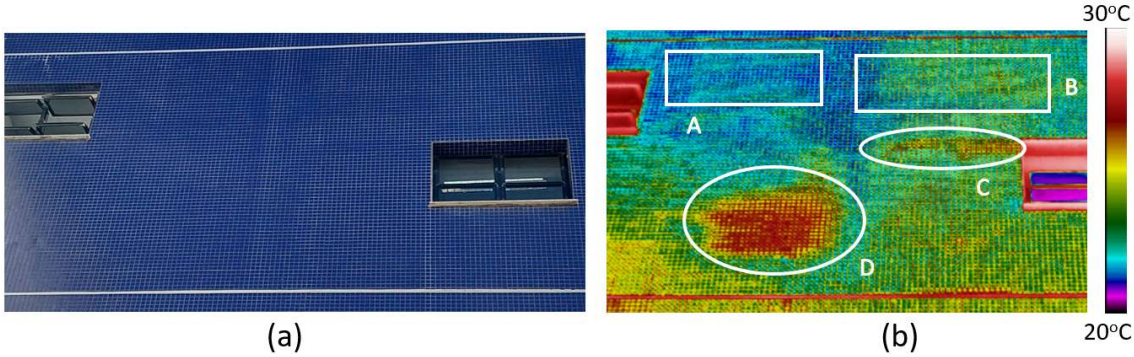


Figura 45: Imagem da fachada do terceiro pavimento (a) e o termograma correspondente no ciclo de aquecimento (b).

Conforme Tabela 8, as regiões C e D apresentaram valores de ΔT significativos, confirmando a existência do defeito, conforme sugerido anteriormente. Para as regiões A e B os valores de ΔT não foram significativos, o que era esperado caso houvesse

vazio entre as pastilhas e sua base. Comparando ainda com os valores de ∆T obtidos no ciclo de resfriamento, tendo as quatro regiões valores muito próximos entre si (em torno de 0,7ºC), esperava-se para o ciclo de aquecimento valores também muito próximos entre si, o que não ocorreu entre as regiões A-B (em torno de 0,1ºC) e C-D (em torno de 1,1ºC). Assim, a existência de defeito para as regiões A e B foram descartadas.

Para finalizar a avaliação em campo foram extraídos termogramas com a câmera E40 seguindo o mesmo posicionamento utilizado inicialmente com a câmera T640sc, conforme Figura 26. O intuito foi avaliar a capacidade da câmera E40 na detecção dos defeitos, uma vez que esta possui menor resolução quando comparada ao modelo T640sc, conforme detalhado na Tabela 3.

A Figura 46 apresenta os termogramas dos três pavimentos, com as áreas danificadas em destaque. Apesar de fornecer menor nitidez de detalhes e contornos levemente prejudicados, as regiões com descolamento também foram identificadas nas imagens térmicas obtidas com a câmera E40.

Além da avaliação visual, para efeito comparativo, a Tabela 9 apresenta os valores de ∆T obtidos através dos termogramas extraídos com cada modelo de câmera utilizado. Notou-se que a diferença entre os resultados não foi significativa, portanto, a menor resolução da câmera E40 não invalidou sua utilização para a identificação, localização e definição das áreas afetadas pelo descolamento de pastilhas cerâmicas para esta pesquisa.

Tabela 9: Valores de ∆T para as regiões de descolamento, por modelo de câmera.

Câmera	1P-1	1P-2	2P-1	3P-1	3P-2
T640sc	-0,5ºC	-0,9ºC	-1,1ºC	-0,7ºC	-0,8ºC
E40	-0,6ºC	-1,0ºC	-1,0ºC	-0,6ºC	-0,8ºC

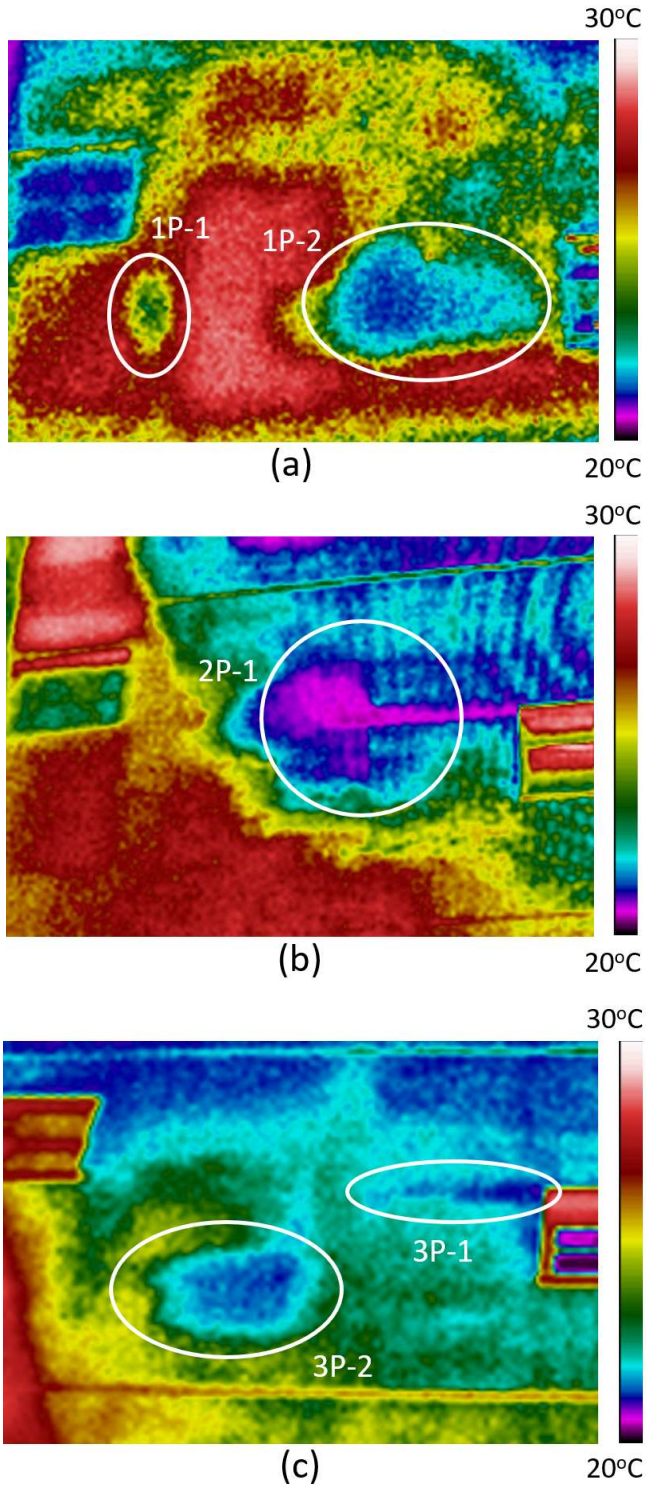


Figura 46: Termogramas obtidos com a câmera E40 do primeiro (a), segundo (b) e terceiro pavimento (c), com indicação de regiões com descolamento.

Após concluída a inspeção da fachada do prédio Anexo Hospitalar, foi entregue ao Setor de Infraestrutura Física do Hospital Universitário de Sergipe - UFS/EBSERH um relatório com a indicação e a localização das áreas detectadas com descolamento de pastilhas cerâmicas (Anexo B). No início do mês de dezembro de 2019, pouco mais

de um mês após a inspeção ter sido realizada, o processo de manutenção corretiva começou a ser executado. Todas as áreas com descolamento de pastilhas cerâmicas identificadas com a utilização da termografia foram confirmadas. O correto direcionamento para as regiões danificadas, restringindo as ações apenas para as áreas realmente necessárias, diminuiu o tempo e o custo da intervenção, além de ter evitado a queda do material solto, protegendo o usuário de possíveis acidentes (Figura 47).

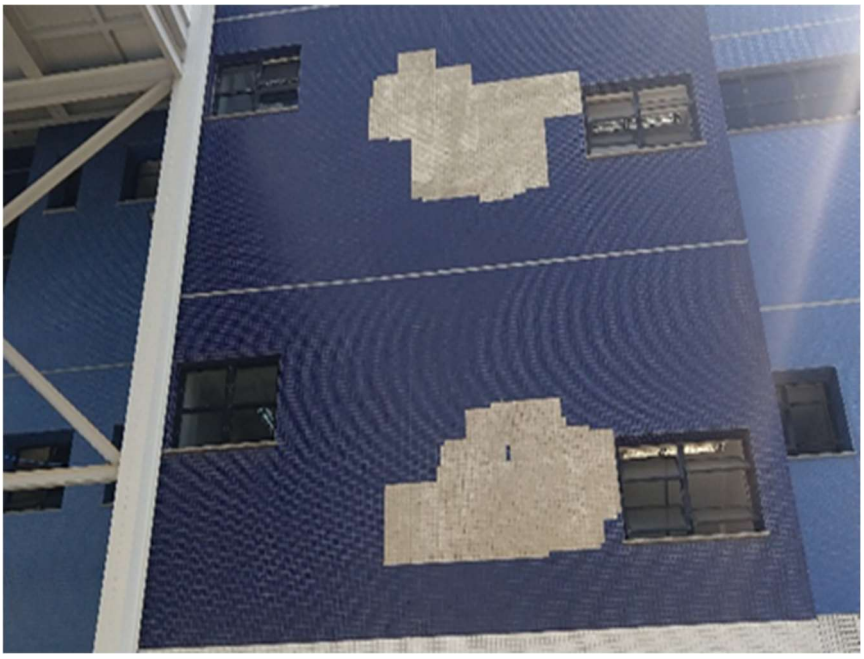


Figura 47: Fachada do prédio Anexo Hospitalar durante o processo de manutenção, com a retirada das pastilhas cerâmicas descoladas.

Os resultados deste trabalho mostraram que a correta utilização da termografia para a inspeção de fachadas proporciona:

- economia de mão de obra, pois apenas um profissional foi necessário para realizar a inspeção ao invés de uma equipe treinada para trabalho em altura;
- economia com locação de equipamentos de trabalho em altura, ficando sua utilização restrita apenas para o momento da manutenção;
- diminuição de transtorno aos usuários, não necessitando de isolamento do entorno da edificação no momento da inspeção;
- direcionamento dos serviços de manutenção corretiva para as áreas realmente necessárias, gerando agilidade e rapidez na conclusão dos serviços;
- Redução de riscos e preservação à vida, uma vez que as análises podem ser realizadas sem a necessidade de mão de obra para trabalhos em altura.

6 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia confiável para inspeção de fachadas com revestimento cerâmico utilizando a termografia infravermelha.

Foi estudado o comportamento térmico do revestimento cerâmico com e sem descolamento da base, no ciclo de resfriamento. A região da falha apresentou temperatura menor em relação à região íntegra.

Foram analisados os fatores importantes para a aplicação da técnica termográfica, onde percebeu-se que a emissividade, o tamanho do defeito e ângulo de visão entre a câmera termográfica e a superfície influenciaram significativamente os valores de ΔT.

A cor influenciou nos valores de ΔT, porém não é um fator que possa ser modificado no momento da inspeção.

O tamanho do defeito influenciou nos valores de ΔT, sendo os maiores defeitos mais facilmente identificados devido à resistência térmica que causam ao fluxo de calor.

O ângulo de visão a 60º apresentou diferença significativa para os valores de ΔT em comparação com os ângulos de 0^{o} e 30º, não fornecendo resultados com confiabilidade.

O menor defeito detectado neste trabalho foi de 10 cm, a distância máxima de 10 metros e ângulo de visão máximo de 30º.

Câmeras termográficas com características iguais ou superiores as da câmera FLIR E40 são eficientes na detecção de descolamento de revestimento cerâmico a partir de 2 mm de espessura.

Apesar das limitações e cuidados necessários para proceder com a inspeção de fachadas utilizando a termografia infravermelha, sua aplicação auxiliou a equipe do Setor de Infraestrutura Física do Hospital Universitário de Sergipe - UFS/EBSERH na execução da manutenção corretiva da fachada do Prédio Anexo Hospitalar, mostrando-se uma técnica segura, rápida e confiável para ser incluída na rotina de inspeção periódica do órgão, demais setores da Universidade e outras instituições púbicas de interesse social.

7 SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Desenvolvimento de metodologia para inspeção de fachadas para outros tipos de manifestações patológicas, utilizando a termografia infravermelha;
- Desenvolvimento de metodologia para utilização de drones em inspeção de fachadas com termografia infravermelha;
- Análise da influência de diversas cores do espectro nos valores de ΔT, na detecção de manifestações patológicas utilizando a termografia infravermelha.
- Aplicação de outras tecnologias de Ensaios não Destrutivos com vistas para a melhoria dos programas de inspeção e manutenção de estruturas e edificações públicas de interesse social;
- Determinação de características mínimas de câmeras termográficas utilizadas para inspeção em fachadas;
- Detecção de descolamento de revestimento cerâmico através do processamento de imagens sequenciais;
- Difusão da cultura de Manutenção Preditiva, com base nos conceitos da tecnologia de materiais e análise pericial com vistas para a promoção do uso racional de recursos e insumos no sistema público nacional.

8 REFERÊNCIAS

1. MARTINS, C. O. D.; SOUZA, R. R.; LIMA, T. R. S.; REGULY, A. "Desenvolvimento de metodologias de inspeção e monitoramento de risers flexíveis através de técnicas micromagnéticas de análise de tensões". **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 16, 2011.

2. MIX, P. E. **Introduction to Nondestructive Testing:** A Trainig Guide. New Jersey: Jonh Wiley & Sons, 2005.

3. TÉCNICAS, A. B. D. N. **NBR 15.575: Edificações Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro. 2013.

4. ANTUNES, G. R. **Estudo de Manifestações Patológicas em Revestimento de Fachadas em Brasilia - Sistematização da Incidência de Casos**. Brasília: UNB, M.Sc., 2010.

5. GLOBO, O. "Jovem é atingida por parte de varanda de prédio do Leblon, na Zona Sul". **O Globo**, 2019. Disponivel em: <https://oglobo.globo.com/rio/jovem-atingida-por-parte-de-varanda-de-predio-do-leblon-na-zona-sul-23504953>. Acesso em: 25 junho 2019.

6. LORENZI, L. S.; SILVA FILHO, L. C. P. "Impacto da Aplicação da ABNT NBR 15575 Para os Projetos de Edificações". **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Maceió, p. 2372-2382, Novembro 2014.

7. TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. **Inspeção, Diagnóstico e Prognóstico na Construção Civil**. Mérida, México: Alconpat, 2013.

8. BRITO, T. F.; MOURA, P. G. T.; LIMA, E. E. P. "Análise de Manifestações Patológicas na Construção Civil: Estudo de Caso em uma Instituição Pública de Ensino Superior". **CONPAR**, Recife, Ago 2017.

9. FIESS, J. R. F.; OLIVEIRA, L. A.; BIANCHI, A. C.; THOMAZ, E. "Causas da Ocorrência de Manifestações Patológicas em Conjuntos Habitacionais do Estado de São Paulo". **I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construido**, São Paulo, Julho 2004.

10. MORESCO, J.; BORDIN, F.; VERONEZ, M. R.; KULAKOWSKY, M. P. "Termografia Infravermelha na Detecção de Manifestações Patológicas em Fachadas com Revestimento Argamassado". **Anais do 11º Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas - ALCONPAT**, São Leopoldo, janeiro 2015.

11. THOMAZ, É. **Trincas em Edifícios:** Causas, Prevenção e Recuperação. 1ª. ed. São Paulo: Pini, 1989.

12. MARCELLI, M. **Sinistros na Construção Civil**. 1ª. ed. São Paulo: Pini, 2007.

13. CECHINEL, B. M.; VIEIRA, F. L.; MANTELLI, P.; TONEL, S. "Infiltração em Alvenaria - Estudo de Caso em Edifício na Grande Florianópolis". **Caderno de Publicações Acadêmicas**, Santa Catarina, v. 1, p. 18-24, 2009.

14. SOUZA, M. F. **Patologias Ocasionadas pela Umidade nas Edificações**. Belo Horizonte: UFMG, Especialização, 2008.

15. FREITAS, J. G. D.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. "Utilização de Termografia Infravermelha para Avaliação de Fissuras em Fachadas com Revestimento de Argamassa e Pintura". **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, p. 57-73, jan/mar 2014.

16. LIMA, L. R.; AUGUSTO, R. D.; SANTOS, S. X. "Análise das Manifestações Patológicas em Sistemas de Revestimento Argamassados a Base de Cimento Portland: Uma Análise Teórica de Correlação". **Revista Construindo**, Belo Horizonte, Jul-Dez 2017. 1-12.

17. OLIVEIRA, A. M. S. S.; TERRIBELE, A. B.; SWIDERSKI, B.; OLIVEIRA, R. R. "Classificação do Estado de conservação de Fachadas de Edificações Públicas". **E&S Engineering and Science**, Cascavel/PR, v. 3, n. 7, p. 42-57, 2018.

18. BRIQUE, S. K. **Emprego da Termografia Infravermelha no Diagnóstico de Falhas de Aderência de Peças Cerâmicas Utilizadas em Fachadas de Edifícios**. Florianópolis: UFSC, M.Sc., 2016.

19. TERRA, R. C. **Levantamento de Manifestações Patológicas em Revestimentos de Fachadas das Edificações da Cidade de Pelotas**. Porto Alegre: UFRGS, M.Sc., 2001.

20. ISRAEL, M. C. **Ensaios Não Destrutivos Aplicados à Avaliação de Revestimentos de Argamassa**. São Paulo: POLI-USP, M.Sc., 2016.

21. TÉCNICAS, A. B. D. N. **Revestimentos Cerâmicos de Fachadas e Paredes Externas com Utilização de Argamassa Colante - Projeto, Execução,Inspeção e Aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2017.

22. LORENZI, A.; SILVA FILHO, L. C. P.; CAETANO, L. F.; LORENZI, L. S. "Monitoramento de estruturas de concreto através de ensaios de velocidade de propagação do pulso ultra-sônico". **Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto**, Curitiba, p. 1-13, Outubro 2009.

23. CASTRO, P. F. "A Industria da Construção Civil: Evolução Constante". **Revista Abendi**, n. 32, p. 28-38, Junho 2009.

24. ALVES, A. "Construção Civil: Desafio Diário". **Revista Abendi**, n. 75, p. 24-31, Agosto 2016.

25. ALVES, A. "O valor dos ENDs nas Áreas de Construção Civil e Saneamento". **Revista Abendi**, n. 68, p. 32-41, Junho 2015.

26. TÉCNICAS, A. B. D. N. **Confiabilidade e Mantenabilidade**. Rio de Janeiro. 1994.

27. ECIVILUFES. Manutenção de obras: Um problema cultural. **Ecivilufes**, 2012. Disponivel em: <https://ecivilufes.wordpress.com/2012/05/03/manutencao-de-obras-um-problema-cultural/>. Acesso em: 03 janeiro 2020.

28. FREITAS, S. S. D.; FREITAS, V. P.; BARREIRA, E. "Detection of façade plaster detachments using infrared thermography – A nondestructive technique". **Construction and Buildings Materials**, v. 70, p. 80-87, nov. 2014.

29. KYLILI, A.; FOKAIDES, P. A.; CHRITOU, P.; KALOGIROU, S. A. "Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review". **Applied Energy**, v. 134, p. 531-549, 2014.

30. BAGAVATHIAPPAN, S.; LAHIRI, B. B.; SARAVANAN, T.; PHILIP, J.; JAYAKUMAR, T. "Infrared Thermography for Condition Monitoring – A review". **Infrared Physics & Technology**, Tamil Nadu, 24 Mar 2013.

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

32. BERGMAN, T. L.; LANIVE, A. S. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 7ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

33. NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica - Fluidos, Oscilações e ondas, Calor**. Rio de Janeiro: Blucher, v. 2, 1997.

34. MALDAGUE, X. **Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing**. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2001.

35. MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N.; BOETTNER, D. D.; BAILEY, M. B. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. 7a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

36. LEITE, D. O.; PRADO, R. J. "Espectroscopia no Infravermelho: Uma Apresentação para o Ensino Médio". **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Cuiabá, v. 34, Jun 2012.

37. HELLIER, C. J. **Handbook of Nondestructive Evaluation**. New York: McGraw-Hill, 2003.

38. BAUER, E.; CASTRO, E. K.; OLIVEIRA FILHO, A. H.; PAVÓN, E. A. "Critério para Aplicação da Termografia de Infravermelho Passiva como Técnica Auxiliar ao Diagnóstico de Patologias em Fachadas de Edifícios". **1° Encontro Luso-Brasileiro de Degradação em Estruturas de Concreto Armado**, Salvador, agosto 2014.

39. BAUER, E.; PAVON, E. "Termografia de Infravermelho na Identificação e Avaliação de Manifestações Patológicas em Edifícios". **Concreto e Construções**, v. 79, p. 93-98, 2015.

40. FOX, M.; COLEY, D.; GOODHEW, S.; DE WILDE, P. "Time-lapse Thermography for Building Defect Detection". **Energy & Buildings**, v. 92, p. 95-106, Abril 2015.

41. LI, Z.; YAO, W.; LEE, S.; LEE, C.; YANG, Z. "Application of Infrared Thermography Technique in Building Finish Evaluation". **Journal of Nondestructive Evaluation**, v. 19, Mar 2000.

42. BAUER, E.; PAVÓN, E.; HILDENBERG, A. "Erros na Utilização de Parâmetros Termográficos da Argamassa e da Cerâmica na Detecção de Anomalias em

Revestimentos". **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, Porto Alegre, 28-30 abril 2015.

43. LOURENÇO, T.; MATIAS, L.; FARIA, P. "Anomalies Detection in Adhesive Wall Tiling Systems by Infrared Thermography". **Construction and Building Materials**, Caparica/Portugal, 2017. 419-428.

44. BARREIRA, E.; ALMEIDA, R. M. S. F.; DELGADO, J. M. P. Q. "Infrared Thermography for Assessing Moisture Related Phenomena in Building Components". **Construction and Building Materials**, v. 110, p. 251–269, Maio 2016.

45. MILHOMEM, P. M.; AIDAR, L. A. G.; BAUER, E. "Estudo da Evolução da Temperatura nas Regiões das Fachadas com Termografia". **6ª Conferência sobre patologia e reabilitação de edifícios - PATORREB**, Rio de Janeiro, Abril 2018.

46. LITWA, M. "Influence of angle of view on temperature measurements using thermovision camera". **IEEE Sensors Journal**, out 2010. 1552-1554.

47. MENEGON, J.; LORENZI, L. S.; REGINATO, L. A.; LORENZI, A.; GRAEFF, A. G.; SILVA FILHO, L. C. P. "Análise de Paredes de Alvenaria Estrutural Através da Termografia Infravermelha". **Alconpat**, Campo Grande, Abr 2018.

48. MENEGON, J.; REGINATO, L. A.; LORENZI, A.; GRAEFF, A. G.; SILVA FILHO, L. C. P. "Alvenaria Estrturural sob Ação de Altas Temperaturas: Comparação de Diferentes Blocos através de Termografia Infravermelha". **Anais do 4o Congresso Ibero-Latino-Americano sobre Segurança contra Incêndio**, Recife, 2017.

49. TAKEDA, O. T.; MAZER, W. "Potencial da Análise Termográfica para Avaliar Manifestações Patológicas em Sistemas de Revestimentos de Fachadas". **ALCONPAT**, p. 38-50, Jan 2018.

50. BAUER, E.; PAVON, E. "Análise da Fissuração de Revestimento em Argamassa com o Emprego da Termografia de Infravermelho". **Anais do XII SBTA**, São Paulo, 22-24 Ago 2017.

51. MENDES, L. A. C. D.; NASCIMENTO, T. E. G.; CARVALHO, E. M.; MARTINS, C. O. D. "Análise da influência dos parâmetros de controle na sensibilidade da termografia aplicada na detecção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos". **VI Encontro da rede PDIMat**, João Pessoa, 9-11 Out 2018.

52. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE. "Medicina comemora 50 anos com programação ao londo do ano". **Universidade Federal de Sergipe**, 2011. Disponivel em: <http://www.ufs.br/conteudo/1611-medicina-comemora-50-anos-com->. Acesso em: 26 ago. 2019.

53. SILVA, A. M. . V. A. P. L.; COSTA JÚNIOR, E. A.; AL, E. **Plano Diretor Estratégico do Hospital Universitário da Universidade Federal de Sergipe**. São Paulo: Instituto Sírio-Libanês de Ensino e Pesquisa, Especialização, 2016.

54. FLIR. https://www.flir.com/globalassets/imported-assets/document/flir-t6xx-series-user-manual.pdf. **FLIR**. Acesso em: 13 jun. 2019.

55. NASCIMENTO, I. M. S.; SILVA, D. L.; SANTOS, C.; GALINDO, A. L. "Levantamento e Análise das Manifestações Patológicas em Unidades de Saúde da Cidade do Paulista/PE: Estudo de Caso". **Conferencia Nacional de Patologia e Recuperação de Estruturas - CONPAR**, Recife, Agosto 2017.

56. LORENZI, A.; REGINATO, L. A,; LORENZI, L. S.; SILVA FILHO, L. C. P. "Emprego de Ensaios Não Destrutivos para Inspeção de Estruturas em Concreto". **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 3, p. 3-13, jan-jun 2016.

57. GOMIDE, T. L. F.; FAGUNDES NETO, J. C. P.; GULLO, M. A. **Engenharia Diagnóstica em Edificações**. 1ª edição. ed. São Paulo: Pini, 2009.

58. BAUER, E.; PAVÓN, E,; BARREIRA, E.; CASTRO, E. K. "Analysis of building facade defects using infrared thermography: Laboratory studies". **Journal of Building Engineering**, Porto, p. 93-104, fevereiro 2016.

ANEXO A

Tabela de dados utilizados para análise de variância (ANOVA)

Legenda:

brc – pastilha de cor branca.

cnz – pastilha de cor cinza.

vdr – pastilha de cor verde.

Tam – tamanho do defeito, em centímetros.

Dist – distância entre a câmera e a superfície do corpo de prova, em metros.

Ang – ângulo de visão entre a câmera e a superfície do corpo de prova, em graus.

ΔT – média dos valores de ΔT entre 10 e 30 minutos, em ^{o}C.

Cor	Tam	Dist	Ang	ΔT
brc	5	1	0	-0.38
brc	5	1	30	-0.52
brc	5	1	60	-0.60
brc	5	2	0	-0.24
brc	5	2	30	-0.18
brc	5	2	60	-0.58
brc	5	3	0	-0.2
brc	5	3	30	-0.18
brc	5	3	60	-0.50
brc	10	1	0	-0.34
brc	10	1	30	-0.40
brc	10	1	60	-0.40
brc	10	2	0	-0.34
brc	10	2	30	-0.40
brc	10	2	30	-0.62
brc	10	2	30	-0.64
brc	10	2	60	-0.40
brc	10	3	0	-0.32
brc	10	3	30	-0.46
brc	10	3	60	-0.38
brc	15	1	0	-0.24
brc	15	1	30	-0.40
brc	15	1	60	-0.30
brc	15	2	0	-0.16
brc	15	2	30	-0.40
brc	15	2	60	-0.36
brc	15	3	0	-0.16
brc	15	3	30	-0.36
brc	15	3	60	-0.34
cnz	5	1	0	NA
cnz	5	1	30	-0.30

Cor	Tam	Dist	Ang	ΔT
brc	15	1	60	-0.16
brc	15	2	60	-0.1
brc	15	3	60	-0.14
cnz	5	1	0	-0.02
cnz	5	2	0	-0.2
cnz	5	3	0	-0.24
cnz	5	1	30	-0.22
cnz	5	2	30	-0.22
cnz	5	3	30	-0.22
cnz	5	1	60	-0.1
cnz	5	2	60	-0.18
cnz	5	3	60	-0.14
cnz	5	1	0	-0.52
cnz	5	2	0	-0.46
cnz	5	3	0	-0.4
cnz	5	1	30	-0.18
cnz	5	2	30	-0.14
cnz	5	3	30	-0.16
cnz	5	1	60	-0.04
cnz	5	2	60	-0.04
cnz	5	3	60	-0.06
cnz	5	1	0	-0.2
cnz	5	2	0	0
cnz	5	3	0	-0.14
cnz	5	1	30	-0.2
cnz	5	2	30	-0.22
cnz	5	3	30	-0.16
cnz	5	1	60	-0.2
cnz	5	2	60	-0.14
cnz	5	3	60	-0.08
cnz	10	1	0	-0.4

cnz	5	1	60	-0.30
cnz	5	2	0	-0.20
cnz	5	2	30	-0.20
cnz	5	2	60	-0.22
cnz	5	3	0	-0.18
cnz	5	3	30	-0.18
cnz	5	3	60	-0.20
cnz	10	1	0	-0.68
cnz	10	1	30	-0.20
cnz	10	1	60	-0.24
cnz	10	2	0	-0.68
cnz	10	2	30	-0.22
cnz	10	2	30	-0.7
cnz	10	2	30	-0.7
cnz	10	2	60	-0.26
cnz	10	3	0	-0.64
cnz	10	3	30	-0.26
cnz	10	3	60	-0.20
cnz	15	1	0	-0.20
cnz	15	1	30	-0.24
cnz	15	1	60	-0.20
cnz	15	2	0	-0.28
cnz	15	2	30	-0.34
cnz	15	2	60	-0.20
cnz	15	3	0	-0.28
cnz	15	3	30	-0.26
cnz	15	3	60	-0.22
vrd	5	1	0	-0.36
vrd	5	1	30	-0.40
vrd	5	1	60	-0.40
vrd	5	2	0	-0.38
vrd	5	2	30	-0.40
vrd	5	2	60	-0.34
vrd	5	3	0	-0.36
vrd	5	3	30	-0.36
vrd	5	3	60	-0.28
vrd	10	1	0	-0.62
vrd	10	1	30	-0.44
vrd	10	1	60	-0.38
vrd	10	2	0	-0.62
vrd	10	2	30	-0.60
vrd	10	2	30	-0.76
vrd	10	2	30	-0.78
vrd	10	2	60	-0.46
vrd	10	3	0	-0.56
vrd	10	3	30	-0.56

cnz	10	2	0	-0.32
cnz	10	3	0	-0.38
cnz	10	1	30	-0.14
cnz	10	2	30	-0.12
cnz	10	3	30	-0.08
cnz	10	1	60	-0.38
cnz	10	2	60	-0.4
cnz	10	3	60	-0.38
cnz	10	1	0	-0.18
cnz	10	2	0	-0.22
cnz	10	3	0	-0.22
cnz	10	1	30	-0.2
cnz	10	2	30	-0.24
cnz	10	3	30	-0.2
cnz	10	1	60	-0.24
cnz	10	2	60	-0.2
cnz	10	3	60	-0.18
cnz	10	1	0	-0.36
cnz	10	2	0	-0.32
cnz	10	3	0	-0.3
cnz	10	1	30	-0.5
cnz	10	2	30	-0.44
cnz	10	3	30	-0.48
cnz	10	1	60	-0.4
cnz	10	2	60	-0.42
cnz	10	3	60	-0.44
cnz	15	1	0	-0.26
cnz	15	2	0	-0.38
cnz	15	3	0	-0.3
cnz	15	1	30	-0.28
cnz	15	2	30	-0.32
cnz	15	3	30	-0.28
cnz	15	1	60	-0.2
cnz	15	2	60	-0.24
cnz	15	3	60	-0.18
cnz	15	1	0	-0.14
cnz	15	2	0	-0.06
cnz	15	3	0	-0.2
cnz	15	1	30	-0.18
cnz	15	2	30	-0.14
cnz	15	3	30	-0.08
cnz	15	1	60	-0.18
cnz	15	2	60	-0.08
cnz	15	3	60	0
cnz	15	1	0	-0.1
cnz	15	2	0	-0.28

vrd	10	3	60	-0.52
vrd	15	1	0	-0.20
vrd	15	1	30	-0.20
vrd	15	1	60	-0.10
vrd	15	2	0	-0.20
vrd	15	2	30	-0.18
vrd	15	2	60	-0.20
vrd	15	3	0	-0.16
vrd	15	3	30	-0.14
vrd	15	3	60	-0.10
brc	5	1	0	-0.26
brc	5	2	0	-0.34
brc	5	3	0	-0.42
brc	5	1	30	-0.36
brc	5	2	30	-0.42
brc	5	3	30	-0.34
brc	5	1	60	-0.24
brc	5	2	60	-0.28
brc	5	3	60	-0.2
brc	5	1	0	-0.3
brc	5	2	0	-0.24
brc	5	3	0	-0.5
brc	5	1	30	-0.28
brc	5	2	30	-0.2
brc	5	3	30	-0.18
brc	5	1	60	-0.18
brc	5	2	60	-0.16
brc	5	3	60	-0.06
brc	5	1	0	-0.34
brc	5	2	0	-0.22
brc	5	3	0	-0.12
brc	5	1	30	-0.14
brc	5	2	30	-0.08
brc	5	3	30	-0.1
brc	5	1	60	-0.14
brc	5	2	60	-0.06
brc	5	3	60	-0.04
brc	10	1	0	-0.4
brc	10	2	0	-0.34
brc	10	3	0	-0.28
brc	10	1	30	-0.48
brc	10	2	30	-0.44
brc	10	3	30	-0.46
brc	10	1	60	-0.38
brc	10	2	60	-0.34
brc	10	3	60	-0.34

cnz	15	3	0	-0.34
cnz	15	1	30	-0.26
cnz	15	2	30	-0.26
cnz	15	3	30	-0.34
cnz	15	1	60	-0.22
cnz	15	2	60	-0.24
cnz	15	3	60	-0.26
vrd	5	1	0	-0.28
vrd	5	2	0	-0.28
vrd	5	3	0	-0.24
vrd	5	1	30	-0.26
vrd	5	2	30	-0.26
vrd	5	3	30	-0.22
vrd	5	1	60	-0.1
vrd	5	2	60	-0.12
vrd	5	3	60	-0.12
vrd	5	1	0	-0.08
vrd	5	2	0	-0.1
vrd	5	3	0	-0.02
vrd	5	1	30	-0.06
vrd	5	2	30	-0.06
vrd	5	3	30	-0.04
vrd	5	1	60	-0.1
vrd	5	2	60	-0.04
vrd	5	3	60	0
vrd	5	1	0	-0.34
vrd	5	2	0	-0.36
vrd	5	3	0	-0.32
vrd	5	1	30	-0.36
vrd	5	2	30	-0.84
vrd	5	3	30	-0.32
vrd	5	1	60	-0.3
vrd	5	2	60	-0.24
vrd	5	3	60	-0.12
vrd	10	1	0	-0.7
vrd	10	2	0	-0.74
vrd	10	3	0	-0.68
vrd	10	1	30	-0.64
vrd	10	2	30	-0.64
vrd	10	3	30	-0.68
vrd	10	1	60	-0.54
vrd	10	2	60	-0.56
vrd	10	3	60	-0.54
vrd	10	1	0	-0.36
vrd	10	2	0	-0.38
vrd	10	3	0	-0.34

brc	10	1	0	-0.42
brc	10	2	0	-0.38
brc	10	3	0	-0.46
brc	10	1	30	-0.52
brc	10	2	30	-0.58
brc	10	3	30	-0.56
brc	10	1	60	-0.5
brc	10	2	60	-0.5
brc	10	3	60	-0.48
brc	10	1	0	-0.58
brc	10	2	0	-0.22
brc	10	3	0	-0.12
brc	10	1	30	-0.36
brc	10	2	30	-0.3
brc	10	3	30	-0.32
brc	10	1	60	-0.32
brc	10	2	60	-0.3
brc	10	3	60	-0.28
brc	15	1	0	-0.18
brc	15	2	0	-0.16
brc	15	3	0	-0.12
brc	15	1	30	-0.14
brc	15	2	30	-0.2
brc	15	3	30	-0.2
brc	15	1	60	-0.2
brc	15	2	60	-0.18
brc	15	3	60	-0.16
brc	15	1	0	-0.12
brc	15	2	0	-0.1
brc	15	3	0	0
brc	15	1	30	-0.22
brc	15	2	30	-0.12
brc	15	3	30	-0.04
brc	15	1	60	-0.06
brc	15	2	60	-0.06
brc	15	3	60	-0.04
brc	15	1	0	-0.2
brc	15	2	0	-0.2
brc	15	3	0	-0.28
brc	15	1	30	-0.2
brc	15	2	30	-0.24
brc	15	3	30	-0.18

vrd	10	1	30	-0.38
vrd	10	2	30	-0.4
vrd	10	3	30	-0.36
vrd	10	1	60	-0.4
vrd	10	2	60	-0.34
vrd	10	3	60	-0.3
vrd	10	1	0	-0.42
vrd	10	2	0	-0.32
vrd	10	3	0	-0.28
vrd	10	1	30	-0.9
vrd	10	2	30	-0.4
vrd	10	3	30	-0.34
vrd	10	1	60	-0.38
vrd	10	2	60	-0.36
vrd	10	3	60	-0.26
vrd	15	1	0	-0.26
vrd	15	2	0	-0.16
vrd	15	3	0	-0.16
vrd	15	1	30	-0.18
vrd	15	2	30	-0.16
vrd	15	3	30	-0.14
vrd	15	1	60	-0.14
vrd	15	2	60	-0.16
vrd	15	3	60	-0.04
vrd	15	1	0	-0.32
vrd	15	2	0	-0.3
vrd	15	3	0	-0.28
vrd	15	1	30	-0.28
vrd	15	2	30	-0.26
vrd	15	3	30	-0.24
vrd	15	1	60	-0.22
vrd	15	2	60	-0.24
vrd	15	3	60	-0.12
vrd	15	1	0	-0.18
vrd	15	2	0	-0.22
vrd	15	3	0	-0.14
vrd	15	1	30	-0.26
vrd	15	2	30	-0.24
vrd	15	3	30	-0.18
vrd	15	1	60	-0.24
vrd	15	2	60	-0.22
vrd	15	3	60	-0.1

ANEXO B

Relatório de inspeção entregue ao Setor de Infraestrutura Física do Hospital Universitário de Sergipe - UFS/EBSERH

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO EM FACHADA

Local: Prédio Anexo Hospitalar

Responsável: Engª. Lídia Couto

Data: 18/10/2019

O prédio Anexo Hospitalar faz parte do complexo do Hospital Universitário de Sergipe - UFS/EBSERH, localizado à rua Claudio Batista, 505 – Bairro Palestina, Aracaju/SE. A edificação é composta por 4 pavimentos, sendo Térreo+3.

Foi feita a inspeção das fachadas desta edificação através da técnica da termografia infravermelha, utilizada para identificação de áreas com descolamento de pastilhas cerâmicas não perceptíveis na inspeção visual.

A metodologia utilizada seguiu os seguintes passos:

1) Varredura de toda a fachada utilizando a câmera termográfica para identificação prévia de regiões com suspeita de descolamento;
2) Extração de termogramas das áreas suspeitas com distâncias e ângulos de visão controlados, no ciclo de resfriamento das fachadas;
3) Extração de termogramas das áreas suspeitas com distâncias e ângulos de visão controlados, no ciclo de aquecimento;
4) Determinação de áreas danificadas e apresentação de relatório.

A Figura 1 mostra a planta de cobertura do prédio Anexo Hospitalar com a indicação de suas fachadas.

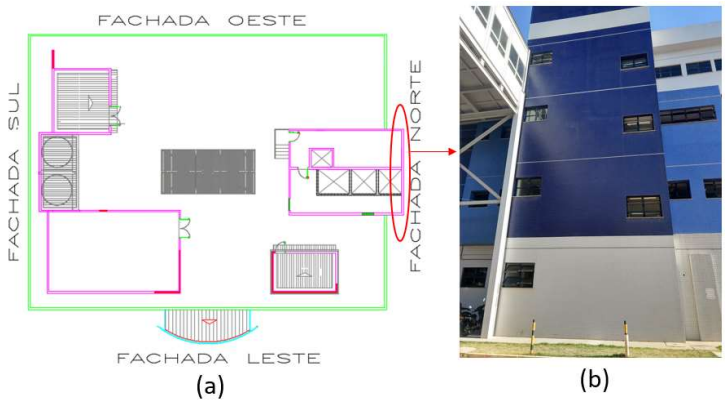


Figura 01: Planta de cobertura do prédio Anexo Hospitalar com indicação de orientação das fachadas (a) e fachada norte (b)

Durante a inspeção foram identificadas áreas com descolamento de pastilhas cerâmicas distribuídas na fachada norte. Para melhor identificação dos locais afetados, foram destacadas as áreas afetadas nas Figuras 2 a 4.

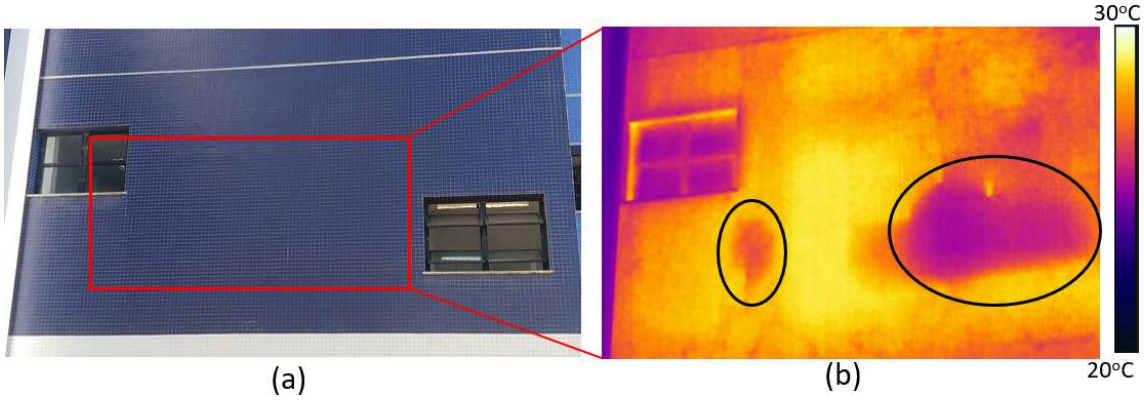


Figura 02: Imagem da fachada do primeiro pavimento (a) e seu termograma (b).

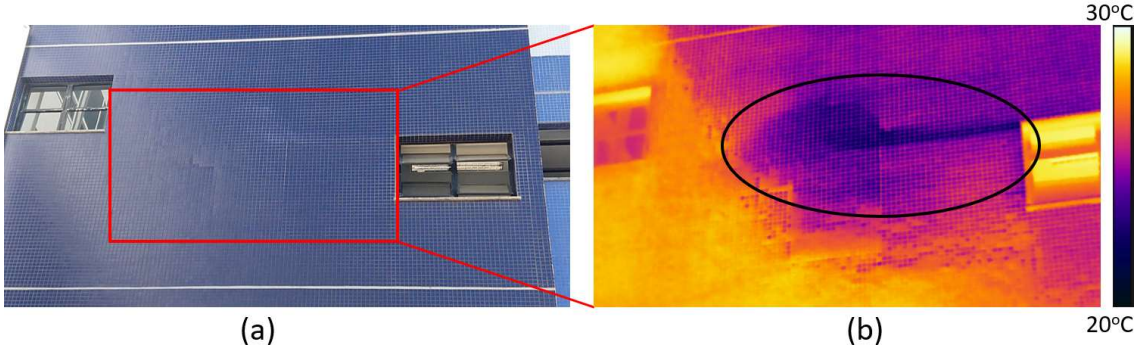


Figura 03: Imagem da fachada do segundo pavimento (a) e seu termograma (b)

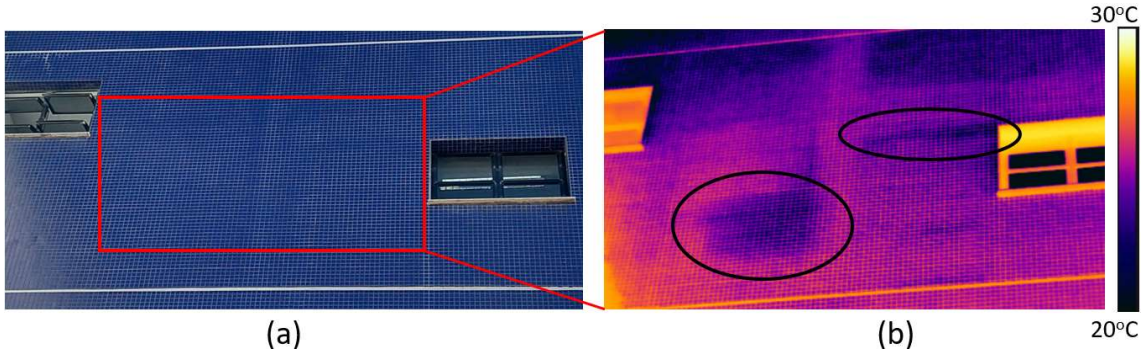


Figura 04: Imagem da fachada do terceiro pavimento (a) e seu termograma (b)

Como ação de manutenção corretiva, sugere-se a imediata retirada das pastilhas cerâmicas descoladas de sua base a fim de evitar acidentes com o desplacamento das mesmas. A recolocação do revestimento cerâmico deverá atender às especificações contidas na ABNT NBR 13.755, como objetivo de retomar a segurança e a estanqueidade da edificação, funções inicialmente atribuídas ao sistema de fachadas.