



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

WANESSA SOUZA DE LIMA

**IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
REVESTIMENTOS DE FACHADAS DE UM PRÉDIO PÚBLICO DO
PODER JUDICIÁRIO DE PERNAMBUCO POR MEIO DA
TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA COMO ELEMENTO AUXILIAR:
ESTUDO DE CASO**

Recife, PE
2022



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

WANESSA SOUZA DE LIMA

**IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
REVESTIMENTOS DE FACHADAS DE UM PRÉDIO PÚBLICO DO
PODER JUDICIÁRIO DE PERNAMBUCO POR MEIO DA
TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA COMO ELEMENTO AUXILIAR:
ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Yêda Vieira Póvoas

Recife, PE
2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco

L732i Lima, Wanessa Souza de
Identificação de manifestações patológicas em revestimentos de fachadas de um prédio público do poder judiciário de Pernambuco por meio da Termografia Infravermelha como elemento auxiliar: Estudo de caso. / Wanessa Souza de Lima. – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2022.

119 f. il.

Orientadora: Profa. Dra. Yêda Vieira Póvoas

Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2022

1. Termografia Infravermelha. 2. Manifestações Patológicas. 3. Revestimentos de Fachada. 4. Ensaio Não Destrutivo. I. Construção Civil – Dissertação. II. Póvoas, Yêda Vieira (orient.). III. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. IV. Título.


CDD: 690.028

WANESSA SOUZA DE LIMA

**IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
REVESTIMENTOS DE FACHADAS DE UM PRÉDIO PÚBLICO
DO PODER JUDICIÁRIO DE PERNAMBUCO POR MEIO DA
TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA COMO ELEMENTO
AUXILIAR: ESTUDO DE CASO**


BANCA EXAMINADORA:

Orientadora

Documento assinado digitalmente
 YEDA VIEIRA POVOAS
Data: 29/12/2022 08:07:22-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Dra. Yêda Vieira Póvoas
Universidade de Pernambuco

Examinadores

Documento assinado digitalmente
 ELIANA CRISTINA BARRETO MONTEIRO
Data: 29/12/2022 09:40:25-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Dra. Eliana Cristina Barreto Monteiro
Universidade de Pernambuco

ANGELO JUST DA COSTA E SILVA:82129258468
Assinado de forma digital
por ANGELO JUST DA COSTA
E SILVA:82129258468
Dados: 2023.02.02 10:53:38
-03'00'

Prof. Dr. Angelo Just da Costa e Silva
Universidade Católica de Pernambuco

Recife-PE
2022

DEDICATÓRIA

Ao meu sobrinho, Igor de Oliveira Lima,
a alegria de minha vida.

À minha tia, Luzinete Quintiliano de Souza
(*in memoriam*), a mulher mais corajosa com quem tive a
oportunidade de conviver.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não teria se concretizado, primeiramente, sem a ajuda e o envolvimento de meus pais, Amaro e Ivanete, bem como todos os meus familiares mais próximos com o apoio, compreensão e o carinho de sempre, a cumplicidade, parceria e força e disposição de meu irmão Wagner e de sua esposa, Shislene, e o meu sobrinho querido Igor, que com sua presença iluminou minha vida, elevando minha motivação nessa importante jornada.

Agradeço também aos companheiros da turma de 2020 do mestrado, pela parceria ao longo desses quase 3 anos de muitos perrengues, em especial, Luciana e Maria Carolina por aturar minhas loucuras e grosserias (é para poucos) e pela amizade inesperada, que, se a providência permitir, perdurará por muitos anos ainda.

Ao amigo Ailson Alves, fundamental na viabilização do prédio objeto deste estudo, os engenheiros Aluisio Barbosa da Silva Filho e José Américo de Miranda Neto (*in memoriam*) pela oportunidade profissional concedida, abrindo-me as portas com seus valiosos ensinamentos e conselhos.

À minha professora orientadora, Yêda Vieira Póvoas pela paciência, disposição e compreensão, ao me apontar os caminhos que me permitiram atingir a meus objetivos nesse trabalho.

Agradeço também aos demais professores e servidores do PEC, pelo suporte e contribuição para o cumprimento do objetivo final.

*“Considerate la vostra semenza
fatti non foste a viver come bruti
ma per seguir virtute e canoscenza”*

Dante Alighieri

RESUMO

A exposição contínua dos revestimentos às intempéries coloca as edificações em situações desfavoráveis em virtude da desconsideração sistêmica de tais fatores quando da fase de projeto, abrindo espaço para a ocorrência de manifestações patológicas que afetam a durabilidade, segurança e servicibilidade das construções. Neste contexto, as práticas de investigação e coleta de informações de problemas patológicos em fachadas de edificações vêm sendo estudadas com o uso de inspeções visuais aliadas aos ensaios tecnológicos, preferencialmente baseados em normativos. Com relação às técnicas não destrutivas, o foco do presente estudo é a termografia infravermelha, técnica que produz uma imagem térmica a partir da radiação infravermelha naturalmente emitida ao longo da superfície dos objetos, permitindo a detecção de danos não visíveis a olho nu através da identificação de padrões térmicos e/ou da medição de temperaturas. A falta de referências normativas com relação ao emprego da técnica como ferramenta de diagnóstico na área de engenharia civil levanta questões quanto à credibilidade e validade do uso desta técnica. Ante o exposto, este estudo visa a identificação das manifestações patológicas existentes nas fachadas do Fórum de Olinda, utilizando a técnica da termografia infravermelha como elemento auxiliar, e a elaboração de mapa de danos mostrando as anomalias mais significativas presentes nas fachadas do prédio inspecionado. Foi possível concluir que a termografia constitui um recurso eficiente na identificação das manifestações patológicas, através da alteração dos padrões térmicos usuais no sistema de revestimento, onde as áreas afetadas por anomalias apresentavam um aumento de temperatura quando comparada com áreas sãs, sendo recomendável o emprego da técnica como ferramenta auxiliar para diagnóstico diante dos fatores limitantes apresentados em campo. O mapa de danos mostrou-se relevante como instrumento de orientação no monitoramento dos danos, controle das manutenções e/ou serviços de recuperação no sistema de revestimentos a serem realizadas na edificação.

Palavras-chave: termografia infravermelha, manifestações patológicas, revestimentos de fachada, ensaio não destrutivo.

ABSTRACT

The continuous exposure of the coatings to adverse weather conditions places the buildings in unfavorable situations due to the systemic neglect of such factors during the design phase, resulting in the occurrence of pathological manifestations that affect the durability, safety, and serviceability of buildings. In this context, the practices of investigation and gathering data on pathological problems on building facades have been studied with the use of visual inspections combined with technological tests, preferably those based on standards. Regarding non-destructive techniques, the focus of this study is infrared thermography, a technique that produces a thermal image from the infrared radiation naturally emitted along the surface of objects, allowing the detection of damage not visible to the naked eye through the identification of thermal patterns and/or the measurement of temperatures. The lack of normative references concerning the use of the technique as a diagnostic tool in the field of civil engineering raises questions about the credibility and validity of the use of this technique. Given the above, this study aims to identify the pathological damages existing on the facades of the Olinda Courthouse, using the infrared thermography technique as an auxiliary element, and to elaborate a damage map showing the most significant anomalies present on the facades of the inspected building. It was possible to conclude that the thermography constitutes an efficient asset in the identification of defects, by the alteration of the usual thermal patterns in the coating system. The use of this technique is recommended as an auxiliary tool for diagnosis when faced with limiting factors presented in the field. The map of damage proved to be relevant as a target instrument for monitoring damage and controlling maintenance and/or recovery services to be performed on the cladding system in the building.

Keywords: infrared termography, constructive anomalies, facade coatings, non-destructive technique.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABENDI – Associação Brasileira de Ensaios não Destrutivos e Inspeção

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres

ASTM – *American Society for Testing and Material*

BSI – *British Standards Institution*

BS – *British Standard* (Norma Britânica)

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CEMANDO – Central de Mandados

EN – *European Standard* (Norma Europeia)

END – Ensaio não destrutivo

FOV – *Field of View* (Campo de visão)

HFT – *Heat flux transducer* (Transdutor de fluxo de calor)

IBAPE/MG – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia – Seccional Minas Gerais

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

IIFOV – *Instantaneous Field of View* (Campo de visão instantâneo)

ISO – *International Standard* (Norma Internacional)

ITC – *International Training Center*

MFOV – *Measurement Field of View* (Resolução de medição)

NBR – Norma Brasileira

NDT – *Non-destructive technique*

NE – Nordeste

NO – Noroeste

PPE – Planejamento, Projeto e Execução

PROGEFORO – Protocolo Geral do Foro

SE – Sudeste

SO – Sudoeste

SVD – *Singular value decomposition*

TBC – *Thermal barrier coating*

TJPE – Tribunal de Justiça de Pernambuco

TT – *Temperature transducer* (Transdutor de temperatura)

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

VUP – Vida útil de projeto

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do espectro eletromagnético e suas bandas, com destaque para a faixa de radiação infravermelha	23
Figura 2 – Representação esquemática da aplicação da termografia infravermelha como END	24
Figura 3 – Representação esquemática de uma inspeção termográfica e seus fatores influenciadores: 1) radiação emitida pelo entorno; 2) radiação emitida pelo objeto inspecionado; 3) radiação emitida pela atmosfera e 4) câmera termográfica.....	25
Figura 4 – Representação esquemática dos efeitos da radiação incidente sobre um corpo não-negro.....	26
Figura 5 – Influência da variável foco nos termogramas na detecção de anomalias térmicas na superfície investigada (a) e na medição de temperatura (b)	32
Figura 6 – (a) Estação de calibração de câmeras infravermelhas da fábrica da FLIR na Suécia; (b) curva de calibração obtida após o procedimento	34
Figura 7 – Vista em detalhe de um microbolômetro (a) e dos detectores de plano focal (b)....	34
Figura 8 – Relação dimensional entre FOV e IFOV	35
Figura 9 – Imprecisões nas medições de temperatura provocadas pelo ângulo de visão e forma do alvo	36
Figura 10 – Imprecisões nas medições de temperatura provocadas pela reflexão	37
Figura 11 – Representação esquemática da aplicação da termografia infravermelha ativa como END.....	38
Figura 12 – Classificação da termografia infravermelha.....	39
Figura 13 – Representação esquemática da variação do comportamento térmico do destacamento de revestimento aderido ao longo do dia (conforme fluxo de calor e luminosidade incidente)	59
Figura 14 – Detecção de destacamento de revestimento cerâmico no período de maior fluxo de calor (diurno) – “a” e “c” e no de menor fluxo de calor (noturno) – “b” e “d”.....	59
Figura 15 – Representação esquemática da detecção da umidade em paredes e tetos (a) sem contato solar, e (b) com contato solar na superfície externa	60
Figura 16 – Detecção de fissuras com manchas de umidade no revestimento argamassado ...	60
Figura 17 – Presença de umidade na fachada mascarando a identificação do destacamento do revestimento cerâmico.....	61

Figura 18 – Fluxograma dos procedimentos definidos para o desenvolvimento da pesquisa	62
Figura 19 – Planta de Situação do Fórum de Olinda, com a identificação das fachadas	64
Figura 20 – Fachadas Sudeste (a) e Sudoeste (b) do Fórum de Olinda.....	65
Figura 21 – Fachadas Nordeste (a) e Noroeste (b) do Fórum de Olinda.....	66
Figura 22 – Vista parcial das fachadas Sudeste e Nordeste do Fórum Lourenço José Ribeiro	67
Figura 23 – Vista aérea do Fórum Lourenço José Ribeiro	68
Figura 24 – Condições climáticas na ocasião em que foi realizada a inspeção termográfica ..	71
Figura 25 – Representação esquemática da termocâmera FLIR E60	72
Figura 26 – Equipamentos e materiais utilizados na inspeção termográfica.....	73
Figura 27 – Representação esquemática do método refletor	73
Figura 28 – Execução dos métodos refletor (a) e da emissividade conhecida (b) nas fachadas do Fórum de Olinda, conforme preconizado nas NBR 16292 e 16485.....	74
Figura 29 – Interface do software FLIR Thermal Studio 1.9.10	75
Figura 30 – Vistas parciais das fachadas SO, NE e NO apresentando incidência de abatimento de piso, sujidades, fissuras, descolamentos e colonização biológica no revestimento cerâmico	76
Figura 31 – Revestimento em porcelanato das fachadas SE e NE apresentando manchas escurecidas.....	77
Figura 32 – Vistas parciais dos trechos em revestimento pétreo das fachadas SE, NE, SO e NO, apresentando e florescência e deterioração do rejunte	78
Figura 33 – Revestimentos cerâmicos das fachadas SO e NE apresentando descolamento e fissuração	78
Figura 34 – Revestimentos cerâmicos das fachadas NE e NO apresentando descolamentos, fissuras, ressecamento e deterioração nas juntas	79
Figura 35 – Mapa de danos preliminar da fachada Sudeste do Fórum de Olinda.....	80
Figura 36 – Mapa de danos preliminar da fachada Noroeste do Fórum de Olinda.....	81
Figura 37 – Mapa de danos preliminar da fachada Nordeste do Fórum de Olinda.....	82
Figura 38 – Mapa de danos preliminar da fachada Sudoeste do Fórum de Olinda.....	83
Figura 39 – Pontos de aquisição dos termogramas.....	84

Figura 40 – Exemplos de distorção causada pelos fatores dificultantes no entorno da edificação	85
Figura 41 – Anomalias visíveis (setas amarelas) e não visíveis (setas vermelhas) detectadas no lado esquerdo da fachada SE através da termografia infravermelha (setas verdes)	86
Figura 42 – Anomalias visíveis (setas amarelas) e não visíveis (setas vermelhas) detectadas no lado direito da fachada SE através da termografia infravermelha (setas verdes)	87
Figura 43 – Anomalias visíveis (setas amarelas) e não visíveis (setas vermelhas) detectadas na fachada NO através da termografia infravermelha (setas verdes)	88
Figura 44 – Anomalias visíveis (setas amarelas) e não visíveis (setas vermelhas) detectadas na fachada NO (Salão do Júri) através da termografia infravermelha (setas verdes)	89
Figura 45 – Detecção de áreas suspeitas de descolamentos em fase inicial nos revestimentos cerâmico, pétreo e em porcelanato da fachada SE do Fórum de Olinda	90
Figura 46 – Detecção de áreas com suspeita de descolamentos em fase inicial nos revestimentos cerâmico e pétreo da fachada NO do Fórum de Olinda	91
Figura 47 – Manifestações patológicas incidentes na fachada NO (Salão do Júri) do Fórum de Olinda	92
Figura 48 – Anomalias visíveis (setas amarelas) e não visíveis (setas vermelhas) detectadas na fachada NE através da termografia infravermelha (setas verdes)	93
Figura 49 – Anomalias visíveis (setas amarelas) e não visíveis (setas vermelhas) detectadas na fachada SO através da termografia infravermelha (setas verdes)	94
Figura 50 – Detecção de áreas com suspeita de descolamentos em fase inicial nos revestimentos da fachada NE do Fórum de Olinda	95
Figura 51 – Detecção de áreas suspeitas de descolamentos em fase inicial nos revestimentos da fachada SO do Fórum de Olinda	96
Figura 52 – Mapa de danos definitivo da fachada Sudeste do Fórum de Olinda – Inspeções visual e termográfica	98
Figura 53 – Mapa de danos definitivo da fachada Noroeste do Fórum de Olinda – Inspeções visual e termográfica	99
Figura 54 – Mapa de danos definitivo da fachada Nordeste do Fórum de Olinda – Inspeções visual e termográfica	100
Figura 55 – Mapa de danos definitivo da fachada Sudoeste do Fórum de Olinda – Inspeções visual e termográfica	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Variáveis da aplicação da termografia classificadas quanto ao equipamento, ao alvo e ao ambiente ao qual se encontra inserido	31
Quadro 2 – Tipos de foco existentes nos modelos de câmeras termográficas disponíveis no mercado	33
Quadro 3 – Normas internacionais que tratam da aplicação da termografia infravermelha no âmbito da construção civil.....	40
Quadro 4 – Normas nacionais que tratam da aplicação da termografia infravermelha.....	42
Quadro 5 – Particularidades dos estudos acerca da aplicação da termografia infravermelha na construção civil abordados neste tópico	51
Quadro 6 – Principais manifestações patológicas nos revestimentos incidentes nas obras de construção civil decorrentes de anomalias construtivas, falhas de manutenção ou irregularidades de uso	56
Quadro 7 – Escala de cores representando a classificação dos danos quanto à gravidade.....	69
Quadro 8 – Matriz de representação gráfica adotada na elaboração do mapa de danos	70
Quadro 9 – Classificação das anomalias encontradas no Fórum de Olinda.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação baseada nos limites espectrais de detectores de infravermelho, segundo a NBR 15424	24
Tabela 2 – Valores de absorvância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas).....	28
Tabela 3 – Valores de emissividade de materiais comumente utilizados na construção civil	28
Tabela 4 – Curso de treinamento para termografistas proposto pela norma BS EN ISO 6781-3	30
Tabela 5 – Tipos de revestimento identificados nas fachadas do Fórum de Olinda	63
Tabela 6 – Distribuição das áreas componentes do Fórum de Olinda.....	67
Tabela 7 – Especificações técnicas da câmera termográfica FLIR E60.....	72

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Justificativa	19
1.2 Objetivos.....	21
1.2.1 Objetivo Geral	21
1.2.2 Objetivos Específicos	21
1.3 Estrutura do Texto	22
2 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA	23
2.1 Tópicos básicos sobre a termografia infravermelha	23
2.1.1 Variáveis termográficas relacionadas ao equipamento	32
2.1.2 Variáveis termográficas relacionadas ao alvo	36
2.1.3 Variáveis termográficas relacionadas ao ambiente	37
2.2 Classificação da termografia infravermelha.....	38
2.3 Normatização	39
2.4 Aplicações da termografia na investigação de anomalias na construção civil.....	43
3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DOS REVESTIMENTOS DE FACHADAS... 55	
3.1 Anomalias mais frequentes e suas principais causas.....	55
3.2 Comportamento térmico das manifestações patológicas dos revestimentos.....	58
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	62
4.1 Descrição da edificação objeto do estudo de caso.....	63
4.2 Inspeção visual da edificação e elaboração do mapa de danos	68
4.2.1 Ficha de vistoria e levantamento de campo para identificação das manifestações patológicas aparentes.....	68
4.2.2 Elaboração do mapa de danos	69
4.3 Inspeção termográfica.....	70
4.3.1 Horizonte temporal da diligência	71
4.3.2 Equipamentos, materiais e procedimentos utilizados na inspeção	72
4.3.3 Processamento de imagens	74
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	76
5.1 Resultados obtidos nas inspeções visuais e no mapa de danos preliminar.....	76

5.2 Resultados obtidos nas inspeções termográficas e elaboração do mapa de danos definitivo.....	84
5.2.1 Dificuldades operacionais na condução do ensaio	84
5.2.2 Quadro encontrado nas fachadas SE e NO	86
5.2.3 Quadro encontrado nas fachadas NE e SO	92
5.2.4 Apontamentos finais acerca da inspeção termográfica e apresentação do mapa de danos definitivo.....	97
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	102
REFERÊNCIAS	105
APÊNDICE A – Fichas de inspeção das Fachadas do Fórum de Olinda.....	114

1 INTRODUÇÃO

Os revestimentos têm como função primordial proteger as superfícies da ação de mecanismos de degradação relacionados às intempéries, ao uso e à incompatibilidade química e física dos materiais em relação à base ou substrato de aplicação e com a regularização de fechamentos e elementos de vedação (GOMIDE; FAGUNDES NETO; GULLO, 2009). Veiga (2005) afirma que:

os revestimentos de paredes têm um papel relevante na conservação dos edifícios, pelas funções de proteção que desempenham e pela influência decisiva na imagem e na caracterização estética dos edifícios. Assim, a sua conservação e reparação, a manutenção do seu desempenho e do seu aspecto, são decisivas para a conservação do patrimônio construído.

As manifestações patológicas nos revestimentos de paredes e fachadas variam desde a ocorrência de fissuras, infiltrações e manchamentos superficiais (apenas com comprometimento estético) até a formas mais acentuadas destas anomalias, também sendo bastante comuns casos mais críticos, envolvendo descolamentos ou deslocamentos dos revestimentos. Neste contexto, as práticas de investigação e coleta de informações de problemas patológicos em fachadas de edificações vêm sendo estudadas há muito tempo (TAKEDA; MAZER, 2018), tanto com o uso de investigações visuais quanto aos ensaios tecnológicos, destrutivos ou não destrutivos, preferencialmente baseados em normativos (nacionais e internacionais) vigentes ou contemporâneos à data do projeto da edificação, objeto da análise para a detecção dos problemas, devendo ser respaldadas nas normas prescritivas ou de desempenho aplicáveis aos casos em estudos (INSTITUTO DE ENGENHARIA, 2016).

A falta de referências normativas nacionais e internacionais com relação ao emprego da termografia infravermelha como ferramenta de diagnóstico na área de engenharia civil levanta questões quanto à credibilidade e validade do uso desta técnica, diante da deficiência decorrente da ausência de procedimentos ou protocolos padronizados, falta de critérios (BAUER *et al.*, 2015b) e de normalização nacional específica para sua devida aplicação neste campo.

Diante do exposto, este trabalho procura oferecer subsídios relacionados ao estabelecimento de padrões e critérios visando contribuir para a validação do emprego da termografia como método não destrutivo, com sua aplicação na inspeção dos revestimentos aderidos das fachadas do Fórum de Olinda para identificação de manifestações patológicas.

1.1 Justificativa

Apesar de o Brasil ser um dos principais *players* no mercado mundial de revestimentos cerâmicos, ocupando a terceira posição em produção e a segunda posição do mercado consumidor no mundo, de acordo com a ANFACER (2019), ainda são condutas comuns no setor a adoção equivocada de normas de produto (carentes de consistência técnica) como normativos referenciais de projeto, a incompatibilidade entre projetos, a ausência de mão de obra qualificada, a deficiência de fiscalização, a falta de aplicação efetiva de especificações técnicas, dentre outras, que culminam no surgimento de danos patológicos nas edificações (THOMAZ, 2020).

A título de ilustração deste cenário, em um levantamento nacional realizado pela CBIC (2019), cujos dados foram obtidos de 157 obras em 17 estados brasileiros, foi constatado que a abrangência de danos patológicos correlacionados com deslocamentos de revestimentos totalizam mais de 2,6 milhões de metros quadrados de cerâmicas deslocadas.

Mesmo com a recente reformulação da norma de projeto de revestimentos cerâmicos de fachada e paredes externas, a NBR 13755 (ABNT, 2017) – a qual passou a contar com um caráter orientativo, visando à evolução do conhecimento técnico e o aumento da vida útil das fachadas cerâmicas – e, com o advento da norma brasileira de desempenho de edificações habitacionais, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) – que definiu para os sistemas de revestimento uma vida útil de projeto (VUP) mínima de 20 anos para revestimentos de fachadas aderidos ou não aderidos, e de 13 anos para revestimentos internos aderidos, independentemente de sua tipologia (argamassado, em gesso, cerâmico, pétreo, etc.) – verifica-se a continuidade do quadro acima descrito acerca da ocorrência e abrangência de anomalias nos revestimentos de fachada.

A exposição contínua dos sistemas de revestimento aos fenômenos climáticos colocam as edificações em situações desfavoráveis em virtude da desconsideração sistêmica de fatores relacionados às intempéries quando da fase de projeto, abrindo espaço para a ocorrência de manifestações patológicas que afetam a durabilidade, segurança e servicibilidade das construções, provocando a redução da vida útil de seus elementos componentes, em face de progressiva degradação dos materiais, tornando-as vulneráveis à ação da umidade e de agentes agressivos presentes no ambiente. Para a recuperação de revestimentos de paredes ou de pisos constituídos por placas cerâmicas existem poucas alternativas de ação, como a criação de juntas

no revestimento e a substituição das peças danificadas. As alternativas de reparo praticamente se repetem quanto aos revestimentos argamassados, restando como opção a recomendação de renovação dos revestimentos nos casos que apresentem grande incidência de fissuras de retração, descolamentos, pulverulências, etc. Tais fatos resultam em elevados custos adicionais para os usuários, tendo em vista os trabalhos de recuperação que se fazem necessários (FREITAS; CARASEK; CASCUDO, 2014; PESSANHA *et al.*, 2019; THOMAZ, 2020).

Os ensaios destrutivos, quando bem empregados, fornecem informações para contribuir com a tomada de decisão em relação às manifestações patológicas detectadas. Ocorre que, por vezes, a execução de tais levantamentos torna-se prejudicada diante dos diversos graus de complexidade correlatos à visualização das áreas afetadas pelas anomalias, à interferência na rotina dos usuários da edificação inspecionada, aos riscos oferecidos aos operadores do exame, aos danos causados à construção, ou ainda, pelo tempo demandado para a obtenção dos resultados. Portanto, é preferível a adoção de procedimentos ou técnicas não destrutivas, visando à minimização de tais pontos, e, conseqüentemente, dos prejuízos relacionados à estética, ruídos, produção de resíduos, poeira e altos gastos (ISRAEL, 2016).

A ABENDI (2021) define os Ensaio Não Destrutivos (ENDs), expressão originária do inglês *Non-Destructive Techniques (NDT's)*, como técnicas aplicadas para a inspeção de sistemas, materiais e equipamentos, empregando métodos capazes de proporcionar informações a respeito do teor de defeitos, características tecnológicas e monitoração da degradação em serviço de componentes, equipamentos e estruturas, sem que para isso seja necessário danificá-los ou alterar as suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais, não interferindo nas condições de utilização após o processo de inspeção (ANDRADE, 2020).

Com relação às técnicas não destrutivas, existem instrumentos com os mais diversos princípios de funcionamento, utilizando leituras de resistência elétrica, radioatividade, ressonância magnética nuclear, entre outras (MARINHO, 2014). Dentre essas técnicas, destaca-se a termografia infravermelha, que produz uma imagem térmica, onde cada cor representa um nível de temperatura superficial dos objetos, permitindo a detecção de danos não aparentes, e a obtenção dos dados em tempo real na ocorrência de um gradiente térmico, possibilitando que se anteveja as intervenções necessárias para evitar o agravamento das manifestações patológicas ou o surgimento de novas anomalias (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019; FREITAS; CARASEK; CASCUDO, 2014; SANTOS; ROCHA; PÓVOAS, 2019).

Diversos trabalhos foram desenvolvidos para avaliar a aplicação e utilização do ensaio de termografia infravermelha na construção civil, visto que este ensaio apresenta diversas vantagens em sua utilização, por se tratar de um ensaio não destrutivo com resultado imediato e por apresentar eficácia satisfatória na identificação de algumas das principais anomalias relacionadas aos revestimentos de fachadas e outros componentes, como verificado nos trabalhos de Menezes, Póvoas e Viégas (2022), Dias, Flores-Colen e Silva (2021), Tanaka e Pavon (2021), Andrade (2020), Barreira *et al.* (2020), Bersch *et al.* (2020), Guadagnuolo *et al.* (2020), Bu *et al.* (2019), Rocha e Póvoas (2019), Ruiz Valero, Flores Sasso e Prieto Vicioso (2019), Santos, Rocha e Póvoas (2019), Bauer, Milhomem e Aidar (2018), Lagüela *et al.* (2018), Takeda e Mazer (2018), Hiasa, Birgul e Catbas (2017), Lourenço, Matias e Faria (2017), Milovanović, Banjad Pečur e Štirmer (2017), Bauer *et al.* (2016), Silva, Viégas e Póvoas (2016) e Sfarra *et al.* (2015), dentre outros.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Identificar as manifestações patológicas existentes nas fachadas do Fórum de Olinda utilizando a técnica da termografia infravermelha como elemento auxiliar, com o desenvolvimento de mapa de danos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Serão considerados os seguintes objetivos específicos:

- Identificar as manifestações patológicas existentes nos revestimentos aderidos das fachadas do edifício objeto do estudo, por meio de inspeção visual e com a utilização da termografia infravermelha como elemento auxiliar;
- Elaborar o mapa de danos encontrados nas fachadas do edifício objeto da inspeção;
- Validar o uso da termografia infravermelha como ensaio não destrutivo para inspeção de revestimentos aderidos de fachada.

1.3 Estrutura do Texto

O presente trabalho é composto por seis capítulos, onde no 1º capítulo consta a introdução do estudo, as justificativas para o seu desenvolvimento, objetivos gerais e específicos além da discriminação da forma como está estruturado.

O referencial teórico no qual este estudo toma por base se estende do 2º ao 3º capítulo. No 2º capítulo são abordados os tópicos básicos da termografia infravermelha, seus mecanismos, classificação, normalização e emprego na engenharia civil. Enquanto o 3º capítulo trata das manifestações patológicas mais frequentes nos revestimentos de fachadas, suas causas, além do comportamento térmico que estas anomalias demonstram como referência para identificação e caracterização dos danos quando da realização dos ensaios termográficos.

O 4º capítulo apresenta a caracterização do imóvel objeto do estudo e todas as informações acerca da metodologia adotada no trabalho, elaboração do mapa de danos, levantamento, registro e representação gráfica de anomalias nas edificações, definição das fichas de identificação e classificação das manifestações patológicas, além dos materiais e equipamentos utilizados na inspeção termográfica e os procedimentos adotados para a definição dos parâmetros termográficos.

No 5º capítulo encontram-se dispostos os resultados obtidos a partir das inspeções visuais, com a elaboração do mapa de danos preliminar e relatório do quadro identificado durante a primeira vistoria, bem como o quadro coletado na inspeção termográfica, com a análise e confrontação dos dados referentes às duas investigações procedidas, com a elaboração do mapa de danos final.

No 6º capítulo encontram-se sintetizados os resultados obtidos e as considerações finais acerca da pesquisa desenvolvida.

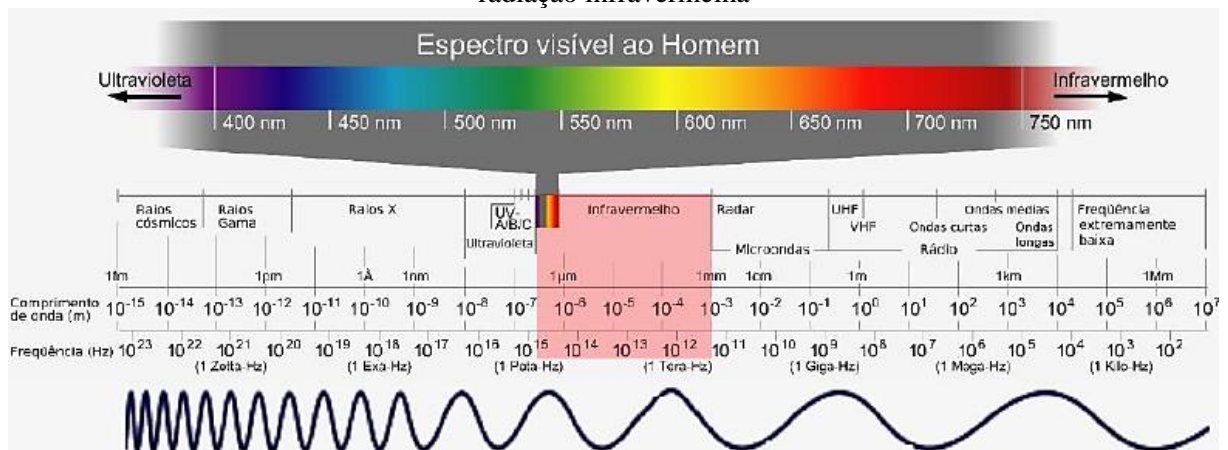
2 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

2.1 Tópicos básicos sobre a termografia infravermelha

A termografia infravermelha é uma técnica não destrutiva e não invasiva que se dedica à aquisição e processamento da informação térmica a partir de dispositivos de medição sem contato, captando radiação infravermelha naturalmente emitida ao longo da superfície dos objetos com intensidade proporcional a sua temperatura, possibilitando a identificação das regiões que apresentam alterações térmicas em relação a um padrão conhecido ou predefinido (MALDAGUE, 2000; TAKEDA; MAZER, 2018).

O espectro eletromagnético, conforme é possível observar na Figura 1, é dividido em várias regiões de comprimento de onda, todas elas regidas pelas mesmas leis, denominadas bandas ou faixas, as quais são diferenciadas pelos métodos empregados para produzir e detectar a radiação, não existindo diferença fundamental entre as radiações nas diferentes bandas do espectro eletromagnético, além daquelas devidas às diferenças de comprimento e frequências de onda propriamente ditos (FLIR SYSTEMS INC., 2016).

Figura 1 – Representação do espectro eletromagnético e suas bandas, com destaque para a faixa de radiação infravermelha



Fonte: Andrade, 2020

A termografia faz uso da faixa espectral infravermelha, a qual, de acordo com a NBR 15424 (ABNT, 2016a), subdivide-se em cinco intervalos baseados nos limites espectrais de detectores de infravermelho expostos na Tabela 1.

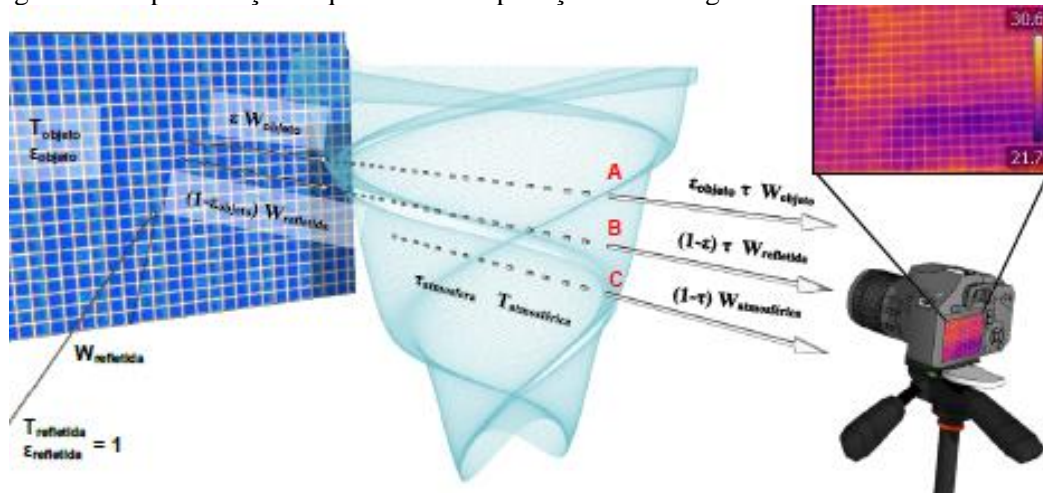
Tabela 1 – Classificação baseada nos limites espectrais de detectores de infravermelho, segundo a NBR 15424

CLASSIFICAÇÃO	FAIXA DE COMPRIMENTO DE ONDA
Infravermelho próximo	0,78 μm – 1 μm
Infravermelho de ondas curtas	1 μm – 3 μm
Infravermelho de ondas médias	3 μm – 6 μm
Infravermelho de ondas longas	6 μm – 15 μm
Infravermelho de ondas muito longas	15 μm – 1000 μm

Fonte: ABNT (2016a)

A radiação infravermelha é invisível aos olhos humanos, necessitando do emprego de equipamentos que tomam forma de câmeras dotadas de lente e sensores de radiação infravermelha, capazes de captar a energia radiante na faixa do infravermelho e processar o sinal elétrico convertendo-o em imagens que descrevem as variações de temperatura no objeto em estudo (FLIR SYSTEMS, 2012), conforme apresentado no desenho esquemático constante na Figura 2.

Figura 2 – Representação esquemática da aplicação da termografia infravermelha como END



Fonte: Adaptado de Andrade (2020)

A energia emitida por um objeto é determinada através da Lei de Stefan-Boltzmann, apresentada na Equação 1, e guarda relação de dependência com duas propriedades: a temperatura (T) e a emissividade (ε) do objeto, sendo necessária também para sua obtenção a constante de Stefan-Boltzmann (σ) (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

$$W = \varepsilon \times \sigma \times T^4 \quad (1)$$

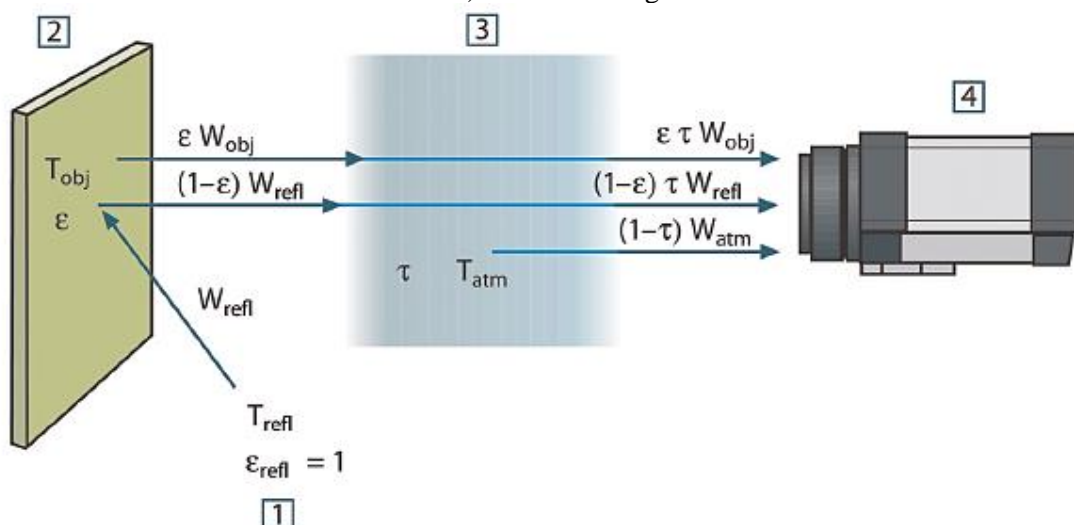
Emissividade é a capacidade que o material tem para radiar energia comparada com a de um corpo emissor/absorvedor perfeito de energia radiante, denominado corpo negro perfeito — que tem como característica absorver toda a radiação incidente sobre ele, em qualquer comprimento de onda e em qualquer direção. Sabe-se que não é possível encontrar objetos emissores/absorvedores perfeitos, embora existam objetos com características bastante semelhantes. A emissividade de um objeto normal (ε) é determinada pela razão entre a energia de emissão deste corpo (W_{obj}) e o valor teórico da energia emitida pelo corpo negro perfeito (W_{bb}), conforme definido pela Equação 2 (ANDRADE, 2020; FLIR SYSTEMS INC., 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2020; TAKEDA; MAZER, 2018).

$$\varepsilon = W_{obj}/W_{bb} \quad (2)$$

A atmosfera entre o objeto e a câmera também absorve e emite, de maneira própria, parte desta radiação (W_{atm}), atenuando a participação da energia refletida pelo ambiente (W_{refl}) e do objeto em análise (W_{obj}) (FLIR SYSTEMS INC., 2016), conforme esquematizado na Figura 3. De posse das informações destes dois componentes, além da transmissividade através da atmosfera (τ), a radiação total recebida pela câmera (W_{tot}) é determinada pela Equação 3.

$$W_{tot} = \varepsilon \times \tau \times W_{obj} + (1 - \varepsilon) \times \tau \times W_{refl} + (1 - \tau) \times W_{atm} \quad (3)$$

Figura 3 – Representação esquemática de uma inspeção termográfica e seus fatores influenciadores: 1) radiação emitida pelo entorno; 2) radiação emitida pelo objeto inspecionado; 3) radiação emitida pela atmosfera e 4) câmera termográfica



Fonte: FLIR Systems Inc. (2016)

Tomando a Equação 3 como base, é possível obter a potência de radiação do objeto investigado (W_{obj}) através do resultado da expressão constante na Equação 4.

$$W_{obj} = \frac{W_{tot}}{\varepsilon \times \tau} + \frac{(1-\varepsilon) \times \tau \times W_{refl}}{\varepsilon} + \frac{(1-\tau) \times W_{atm}}{\varepsilon \times \tau} \quad (4)$$

Desta forma, inserindo a Equação 1 na Equação 4, obtém-se a expressão matemática definida pela Equação 5, responsável pelo cálculo da temperatura do objeto (T_{obj}).

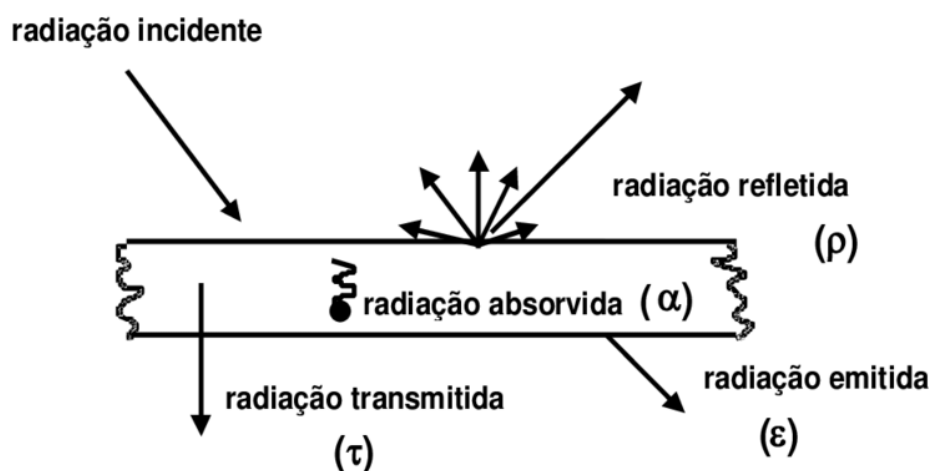
$$T_{obj} = \sqrt[4]{\frac{W_{tot}}{\varepsilon \times \tau \times \sigma} + \frac{(1-\varepsilon) \times \sigma \times T_{refl}^4}{\varepsilon \times \sigma} + \frac{(1-\tau) \times \sigma \times T_{atm}^4}{\varepsilon \times \tau \times \sigma}} \quad (5)$$

De acordo com a Lei da radiação térmica de Kirchhoff, a emissividade (ε) e a absorção (α) de uma superfície são iguais para qualquer material a uma determinada temperatura e para um dado comprimento de onda (FLIR SYSTEMS, 2012), conforme Equação 6. Lourenço, Matias e Faria (2016) ressaltam, no entanto, que tal simplificação só deve ser válida quando da não incidência de radiação solar, enquanto que Lillesand, Kiefer e Chipman (2015) afirmam que, embora seja baseada em condições de equilíbrio térmico, a relação definida pela Lei de Kirchhoff para estes dois parâmetros se mantém para a maioria das condições.

$$\varepsilon(\lambda) = \alpha(\lambda) \quad (6)$$

Em um corpo não-negro, uma parcela da radiação incidente é absorvida (α), outra parte é refletida (ρ), enquanto a restante é transmitida (τ), conforme exposto na Figura 4.

Figura 4 – Representação esquemática dos efeitos da radiação incidente sobre um corpo não-negro



Todas as três parcelas de radiação são dependentes do comprimento de onda (λ) e a sua soma deve sempre ser igual à unidade para um mesmo comprimento de onda (BARREIRA, 2004), conforme a Equação 7.

$$\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad (7)$$

Onde:

$\alpha(\lambda)$ = Absorção ou absortividade espectral – razão entre a radiação absorvida pelo objeto e a radiação total sobre ele incidente, para um determinado comprimento de onda;

$\rho(\lambda)$ = Reflexão ou refletividade espectral – razão entre a radiação refletida pelo objeto e a radiação total sobre ele incidente, para um determinado comprimento de onda;

$\tau(\lambda)$ = Transmissão ou transmissividade espectral – razão entre a radiação transmitida pelo objeto e a radiação total sobre ele incidente, para um determinado comprimento de onda.

Através da substituição da Equação 6 na Equação 7, é obtida a Equação 8.

$$\varepsilon(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad (8)$$

Ou seja, como na maioria das aplicações da termografia se lida com materiais supostamente opacos à radiação ($\tau = 0$), a Equação 8 demonstra a relação direta entre a emissividade do objeto e sua refletância na região térmica do espectro (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015). Em síntese: quanto menor a reflexão de um objeto, maior a sua emissividade.

Em que pese seja um fator extremamente relevante para o cálculo da temperatura, a emissividade é um parâmetro que frequentemente é determinado com baixa precisão. Existe bibliografia diversa com listas de valores para a emissividade, no entanto, a utilização deste tipo de fonte deve ser feita com algumas precauções, uma vez que a emissividade é dependente das propriedades dos objetos inspecionados, como, por exemplo: os materiais que os compõem, homogeneidade e/ou acabamento de sua superfície, estado de conservação/deterioração, dentre outros, também variando com as condições de medição. Tudo isso faz com que este seja um dos pontos mais críticos e difíceis de estimar em uma inspeção termográfica (BARREIRA, 2004; PITARMA; CRISÓSTOMO; JORGE, 2016; RODRÍGUEZ-GONZÁLVEZ; RODRÍGUEZ-MARTÍN, 2021).

Exemplificando os tipos de referências catalogadas na literatura e em normativos, apresenta-se na Tabela 2 uma relação com valores de absorvidade para radiação solar (ondas curtas) e emissividade para radiações a temperaturas comuns (ondas longas) de elementos e materiais componentes de edificações, presente no Anexo B da norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Tabela 2 – Valores de absorvância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)

TIPO DE SUPERFÍCIE		α	ϵ
Chapa de alumínio		0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)		0,25	0,25
Caiçãõ nova		0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro		0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro		0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico		0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor		0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido		0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado		0,30 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura:	Branca	0,20	0,90
	Amarela	0,30	0,90
	Verde clara	0,40	0,90
	“Alumínio”	0,40	0,90
	Verde escura	0,70	0,90
	Vermelha	0,74	0,90
	Preta	0,97	0,90

Fonte: ABNT (2005)

A Tabela 3 relaciona os valores de emissividade média típica de alguns materiais comumente empregados na construção civil para comprimentos de onda de 8-14 micra (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015).

Tabela 3 – Valores de emissividade de materiais comumente utilizados na construção civil

MATERIAL	EMISSIVIDADE MÉDIA TÍPICA (8–14 μm)
Concreto asfáltico	0,94 – 0,97
Tijolo	0,93 – 0,94
Madeira	0,93 – 0,94
Rocha basáltica	0,92 – 0,96
Cimento Portland	0,92 – 0,94
Tinta	0,90 – 0,96
Rocha granítica	0,83 – 0,87
Vidro	0,77 – 0,81
Chapa de ferro (oxidada)	0,63 – 0,70
Metais polidos	0,16 – 0,21

Fonte: Adaptado de Lillesand, Kiefer e Chipman (2015)

Comparando os intervalos de emissividade contidos nas Tabelas 2 e 3, verifica-se que as divergências nos valores apresentados se devem diretamente às diferenças nas temperaturas específicas do ambiente em que esses dados foram obtidos, comprimentos de onda, de condições padrão das superfícies, etc. Resta evidente, portanto, que qualquer alteração nestes quesitos provocará uma alteração neste parâmetro, destacando a possibilidade de imprecisões no momento de sua estimativa.

Para Barreira (2004), consultas a estes tipos de fontes possibilitam uma agilização na realização dos ensaios, por favorecer o conhecimento do valor da emissividade de uma forma mais rápida, ressalvando-se sempre que os valores indicados em tabelas, catálogos ou normativos só poderão ser adotados quando as características da superfície em estudo coincidirem com as características da superfície tabelada. Em caso negativo, restará, pelo menos, definida uma ordem de grandeza da emissividade, que por sua vez deverá ser determinada com maior rigor através de métodos práticos para sua determinação, conforme algumas sugestões de procedimentos listados a seguir:

- a) medição da temperatura de um ponto da superfície do objeto com termômetro pontual de infravermelho;
- b) utilização de uma fita isolante, cuja emissividade é conhecida e próxima da unidade ($\epsilon \approx 0,95$), sobre uma parte da superfície do objeto, preenchendo a totalidade o campo de visão do equipamento para a obtenção da temperatura da fita, que por sua vez deve ser igual à temperatura da superfície do objeto, possibilitando o ajuste da emissividade;
- c) pintura da superfície do objeto com uma tinta preta de emissividade conhecida ($\epsilon \approx 0,93 - 0,98$), em procedimento análogo ao descrito na alínea b;
- d) abertura de um buraco na superfície do objeto ou material similar, que satisfaça a condição do corpo negro. Devendo-se medir a temperatura no buraco e na superfície adjacente com o termômetro de infravermelho e, de posse desta informação, efetuar o cálculo da emissividade;
- e) para o caso de estudos conduzidos em laboratório com objetos de pequenas dimensões, recomenda-se aquecer o objeto (ou um material semelhante) e um corpo negro numa estufa, até ser atingido o equilíbrio térmico e os dois corpos ficarem à mesma temperatura, que deve ser coletada para possibilitar o cálculo da emissividade do material investigado.

Findadas as definições quanto às formas de obtenção dos valores de radiação e temperatura, analisando todos os conceitos teóricos e matemáticos expostos, é possível realizar o quão dependente a termografia é das condições climáticas, dos componentes do ambiente natural e construído no entorno, da orientação e forma do objeto inspecionado, além de fatores como superfície, textura, cor do objeto e do ajuste da câmera infravermelha para a obtenção de termogramas conclusivos e que representem de forma acurada a real temperatura do objeto em investigação (ANDRADE, 2020; DIAS; FLORES-COLEN; SILVA, 2021; RODRÍGUEZ-GONZÁLVIZ; RODRÍGUEZ-MARTÍN, 2021).

A inspeção termográfica também depende, principalmente, do profissional que a conduz, visto que o equipamento (câmera termográfica) constitui apenas uma variável, sendo necessário conhecimento técnico a respeito dos princípios da termografia e dos procedimentos para a obtenção de resultados conclusivos (BAUER; PAVÓN, 2015).

Ou seja, uma sólida base científica acerca da termografia é necessária para que se efetuem análises e interpretações corretas do material coletado em campo, o que pode ser observado no conteúdo programático do curso de treinamento de termografistas, disposto na Tabela 4, sugerido pela Norma BS EN ISO 6781-3 (BSI, 2015) que especifica os requisitos necessários para a qualificação e certificação do pessoal responsável pela execução e interpretação de investigações termográficas em edifícios.

Tabela 4 – Curso de treinamento para termografistas proposto pela norma BS EN ISO 6781-3

Assuntos	Classe I (h)	Classe II (h)	Classe III (h)
Termografia Infravermelha — Geral			
0. Introdução	0,5	-	-
1. Princípios da Termografia Infravermelha	8	8	2
2. Equipamento e aquisição de dados	2,5	1,5	0
3. Introdução aos equipamentos auxiliares	1	0	0
4. Processamento de imagem	3,5	2	2
5. Aplicações gerais	3,0	0	0
6. Diagnósticos e prognósticos	0,5	2	2
7. Ações corretivas	0,5	4	4
8. Relatórios e documentação (normas ISO)	1	1	0,5
9. Projeto de programas termográficos, de diagnóstico e de monitoramento de edifícios	0	1	3,5
10. Implementação de programas termográficos para edifícios	1	1	3
11. Gestão de programas termográficos para edifícios	0,5	1,5	4
12. Exame de treinamento: Tópicos 1 a 11	2	2	3
Termografia Infravermelha — Geral — Total	24	24	24

(continua)

(continuação)

Assuntos	Classe I (h)	Classe II (h)	Classe III (h)
Tecnologia das construções e termografia			
13. Tecnologia das construções / Física das construções	16	6	2
14. Termografia aplicada nas construções	8	12	4
15. Dispositivos auxiliares	2	4	2
16. Detecção de calor, ar e umidade nas construções	8	12	5
17. Exame de treinamento: Tópicos 13 a 16	2	2	3
Tecnologia das construções e termografia — Total	36	36	16
Total de horas para cada classe	60	60	40

Fonte: Adaptado de BSI (2015)

Além do conhecimento acerca dos princípios da termografia e do manejo dos equipamentos necessários para a execução do ensaio, é necessário domínio sobre a mensuração das variáveis envolvidas nas medições termográficas, as quais afetam, em maior ou menor escala, tanto a precisão como a interpretação dos resultados obtidos em uma inspeção termográfica (BAUER; PAVÓN, 2015; INFRARED TRAINING CENTER – ITC, 2018).

As principais variáveis termográficas podem ser divididas em três grupos: as relacionadas com o equipamento, com o alvo da inspeção termográfica, além dos parâmetros relacionados com o ambiente onde o objeto investigado se encontra inserido, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Variáveis da aplicação da termografia classificadas quanto ao equipamento, ao alvo e ao ambiente ao qual se encontra inserido

EQUIPAMENTO	ALVO	AMBIENTE
Foco (clareza da imagem)	Emissividade do objeto (valores reais de temperatura)	Umidade relativa da atmosfera
Resolução da câmera (definição da imagem e área de estudo)	Reflexão (geometria e posicionamento do alvo)	Temperatura ambiente refletida (temperatura do entorno do objeto)
Resolução geométrica IFOV	Distância	Temperatura atmosférica.
Ângulo de visão ao alvo (posicionamento da câmera)	Natureza do material (metálico, cerâmico; polímero, porosidade, teor de umidade);	
Calibração da câmera	Tipo de superfície (lisa ou rugosa)	

Fonte: Autora

2.1.1 Variáveis termográficas relacionadas ao equipamento

As variáveis foco, lente, resolução da câmera e resolução geométrica ou IFOV — *Instantaneous Field of View*, estabelecem o alcance das inspeções, definindo o tamanho das anomalias a serem analisadas e a distância a que o estudo pode ser feito, garantindo desta forma, a precisão da imagem, enquanto que os ângulos limites devem ser respeitados e a calibração do equipamento deve ser realizada de modo a não induzir erros nos termogramas (BAUER; PAVÓN, 2015).

O foco da câmera é um parâmetro crucial na determinação da qualidade da imagem, visto que uma imagem embaçada pode facilmente disfarçar anomalias térmicas no objeto inspecionado, e também na obtenção de medições precisas de temperatura — de acordo com a Fluke Corporation (2020), a variação produzida na mediação de temperatura em uma imagem fora de foco pode alcançar uma ordem de grandeza de até 20 graus, levando a diagnósticos incorretos acerca da matéria investigada, conforme exposto na Figura 5.

Figura 5 – Influência da variável foco nos termogramas na detecção de anomalias térmicas na superfície investigada (a) e na medição de temperatura (b)



Fonte: Adaptado de Fluke Corporation (2020)

O Quadro 2 apresenta os tipos gerais de sistemas de foco existentes nos modelos de termocâmara disponíveis no mercado e a finalidade mais adequada para qual se destina.

Quadro 2 – Tipos de foco existentes nos modelos de câmeras termográficas disponíveis no mercado

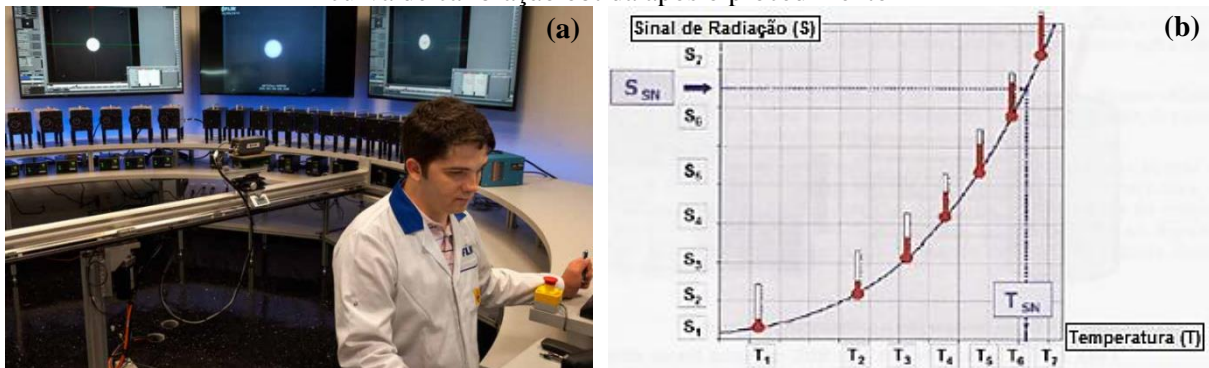
SISTEMA DE FOCO	FINALIDADE
Fixo	Dotadas da tecnologia de apontar e disparar, as termocâmeras de foco fixo usualmente possuem baixa resolução e são destinadas para a inspeção de alvos a uma distância específica, sendo empregadas normalmente no escaneamento rápido de uma área para identificar pontos quentes e frios evidentes.
Manual	As termocâmeras de foco manual possuem resolução mais alta e são mais indicadas para termografistas experientes, podem ser empregadas para focar um alvo a uma curta distância e maior precisão, além de capturar imagens muito mais nítidas a distâncias maiores.
Automático	O sistema de foco automático abrange uma gama de tecnologias, como o foco automático assistido por laser e a captura de imagem multifocal, capazes de acelerar a obtenção de imagens nítidas, sendo indicado tanto para profissionais novatos, quanto para experientes.

Fonte: Adaptado de Fluke Corporation (2020)

A calibração da câmera é todo o processo que envolve a correlação entre o que a câmera enxerga (radiação infravermelha) com temperaturas conhecidas, para que a câmera possa medir de forma acurada a radiação detectada, e deve ser em virtude do envelhecimento dos componentes eletrônicos do equipamento ao longo dos anos, que podem causar mudanças na calibração, gerando imprecisões nas leituras térmicas efetuadas. A exemplo dos equipamentos da FLIR, trata-se de um procedimento realizado em laboratório e certificado de acordo com normativos internacionais específicos, tais como as normas do Instituto de Pesquisa Técnica SP e do Instituto Nacional de Normas e Tecnologia – NIST (*National Institute of Standards and Technology*), ambos da Suécia (ITC, 2018; TELEDYNE FLIR LLC., 2019, 2022).

A calibração é realizada sob condições ambientais controladas, em que um grande número de fontes de referência de corpo negro, com diferentes temperaturas, é disposto em um semicírculo diante do termovisor, que se encontra fixo em uma mesa giratória conectada a um sistema de controle automático da estação de calibração (Figura 6a). Durante o procedimento são coletados os sinais emitidos pelas fontes de referência registradas para cada temperatura e a partir destes valores é obtida uma curva de calibração, conforme Figura 6b, a qual será transferida para a memória da câmera e utilizada para relacionar a radiação com a temperatura (ITC, 2018; TELEDYNE FLIR LLC., 2019, 2022).

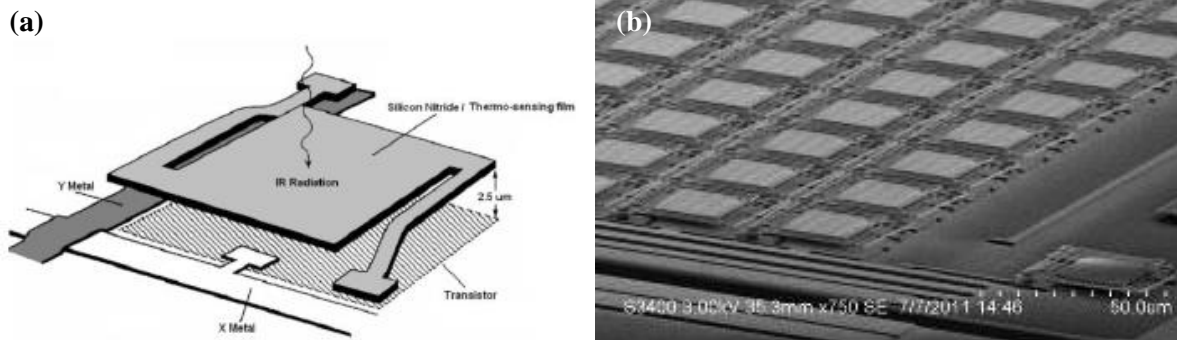
Figura 6 – (a) Estação de calibração de câmeras infravermelhas da fábrica da FLIR na Suécia; (b) curva de calibração obtida após o procedimento



Fonte: Adaptado de ITC (2018) e Teledyne FLIR LLC. (2019)

A resolução da câmera termográfica guarda correlação com a medição de temperatura, visto que cada pixel de um termograma corresponde à medição de temperatura obtida através de um sensor, denominado microbolômetro (Figura 7), o qual é sensível à radiação infravermelha. A resolução térmica do equipamento é definida pela quantidade de microbolômetros, ou detectores de plano focal. As resoluções de mercado disponíveis variam de 80 x 60 até 1024 x 768 pixels. Os equipamentos mais frequentemente utilizados encontram-se na faixa de 320 x 240 e 480 x 360 pixels/microbolômetros (ANDRADE, 2020; ITC, 2018).

Figura 7 – Vista em detalhe de um microbolômetro (a) e dos detectores de plano focal (b)

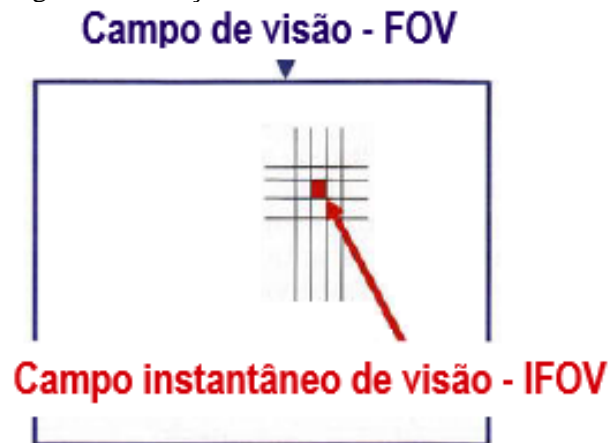


Fonte: Adaptado de Andrade (2020)

A resolução geométrica, também conhecida como IFOV ou campo de visão instantâneo, é uma medida angular expressa em miliradianos, ou mrad, que mede a capacidade do termovisor em detectar o menor objeto a uma distância definida dentro do campo de visão FOV — *Field of view*, que corresponde ao tamanho do detector projetado através das lentes ao alvo, sendo, portanto, um parâmetro dependente da lente da câmera e das dimensões do plano focal, sendo expresso em graus. O IFOV também pode ser expresso como a razão entre a distância e o tamanho do ponto (ANDRADE, 2020; ITC, 2018; TEJEDOR *et al.*, 2017).

A Figura 8 ilustra a relação dimensional entre os parâmetros de FOV e IFOV ao dividir as dimensões do campo de visão pelo número de pixels, em linhas e colunas, obtendo uma área de 1,0 mm² correspondente ao campo instantâneo de visão (FLIR SYSTEMS, 2012). A variável IFOV é importante, pois define o tamanho máximo do alvo para medição correta.

Figura 8 – Relação dimensional entre FOV e IFOV



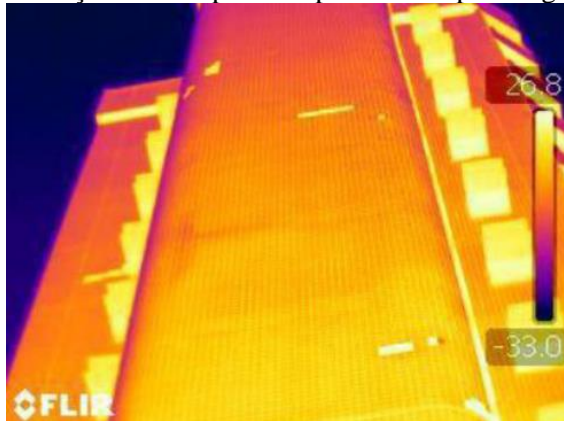
Fonte: Adaptado de ITC (2018)

Para garantir que pelo menos um pixel seja completamente coberto pela radiação que vem do objeto (alvo), considera-se a resolução de medição — MFOV, como no mínimo três vezes o valor da resolução geométrica, assegurando a confiabilidade da medição (ANDRADE, 2020; ITC, 2018).

Os termovisores comercialmente disponíveis têm FOV variando de 7° a 45° e quanto menor o campo de visão do equipamento, maior sua resolução espacial e menor sua abrangência visual. Enquanto os valores de IFOV típicos para lentes próprias do equipamento estão entre 0,6 e 3,7 mrad e quanto maior o campo instantâneo de visão, menor será a resolução nos termogramas. De acordo com Andrade (2020), câmeras com menor valor de IFOV e maior resolução permitem fazer leituras mais precisas e obter termogramas com maior nitidez e clareza para a detecção de anomalias.

O ângulo de visão ao alvo é outra variável que se mostra como uma limitação na realização das inspeções termográficas dada a sua influência sobre a emissividade, a utilização de ângulos muito elevados (maiores que 45°) e/ou a inspeção de objetos com superfícies arredondadas acarretam na obtenção de valores de temperaturas falsos nos termogramas, conforme é possível observar na Figura 9 (BAUER; PAVÓN, 2015; PAVÓN, 2017).

Figura 9 – Imprecisões nas medições de temperatura provocadas pelo ângulo de visão e forma do alvo



Fonte: Bauer e Pavón (2015)

2.1.2 Variáveis termográficas relacionadas ao alvo

A distância entre o alvo e a lente frontal do termovisor pode ser medida com uma fita métrica ou trena, sendo importante não apenas por sua influência na resolução dos termogramas, como também por questões de enquadramento. Este valor serve para que sejam feitas as correções dos valores devido à atenuação atmosférica ocasionada pela radiação da própria atmosfera e pela radiação do objeto alvo absorvida pela distância da atmosfera presente entre o sensor da câmera e o objeto radiante. Quanto maior a distância, maior será a área da superfície e a radiação captada pelo equipamento passa a ser uma média da radiação emitida, perdendo-se detalhes na imagem, ou seja, é recomendável que os termogramas sejam capturados a uma distância mais próxima possível do alvo, com a finalidade de para capturar de forma mais precisa as informações de uma determinada superfície investigada, diminuindo a interferência de seu entorno (ANDRADE, 2020; LOURENÇO; MATIAS; FARIA, 2016, 2017; PAVÓN, 2017).

Lourenço, Matias e Faria (2016) classificam a emissividade como a variável mais importante numa inspeção termográfica, sobretudo para materiais com baixa emitância (onde uma pequena variação de emissividade pode levar a grandes variações nas temperaturas registradas). Trata-se de um parâmetro imprescindível para o cálculo da temperatura e frequentemente determinado com baixa precisão, conforme abordado no item 2.1.

A reflexão é a perturbação sobre ou da superfície do objeto alvo decorrente de um objeto ou elemento posicionado no campo da imagem termográfica; é uma das principais dificuldades da termografia, principalmente nas medições em campo. Tal perturbação pode ser gerada por materiais e elementos de construção com acabamentos muito lisos e com brilho, principalmente

quando os estudos são conduzidos sob uma forte incidência solar, que acabam por refletir a radiação infravermelha de outros corpos, acarretando interpretações errôneas dos termogramas, conforme ilustrado na Figura 10. Trata-se de problema muito frequente em relação às avaliações de fachadas de edifícios, que limita a aplicação da técnica (BAUER; PAVÓN, 2017; PAVÓN, 2017).

Figura 10 – Imprecisões nas medições de temperatura provocadas pela reflexão



Fonte: Bauer e Pavón (2015)

2.1.3 Variáveis termográficas relacionadas ao ambiente

A mensuração das variáveis associadas ao ambiente permite uma maior exatidão na obtenção de valores das temperaturas por meio dos termogramas. A temperatura ambiente (existente entre a câmera e o objeto alvo presente no ambiente de análise) afeta os resultados, tendo em vista que quanto mais quente o ambiente estiver, maior será a emissão de radiação da atmosfera, o que traz imprecisão na medição real da temperatura feita pelo equipamento (ANDRADE, 2020; BAUER; PAVÓN, 2017; FLIR SYSTEMS INC., 2016).

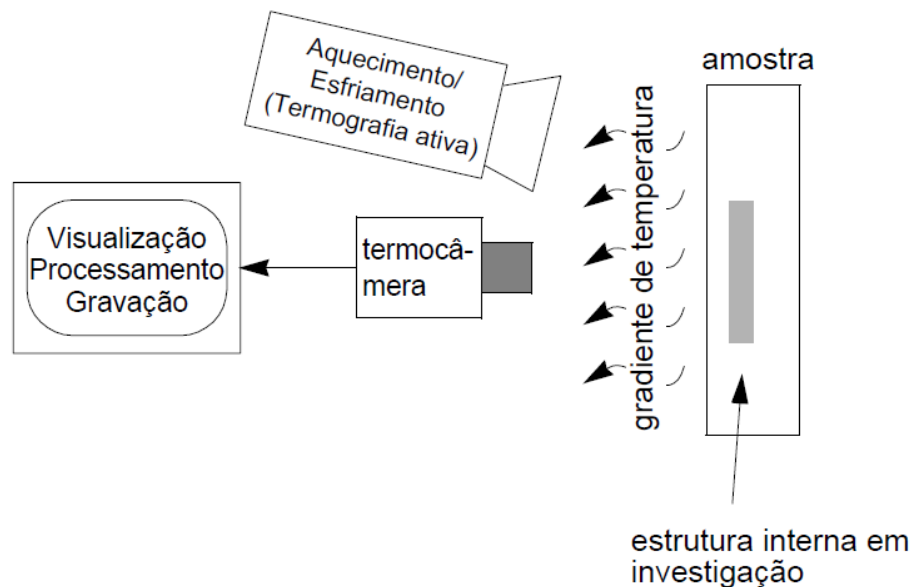
A umidade relativa do meio, medida através de um instrumento chamado psicrômetro, é um parâmetro fundamental para a compensação, uma vez que parte da radiação emitida pelo objeto e atenuada pela atmosfera ocorre pela presença de teores de vapor de água na atmosfera; a transmitância também guarda relação de dependência com a umidade relativa e deve ser compensada pelo transmissor, enquanto a temperatura aparente refletida é uma variável de correção inserida na parcela de radiação dos objetos do entorno do alvo estudado, utilizado para compensar a radiação refletida no objeto (ANDRADE, 2020; BAUER; PAVÓN, 2017; FLIR SYSTEMS INC., 2016).

2.2 Classificação da termografia infravermelha

De acordo com Pavón (2017), a termografia infravermelha é classificada quanto ao tipo de análise e interpretação das imagens térmicas como: qualitativa, baseada na identificação e análise visual de pontos quentes e pontos frios do termograma, através da diferença de cores; ou quantitativa, usada para tipificar uma anomalia quanto à sua severidade, requerendo uma maior exatidão nas temperaturas captadas no termograma com os devidos acertos e medições de parâmetros termográficos, tais como: emissividade, distância, temperatura refletida, dentre outros (BAUER *et al.*, 2015a).

Quanto ao tipo de estimulação utilizada, a técnica pode ser tipificada como: passiva, onde não há emprego de estimulação artificial, requerendo uma diferença natural de temperatura entre o objeto em estudo e o meio no qual se encontra inserido (PEDRA, 2011), identificando as anomalias pelos fluxos de calor em condições naturais de exposição; ou ativa, que exige um estímulo externo com o fornecimento de calor para gerar um gradiente térmico suficiente para revelar as falhas existentes, conforme representação esquemática constante na Figura 11.

Figura 11 – Representação esquemática da aplicação da termografia infravermelha ativa como END



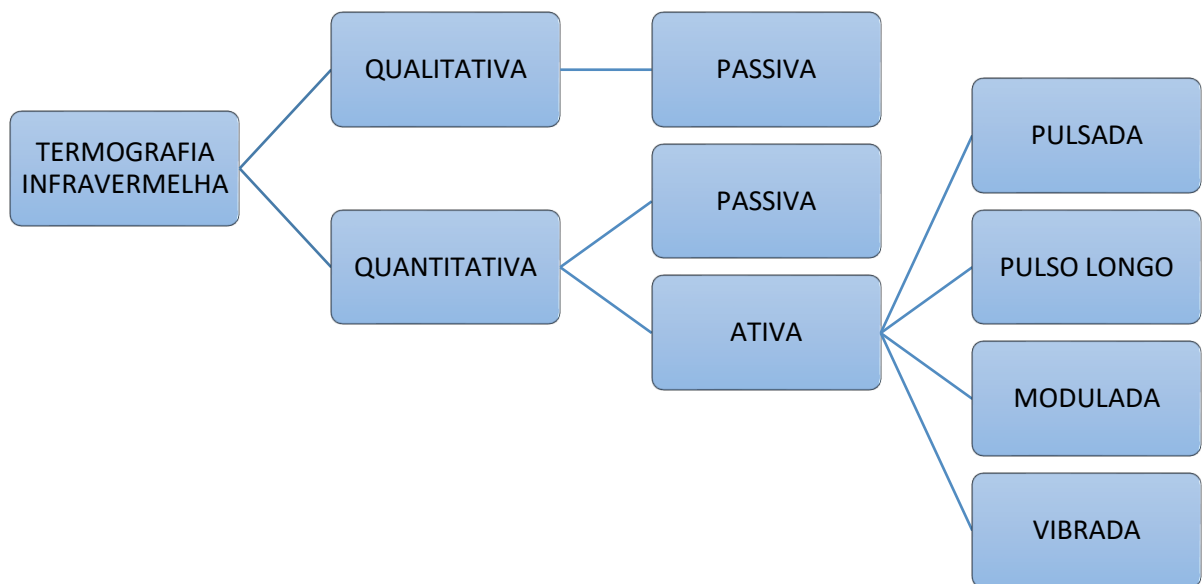
Fonte: Adaptado de Maldague (2000)

Os estímulos externos podem ser discriminados como: pulsados, em que a temperatura do material é modificada rapidamente por um pulso térmico instantâneo; de pulso longo, através de aquecimento contínuo e prolongado; modulado, com a aplicação de um perfil de aquecimento modulado sinusoidal, baseado em ondas térmicas geradas no interior da amostra,

e vibrado, com a indução de vibrações mecânicas externas para a avaliação do calor liberado nas áreas danificadas (PAVÓN, 2017).

A escolha dos estímulos depende da finalidade da pesquisa e das características dos objetos em estudo. Na Figura 12 consta um fluxograma esquemático da classificação das técnicas e métodos da termografia infravermelha.

Figura 12 – Classificação da termografia infravermelha



Fonte: Adaptado de Bagavathiappan *et al.*(2013)

2.3 Normatização

Analisando o Quadro 3, observa-se no cenário internacional, especificamente nos Estados Unidos e na União Europeia, a existência de normas técnicas que tratam de termografia infravermelha e suas aplicações desde os anos 80. Percebe-se, também, um maior enfoque dos normativos voltado à construção civil, os quais se direcionam ao estudo de problemas de isolamento térmico, temperaturas dos revestimentos de edifícios e detecção de anomalias em elementos específicos das construções, assim como a formação de profissionais habilitados a proceder investigações termográficas em edifícios.

Quadro 3 – Normas internacionais que tratam da aplicação da termografia infravermelha no âmbito da construção civil

NORMA	TÍTULO	ESCOPO
BS EN ISO 6781-3	<i>Performance of buildings — Detection of heat, air and moisture irregularities in buildings by infrared methods</i>	A BS EN ISO 6781-3 especifica um método qualitativo para a detecção de irregularidades térmicas em fachadas de edifícios através de ensaio termográfico, sendo recomendado para identificar grandes variações nas propriedades térmicas, incluindo a estanqueidade ao ar e dos componentes que constituem os revestimentos externos dos edifícios. Não sendo aplicável para a determinação do grau de isolamento térmico e estanqueidade ao ar de uma estrutura (BSI, 2015).
BS EN 13187	<i>Thermal performance of buildings — Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes — Infrared method</i>	Esta norma especifica um método qualitativo para a detecção de irregularidades térmicas nas fachadas de edifícios por meio de inspeção termográfica. Duas formas de termografia são especificadas neste normativo (BSI, 1999a): <ul style="list-style-type: none"> • os testes com uma câmera infravermelha destinados principalmente à inspeção do desempenho geral de novos edifícios ou do resultado após reforma; • os testes simplificados com uma câmera infravermelha adequados para realizar auditorias.
BS EN 1767	<i>Products and systems for the protection and repair of concrete structures — Test methods — Infrared analysis</i>	Esta norma descreve a aplicação da termografia infravermelha em produtos baseados em resinas sintéticas antes de sua utilização, particularmente no caso de produtos bicomponentes e cada componente separadamente antes de sua mistura. Também é aplicável em emulsões de polímeros (látex) que devem ser misturados com aglutinantes hidráulicos (BSI, 1999b).
ASTM C1155-95	<i>Standard Practice for Determining Thermal Resistance of Building Envelope Components from the In-Situ Data</i>	Esta norma abrange a coleta de dados de medição <i>in-situ</i> de temperaturas e fluxos de calor em fachadas de edifícios para calcular a resistência térmica, fornecendo uma estimativa do valor para a faixa de temperaturas encontrada durante a medição de temperatura e fluxo de calor (ASTM, 2013a).
ASTM D4788-03	<i>Standard Test Method for Detecting Delaminations in Bridge Decks Using Infrared Thermography</i>	Esta norma trata do teste de determinação dos destacamentos em pontes de concreto, utilizando a termografia infravermelha. Este ensaio é destinado para uso em plataformas de pontes de concreto expostas e sobrepostas (ASTM, 2013b).
ASTM C1046-95	<i>Standard Practice for In-Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope Components</i>	Esta norma abrange uma técnica de utilização de transdutores de fluxo de calor (HFTs) e transdutores de temperatura (TTs) em medições <i>in-situ</i> do comportamento térmico dinâmico ou em estado estável dos componentes opacos dos revestimentos dos edifícios, com a utilização da termografia infravermelha como técnica para localizar pontos apropriados para sensores HFTs e TTs, a menos que as condições de subsuperfície sejam conhecidas (ASTM, 2013c).
ASTM E1862-14	<i>Standard Practice for Measuring and Compensating for Reflected Temperature Using Infrared Imaging Radiometers</i>	Esta norma abrange procedimentos de medição e compensação da temperatura refletida ao medir a temperatura de superfície de uma amostra com um radiômetro de infravermelho (ASTM, 2014a).

(continua)

(continuação)

NORMA	TÍTULO	ESCOPO
ASTM E1933-14	<i>Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers</i>	Esta norma abrange procedimentos para medir e compensar a emissividade ao medir a temperatura superficial de uma amostra com um radiômetro de infravermelho (ASTM, 2014b).
ASTM C1060-11a	<i>Standard Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings</i>	Esta norma é um guia para o uso adequado de sistemas para obtenção de imagens infravermelhas na realização de inspeções térmicas qualitativas em paredes, tetos, telhados, pisos, estruturas de madeira ou metal de uma edificação, que contenham isolamento nos espaços entre os componentes de sua estrutura. Este procedimento permite a detecção de cavidades onde o isolamento é inadequado ou ausente, permitindo a identificação de áreas com isolamento adequado (ASTM, 2015a).
ASTM C1153-10	<i>Standard Practice for Location of Wet Insulation in Roofing Systems Using Infrared Imaging</i>	Esta norma se aplica às técnicas que empregam imagens infravermelhas coletadas à noite para determinar a localização do isolamento contra umidade em sistemas de telhados que têm proteção acima do pavimento em contato com a impermeabilização, incluindo inspeções realizadas em terra e aéreas. Também trata de critérios para equipamentos infravermelhos tais como diferença mínima de temperatura determinável, diferença espectral, IFOV e FOV; condições meteorológicas nas quais as inspeções termográficas devem ser conduzidas. Ainda aborda o efeito da construção do telhado, diferenças de material e das condições do telhado nas inspeções infravermelhas. Também trata dos procedimentos de execução, qualificações do operador e procedimentos operacionais, além da verificação dos dados de infravermelho através de métodos de teste invasivos (ASTM, 2015b).
BS EN ISO 6781-3	<i>Performance of buildings — Detection of heat, air and moisture irregularities in buildings by infrared methods — Part 3: Qualifications of equipment operators, data analysts and report writers</i>	Esta parte da BS EN ISO 6781-3 especifica as qualificações e os requisitos de competência para o pessoal que (i) realiza investigações termográficas em edifícios, (ii) interpreta os dados provenientes de investigações termográficas, e (iii) relata os resultados das investigações termográficas. Também fornece a base para uma declaração de conformidade, dividida em três classes, do conhecimento, habilidades dos indivíduos para realizar medições termográficas, análises e relatórios de resultados para pequenos edifícios, edifícios residenciais, edifícios comerciais e institucionais (BSI, 2015).
ISO 10880	<i>Non-destructive testing — Infrared thermographic testing — General principles</i>	Esta norma fornece princípios gerais para testes termográficos infravermelhos no âmbito ensaios não destrutivos (END) (INTERNATIONAL STANDARD, 2017).

Fonte: Autora

Quanto ao cenário nacional, a partir do final da década de 2000, a ABENDI (2021), em conjunto com a ABNT, coordenou a elaboração das normas técnicas relativas aos ensaios não destrutivos no Brasil, dentre os quais a termografia infravermelha se encontra inserida. Entretanto, percebe-se que os normativos brasileiros relativos à citada técnica estão mais centrados na aplicação e no estudo de sistemas e equipamentos elétricos e mecânicos, conforme exposto no Quadro 4.

Quadro 4 – Normas nacionais que tratam da aplicação da termografia infravermelha

NORMA	TÍTULO	ESCOPO
NBR 15718	Ensaaios não destrutivos — Termografia — Guia para verificação de termovisores.	Esta norma fornece diretrizes para garantir a confiabilidade das medições dos termovisores, através de procedimentos seguidos pelo usuário final para a verificação dos termovisores durante o intervalo da validade da calibração definido pelo próprio usuário (ABNT, 2009a).
NBR 15763	Ensaaios não destrutivos — Termografia — Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência.	Esta norma prescreve os critérios para definição de periodicidade de inspeção por termografia de sistemas elétricos de potência (ABNT, 2009b).
NBR 15572	Ensaaios não destrutivos — Termografia — Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânico.	Esta norma constitui um guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos, indicando as responsabilidades do usuário final e do inspetor termografista, além de descrever uma rotina adequada para a inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos (ABNT, 2013b).
NBR 16292	Ensaaios não destrutivos — Termografia — Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas.	Esta norma descreve os procedimentos para medição e compensação da temperatura aparente refletida quando da medição da temperatura da superfície de um objeto utilizando câmeras termográficas (ABNT, 2014).
NBR 15424	Ensaaios não destrutivos — Termografia — Terminologia.	Esta norma define os termos utilizados no método de ensaio não destrutivo de termografia (ABNT, 2016a).
NBR 16485	Ensaaios não destrutivos — Termografia — Medição e compensação da emissividade utilizando câmeras termográficas ou radiômetros	Esta norma descreve os métodos para realizar a medição e compensação da emissividade da temperatura da superfície de um objeto utilizando câmeras termográficas ou radiômetros (ABNT, 2016b).
NBR 16818	Ensaaios não destrutivos — Termografia infravermelha — Procedimento para aplicações do método da termografia infravermelha.	Esta norma estabelece diretrizes contendo as informações mínimas para a elaboração de procedimento escrito para aplicações do método de termografia infravermelha (ABNT, 2020).

Fonte: Autora

Apenas as normas referentes à terminologia e padronização dos métodos de medição (NBRs 15424 e 16818), verificação de termovisores (NBR 15718), compensação da temperatura aparente refletida, de emissividade e de transmitância (NBRs 16292, 16485 e 16554, respectivamente) são aplicáveis na construção civil, evidenciando uma carência de normalização nacional específica para a aplicação da termografia no setor, que denota uma deficiência relativa ao estabelecimento de procedimentos padronizados, parâmetros, índices e critérios no cenário local no que concerne ao processo de inspeção e diagnósticos das edificações (ANDRADE, 2020; BAUER *et al.*, 2015b; BAUER; PAVÓN, 2015).

2.4 Aplicações da termografia na investigação de anomalias na construção civil

A termografia é uma técnica que não substitui ensaios tradicionais, como o de percussão, porém serve como uma ferramenta de apoio ao possibilitar o direcionamento da execução de outros procedimentos, provendo uma prévia identificação das áreas possivelmente afetadas e de regiões onde será necessária a promoção de trocas pontuais ou até possibilitar um diagnóstico de um problema generalizado na superfície investigada. O uso integrado de várias técnicas não destrutivas constitui uma poderosa ferramenta no monitoramento *in loco* das edificações, com relativo baixo custo (RUIZ VALERO; FLORES SASSO; PRIETO VICIOSO, 2019).

Na engenharia civil esta técnica foi empregada no estudo de problemas de isolamento térmico, detecção de anomalias nas estruturas de concreto armado, nos revestimentos de edifícios (fachadas e pisos), de pavimentos rígidos e asfálticos, na avaliação e caracterização de materiais de construção, dentre outros, tendo sido cada vez mais usada como uma técnica de inspeção para identificar e mapear defeitos de fachada e sua gravidade (BAUER; MILHOMEM; AIDAR, 2018).

Conforme abordado no item 2.3, existe uma lacuna em nível nacional no que se refere à normalização específica para a aplicação da termografia na inspeção e diagnósticos das edificações, denotando falta de procedimentos padrão, índices e critérios para execução do ensaio.

Tal deficiência motiva a realização de pesquisas recentes dedicadas a modificar este cenário, objetivando uma melhora na avaliação da ocorrência de manifestações patológicas pelo método da termografia infravermelha, bem como na interpretação de seus resultados.

De acordo com Andrade (2020), os principais grupos de pesquisa da aplicação da termografia infravermelha estão concentrados na Europa, com destaque para Portugal, Espanha e Itália. No Brasil verificam-se contribuições acerca deste tópico em Brasília, Goiás, Minas Gerais, Pernambuco, Rio Grande do Sul e São Paulo. A seguir serão comentados alguns estudos seguindo esta linha de pesquisa nos últimos anos.

Menezes, Póvoas e Viégas (2022) aplicaram a termografia infravermelha na verificação de corrosão de armaduras em 10 postes de concreto situados na orla da cidade de Olinda/PE — classe de agressividade ambiental IV e alto risco de degradação, onde foi conduzida análise quantitativa nas faces frontal — sob exposição direta dos respingos de névoa salina — e oposta dos postes no período compreendido entre as 14 e 15 horas, tendo sido possível identificar padrões distintos de comportamento térmico nas estruturas inspecionadas de acordo com o estágio de corrosão das armaduras incidente, caracterizados por uma elevação de temperatura na superfície em decorrência dos produtos químicos expansivos formados após a ocorrência das reações químicas inerentes ao processo de corrosão das armaduras, ou seja, quanto mais avançado o processo corrosivo, maior a variação térmica e o fluxo de calor verificado nas regiões afetadas da estrutura objeto da investigação.

Dias, Flores-Colen e Silva (2021) conduziram um estudo comparativo de diferentes métodos de inspeção de edifícios por meio de estudos de caso em duas edificações, tendo sido empregadas as técnicas de varredura a laser 3-D, termografia infravermelha, fotogrametria e sensoriamento remoto, processamento digital de imagens e inspeção com uso de drones, chegando à conclusão de que não existe uma técnica perfeitamente adequada para todos os tipos de danos patológicos em fachadas.

Cada técnica adotada no referido estudo mostrou vantagens e desvantagens que as revelaram como mais ou menos aconselhável para cada tipo de situação, por exemplo, os ensaios de fotogrametria e processamento digital de imagens mostraram-se mais eficazes em quantificar a degradação da fachada através de aferições e mapeamento de manifestações patológicas, enquanto a termografia infravermelha foi avaliada como mais adequada para detectar anomalias relacionadas à perda de aderência. Por fim, a varredura a laser 3-D apresentou sua utilidade para transpor limitações relacionadas às condições climáticas e incidência de radiação solar e o uso de drones foi indicado para inspeções em edificações altas e/ou com áreas de fachada com difícil acesso.

Tanaka e Pavón (2021) estudaram a influência das dimensões e profundidade dos descolamentos em revestimentos cerâmicos na avaliação termográfica através da análise dos valores obtidos do parâmetro Delta-T — a diferença de medição de temperatura verificada entre a temperatura real do componente afetado pela anomalia e uma temperatura de referência (ITC, 2018) — nas inspeções promovidas em um protótipo de alvenaria com revestimento cerâmico, onde foi simulada a presença de descolamentos.

Com base nas características verificadas no experimento mencionado e na análise estatística realizada, os autores concluíram que a termografia pode ser empregada em períodos com ou sem incidência solar sobre o revestimento a depender das dimensões, mais especificamente largura e área, tendo em vista que não foi constatada influência significativa do fator profundidade em qualquer orientação solar, sustentando ainda que tais resultados facilitam a avaliação do desempenho dos revestimentos.

Barreira *et al.* (2020) empregaram a termografia infravermelha ativa para avaliar o processo de umidificação no concreto leve, como uma forma de levantar pontos fortes e fracos dos métodos de avaliação quantitativa do fenômeno da umidificação empregando a termografia. Para tanto, foi procedida a umidificação parcial da superfície inferior de um corpo de prova em concreto leve, o qual foi submetido à inspeção termográfica ativa num período de 24 horas, onde os termogramas foram capturados automaticamente a cada 5 minutos durante as 8 primeiras horas do experimento e a cada 10 minutos nas 16 horas remanescentes.

Foram utilizadas 3 técnicas para avaliar qualitativamente os resultados: análise através de estatística descritiva — sendo possível constatar que a variância aumentou conforme o andamento do processo de umidificação devido ao aumento da área úmida, e através dos gráficos *box-plot* relativos à camada média do corpo de prova, identificando, através das variações de temperatura, o nível alcançado pela água absorvida em diferentes momentos da experiência; da subtração de imagens — procedimento que consistiu no processamento da subtração de cada imagem captada pela imediatamente anterior, desde o início do período de umidificação, e resultou na representação mais eficiente para destacar a evolução da ação da umidade no corpo de prova e caracterizar o fenômeno da umidificação, permitindo a identificação do nível alcançado pela água em cada momento e na identificação das áreas onde a evaporação ocorreu de forma mais intensa; e do índice térmico — que permitiu quantificar a

taxa de resfriamento do corpo de prova, destacando o instante inicial em que o efeito da umidade na temperatura superficial era detectável.

Bersch *et al.* (2020) diagnosticaram as manifestações patológicas no revestimento argamassado das fachadas de dois edifícios históricos de importância científica e social em Porto Alegre (*Chateau* e Observatório Astronômico) por meio de investigação documental, levantamento visual, testes de percussão, mapeamento de danos e termografia, demonstrando que as técnicas aplicadas foram complementares, permitindo um melhor entendimento das causas e consequências das anomalias detectadas; que o mapeamento de danos promoveu uma melhor compreensão da extensão dos danos e quais exigiam maior urgência nas intervenções de reparos e, por fim, que a termografia foi relevante no diagnóstico de áreas afetadas pela ação da umidade e por descolamentos de forma não destrutiva.

Guadagnuolo *et al.* (2020) realizaram uma análise de descolamentos de pedras das fachadas do Palácio Real de Caserta (Campânica, Itália), onde foram empregados os seguintes métodos não destrutivos: radar de penetração da superfície; medidor de cobrimento/detector de armaduras; análises de termografia infravermelha e ensaio fibroscópico. Através dos métodos de ensaios aplicados, foi possível identificar a causa da queda de algumas grandes porções das lajes de revestimento, onde a oxidação dos grampos metálicos localizados internamente foi apontada como sendo o principal fator responsável.

Bu *et al.* (2019) realizaram ensaios laboratoriais focados na termografia infravermelha de pulso longo, com a finalidade de analisar recursos de otimização na detecção de danos em revestimentos de proteção térmica (*Thermal Barrier Coating – TBC*) através das imagens coletadas no referido ensaio, com o emprego de algoritmo de decomposição de valor singular – SVD, do inglês *singular value decomposition*, com a redução de fatores como ruídos e segmentação nos termogramas.

Baseados na comparação entre a aplicação do algoritmo SVD e técnicas tradicionais de processamento de imagens, os autores concluíram que a relação sinal-ruído e o contraste das imagens foram melhorados, tendo sido ainda proposta a utilização de um algoritmo híbrido para a detecção de defeitos nas arestas das estruturas TBC, minimizando o número de informações errôneas e melhorando a obtenção das características das anomalias observadas.

Com o intuito de detectar o processo de corrosão em concreto armado, Rocha e Póvoas (2019) realizaram o uso combinado das técnicas não destrutivas de termografia infravermelha passiva e ultrassom em 6 corpos de prova em concreto armado com recobrimento variando entre 2,5 e 7 cm, os quais foram submetidos a um processo de corrosão acelerada, e em seguida foram realizadas as inspeções termográficas num período compreendido entre 7 e 21 horas, com intervalo de 180 minutos entre cada exame, permitindo a coleta de dados referentes aos ciclos de aquecimento e resfriamento ao longo do dia.

Com a conclusão do ensaio termográfico, foi procedido o ensaio de ultrassom via transmissão direta, tendo sido realizadas três leituras em cada barra de aço e outras três em locais compostos por concreto intacto, para a obtenção da média dos valores obtidos para cada situação investigada.

Por fim, os referidos autores chegaram à conclusão de que o uso conjunto dos métodos otimiza o diagnóstico, tendo em vista que através da termografia é possível localizar as áreas afetadas pela corrosão, e o ensaio de ultrassom permite a caracterização do grau do processo corrosivo, devendo ser levados em conta alguns fatores em sua implementação, considerando que a aplicação da termográfica infravermelha apresentou diversas limitações para a detecção de corrosão nas armaduras em peças de concreto, obtendo resultados mais significativos no período matutino (9 às 12 horas) e restrito às barras situadas em áreas superficiais, com cobertura de 2,5 cm e avançada fase de degradação, sendo possível observar que defeitos no concreto apresentam gradientes térmicos em valores maiores que 0,5 °C, não sendo detectada variação relacionada ao fator água/cimento, enquanto o teste de ultrassom revelou-se mais sensível quanto à detecção de corrosão em corpos de prova com diferentes relações água/cimento (quanto maior a velocidade de propagação, menor o fator a/c) e graus de corrosão (que afetam negativamente a velocidade de propagação de onda nas barras de aço).

Ruiz Valero, Flores Sasso e Prieto Vicioso (2019) combinaram o uso da termografia infravermelha com medições de resistência elétrica dos materiais componentes das fachadas da Igreja de Santa Bárbara (Santo Domingo, República Dominicana), com a finalidade de avaliar sua condição com relação à incidência de umidade superficial. Foram identificadas diversas fontes de umidade, tais como as originadas do subsolo (ascensão capilar), provenientes de vazamentos em instalações hidráulicas danificadas, oriundas de movimentação higroscópica no revestimento, dentre outros. Ao final concluíram que o uso combinado das duas técnicas, além

de diminuir os riscos de diagnósticos errôneos, forneceu uma análise precisa do comportamento dos materiais, facilitando a escolha da solução para recuperação das áreas afetadas, respeitando a autenticidade e o valor histórico da edificação.

Santos, Rocha e Póvoas (2019) testaram o ensaio de termografia infravermelha na identificação de infiltrações em paredes internas. Para tanto, desenvolveram cinco protótipos de alvenaria de tijolos cerâmicos revestidos em diferentes combinações de gesso, cerâmicas e tintas base, simulando vazamentos através da inserção de uma tubulação perfurada na referida amostra. Chegando a conclusão de que a análise termográfica apresentou bom desempenho na detecção de problemas correlatos à ação da umidade, considerando a capacidade demonstrada de localizar vícios ocultos quando da existência de gradiente térmico entre as áreas secas e úmidas das superfícies alvo. Diante da falta de padronização existente para o uso deste método específico na finalidade estudada, os autores recomendaram o uso da termografia como ferramenta auxiliar para diagnóstico em obras civis.

Bauer, Milhomem e Aidar (2018) fizeram uma avaliação do grau de dano de fissuração em fachadas usando a termografia infravermelha, onde foi realizado um monitoramento semicontínuo de uma seção de uma fachada que apresentava fissuras significativas. O objetivo da investigação foi medir o comportamento das mudanças nos termogramas para definir o grau de danos das fissuras. O grau de perturbação do fluxo de calor, evidenciado pelas imagens termográficas adquiridas, associa claramente que o grau de dano pode ser avaliado pela profundidade e pela largura da fissura, ambas determinadas a partir do termograma.

Lagüela *et al.* (2018) propuseram o emprego conjunto de três técnicas não destrutivas — radar de penetração terrestre, termografia infravermelha e varredura terrestre a laser — com a finalidade de inspecionar a pavimentação em blocos pétreos de uma estrada situada em área litorânea.

No referido trabalho foi demonstrada a capacidade da técnica do radar de penetração terrestre para detectar tanto anomalias superficiais, quanto nas camadas internas do pavimento inspecionado, tendo sido constatada a validade da termografia infravermelha para a detecção de danos superficiais e subsuperficiais na estrutura do pavimento, em que pese a tipologia da pavimentação em blocos pétreos tenha dificultado a identificação de anomalias nas camadas mais profundas devido à sobreposição de padrões térmicos internos e externos.

Em continuação, a varredura terrestre a laser permitiu a medição dos danos superficiais em largura e comprimento, além de estimar as dimensões das anomalias mais profundas detectadas pelos outros dois métodos empregados no estudo. Desta forma foi possível, para os autores do estudo em tela, constatar que a interpretação integrada dos resultados obtidos das três técnicas avaliadas permite a identificação precisa de anomalias internas e externas do pavimento estudado, bem como de suas dimensões, revelando informações que anteriormente só poderiam ser obtidas por meio da execução de testes tradicionais e invasivos.

Takeda e Mazer (2018) fizeram um estudo exploratório nas fachadas dos blocos B e C no Campus Curitiba, sede Ecoville da UTFPR, a fim de investigar a ocorrência de anomalias térmicas e os tipos de manifestações patológicas existentes através de inspeções visuais e termográficas em períodos com fluxo de calor positivo e negativo (diurno e noturno). Os autores confirmaram a eficiência da termografia no diagnóstico de descolamentos de revestimentos de fachadas, bem como na avaliação da extensão do dano, demonstrando a viabilidade da técnica como ensaio não destrutivo e no monitoramento da evolução dos danos patológicos.

Hiasa, Birgul e Catbas (2017) desenvolveram, a partir de protótipos reais, modelos de elementos finitos para analisar a transferência de calor em blocos de concreto com descolamentos artificialmente produzidos. Após a validação do modelo por comparação direta com sua contraparte experimental, foram analisados os parâmetros críticos para a detecção de descolamentos de concreto via termografia infravermelha. Por fim, os autores concluíram que a área de descolamento é o fator mais importante de detecção em relação à extensão do dano e possui maior impacto quanto à variação de temperatura que os demais parâmetros avaliados, enquanto a espessura afeta a diferença de temperatura registrada e o volume do descolamento revelou-se como um parâmetro não significativo para detecção por inspeção termográfica.

O estudo também demonstrou que os modelos de elementos finitos são capazes de estimar a profundidade do descolamento detectável pela termografia infravermelha, e que não existe diferença significativa nos resultados de inspeções termográficas realizadas em períodos distintos (diurno e noturno).

Lourenço, Matias e Faria (2017) analisaram sistemas de revestimento cerâmico por meio de simulações de anomalias nas paredes, através de injeção de água em diferentes pontos, utilizando o teste não destrutivo da termografia infravermelha, com a obtenção de termogramas

em diferentes horários do dia, onde foram consideradas as intempéries e as variações de temperatura ao longo do dia nos termogramas gerados. Restando demonstrado, com a conclusão da pesquisa em tela que anomalias como descolamentos e presença de umidade são perfeitamente detectáveis através da termografia infravermelha, apesar de não ser possível avaliar a severidade dos descolamentos quanto à aderência no substrato ou profundidade dos vazios ali existentes.

Visando detectar e quantificar danos em estruturas de concreto armado, Milovanović, Banjad Pečur e Štirmer (2017) empregaram a termografia infravermelha ativa, onde foi verificado que um sistema de excitação térmica com potência de 1000 W é viável para identificar defeitos com 100 mm de diâmetro e a 40 mm de profundidade, a uma distância máxima de 3 metros, sendo possível a detecção de danos ainda menores ou de anomalias em camadas mais profundas com a combinação de outros métodos de pós-processamento, ou utilizando um sistema com potência maior, e um período menor de aquecimento, a depender da dimensão e profundidade em que está localizada a manifestação patológica. Os resultados do referido estudo mostraram claramente a possibilidade de utilizar termografia ativa na detecção e avaliação da profundidade do dano (quantificação) em estruturas de concreto armado, com um erro de medição de aproximadamente 10%.

Bauer *et al.* (2016) analisaram as condições do fluxo de calor em fachadas e o comportamento das manifestações patológicas nas diferentes direções do fluxo. Para isso, foi utilizada a termografia infravermelha em duas amostras compostas por painéis de cimento revestidos em cerâmica e argamassa, com simulações de descolamentos e fissuras, onde foi possível identificar as anomalias internas, tendo em vista que o calor da superfície é afetado pela presença de falhas, umidade, e outras ocorrências, alterando o fluxo de calor usual da peça inspecionada e, portanto, afetando a temperatura da superfície resultante com relação à temperatura da superfície livre.

Silva, Viégas e Póvoas (2016) inspecionaram periodicamente — a cada hora, no período compreendido entre 7 e 18 horas — três fachadas do Bloco I da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco e uma fachada de um prédio vizinho, com a finalidade de obter as melhores imagens de acordo com a emissão de calor ao longo do dia e comparar o comportamento das fachadas dispostas em diferentes posições. Ao final, verificou-se que a termografia infravermelha é uma ferramenta capaz de constatar o descolamento de placas

cerâmicas antes delas se tornarem visíveis, que fachadas com a mesma orientação geográfica e incidência de sol e chuva apresentam desempenho equivalente quanto ao aquecimento e ao resfriamento, bem como manifestações patológicas semelhantes, sendo possível concluir ainda que o melhor período para análise não é aquele que ocorre o pico de temperatura diária, e sim o com maior liberação de calor pelo objeto — no caso em tela, os melhores horários para captação dos termogramas foram das 9 às 10 horas e entre 14 e 15 horas.

Sferra *et al.* (2015) analisaram a Basílica de Santa Maria de Collemaggio (L’Aquila, Itália) após o terremoto de 2009, com o emprego da termografia infravermelha ativa, da técnica de fotografia com luz rasante, interferometria por padrão de *speckle* eletrônico, correlação de *speckle* digital e imagem ultravioleta, onde todas as técnicas utilizadas tiveram o mesmo objetivo: confirmar ou negar informações históricas relativas à edificação inspecionada. Os métodos de interferometria por padrão de *speckle* eletrônico, correlação de *speckle* digital e termografia infravermelha ativa foram considerados como ferramentas simples e poderosas para monitoramento *in situ*.

No Quadro 5 encontram-se sintetizadas algumas particularidades dos estudos abordados no presente item, quanto aos seus objetivos, sistemas construtivos em análise, ensaios e métodos de análises conduzidos.

Quadro 5 – Particularidades dos estudos acerca da aplicação da termografia infravermelha na construção civil abordados neste tópico

AUTORES	OBJETIVO DO ESTUDO	SISTEMA CONSTRUTIVO EM ANÁLISE	MÉTODOS EMPREGADOS
Menezes, Póvoas e Viégas (2022)	Detecção de corrosão de armaduras em concreto armado	Postes em concreto armado	- Inspeção visual - Termografia infravermelha passiva (análise qualitativa e quantitativa)
Dias, Flores-Colen e Silva (2021)	Detecção de danos patológicos em fachadas	Revestimentos de fachada (argamassado / pétreo)	- Varredura a laser 3-D - Termografia infravermelha passiva (análise qualitativa) - Fotogrametria - Sensoriamento remoto - Processamento digital de imagens - Inspeção com uso de drones

(continua)

(continuação)

AUTORES	OBJETIVO DO ESTUDO	SISTEMA CONSTRUTIVO EM ANÁLISE	MÉTODOS EMPREGADOS
Tanaka e Pavón (2021)	Análise da influência das dimensões e profundidade dos descolamentos em revestimentos cerâmicos na avaliação termográfica	Revestimento de fachada (cerâmica)	<ul style="list-style-type: none"> - Termografia infravermelha passiva (análise qualitativa e quantitativa) -Análise de variância – ANOVA
Barreira <i>et al.</i> (2020)	Avaliar o processo de umidificação no concreto leve, como uma forma de levantar pontos fortes e fracos dos métodos de avaliação quantitativa do fenômeno da umidificação.	Corpo de prova em concreto leve	<ul style="list-style-type: none"> - Termografia infravermelha ativa (análise quantitativa e qualitativa) - Estatística descritiva - Subtração de termogramas; - Índice térmico
Bersch <i>et al.</i> (2020)	Diagnóstico de manifestações patológicas no revestimento argamassado das fachadas de duas edificações inspecionadas	Revestimento de fachada (argamassado)	<ul style="list-style-type: none"> - Investigação documental - Inspeção visual - Teste de percussão - Mapeamento de danos - Termografia infravermelha passiva (análise qualitativa)
Guadagnuolo <i>et al.</i> (2020)	Análise de descolamentos de pedras das fachadas do Palácio Real de Caserta (Campânica, Itália)	Revestimento de fachada (pétreo)	<ul style="list-style-type: none"> - Radar de penetração de superfície - Medidor de cobrimento/detector de armaduras - Termografia infravermelha passiva (análise qualitativa) - Ensaio fibroscópico
Bu <i>et al.</i> (2019)	Analisar recursos de otimização na detecção de danos em revestimento de proteção térmica TBC através das imagens coletadas no ensaio da termografia infravermelha de pulso longo	Revestimentos de proteção térmica – TBC	<ul style="list-style-type: none"> - Termografia infravermelha de pulso longo (análise quantitativa) - Processamento de imagens via algoritmos

(continua)

(continuação)

AUTORES	OBJETIVO DO ESTUDO	SISTEMA CONSTRUTIVO EM ANÁLISE	MÉTODOS EMPREGADOS
Rocha e Póvoas (2019)	Detectar o processo de corrosão em concreto armado	Corpos de prova em concreto armado	<ul style="list-style-type: none"> - Termografia infravermelha passiva (análise quantitativa e qualitativa) - Ultrassom via transmissão direta
Ruiz Valero, Flores Sasso e Prieto Vicioso (2019)	Avaliar a condição com relação à incidência de umidade superficial nos componentes da fachada da igreja de Santa Bárbara	Revestimento de fachada (argamassado)	<ul style="list-style-type: none"> - Termografia infravermelha passiva (análise qualitativa) - Medição de resistência elétrica
Santos, Rocha e Póvoas (2019)	Identificação de infiltrações (umidade) em paredes internas	Alvenaria de tijolos cerâmicos e revestimentos internos (gesso / cerâmica / tintas)	<ul style="list-style-type: none"> - Termografia infravermelha passiva (análise qualitativa e quantitativa)
Bauer, Milhomem e Aidar (2018)	Avaliação do grau de dano de fissuração em fachadas usando a termografia infravermelha	Fissuração em revestimento de fachada	<ul style="list-style-type: none"> - Termografia infravermelha passiva (análise qualitativa)
Lagüela <i>et al.</i> (2018)	Avaliação do emprego conjunto de três técnicas não destrutivas para a detecção de anomalias em pavimento revestido com blocos pétreos.	Pavimentação em blocos pétreos	<ul style="list-style-type: none"> - Radar de penetração terrestre - Termografia infravermelha passiva (análise qualitativa) - Varredura terrestre a laser
Takeda e Mazer (2018)	Investigar a ocorrência de anomalias térmicas e os tipos de manifestações patológicas existentes nas fachadas de duas edificações através de inspeções visuais e termográficas	Revestimentos de fachadas (cerâmica / argamassado)	<ul style="list-style-type: none"> - Inspeção visual - Termografia infravermelha passiva (análise qualitativa)

(continua)

(continuação)

AUTORES	OBJETIVO DO ESTUDO	SISTEMA CONSTRUTIVO EM ANÁLISE	MÉTODOS EMPREGADOS
Lourenço, Matias e Faria (2017)	Análise de sistemas de revestimento cerâmico por meio de simulações de anomalias nas paredes, através de injeção de água em diferentes pontos, utilizando o teste não destrutivo da termografia infravermelha	Revestimento de fachada (cerâmica)	- Termografia infravermelha passiva (análise quantitativa e qualitativa)
Hiasa, Birgul e Catbas (2017)	Analisar a transferência de calor em blocos de concreto com descolamentos artificialmente produzidos	Descolamentos em blocos de concreto	- Termografia infravermelha passiva (análise quantitativa e qualitativa) - Método de elementos finitos
Milovanović, Banjad Pečur e Štirmer (2017)	Avaliar a detecção e quantificação de danos em estruturas de concreto armado com o emprego da termografia infravermelha ativa	Corpo de prova em concreto armado	- Termografia infravermelha ativa (análise quantitativa e qualitativa) - Métodos de pós-processamento
Bauer <i>et al.</i> (2016)	Analisar as condições do fluxo de calor em fachadas e o comportamento das manifestações patológicas nas diferentes direções do fluxo	Revestimentos de fachada (cerâmica / argamassa)	- Termografia infravermelha passiva (análise quantitativa)
Silva, Viégas e Póvoas (2016)	Obter imagens conforme a emissão de calor ao longo do dia e comparar o comportamento das fachadas dispostas em diferentes posições	Revestimento de fachada (cerâmica)	- Termografia infravermelha passiva (análise quantitativa e qualitativa)
Sfarra <i>et al.</i> (2015)	Confirmar ou negar informações históricas relativas à edificação inspecionada	Materiais componentes do sistema construtivo da edificação objeto do estudo	- Fotografia com luz rasante - Interferometria por padrão de speckle eletrônico, correlação de speckle digital - Termografia infravermelha ativa

Fonte: Autora

3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DOS REVESTIMENTOS DE FACHADAS

3.1 Anomalias mais frequentes e suas principais causas

O estudo das anomalias construtivas envolve a investigação das origens, causas, mecanismos de ocorrência, manifestações e consequências das situações que fazem as edificações apresentarem um desempenho abaixo da eficiência e durabilidade dos materiais e técnicas construtivas necessárias para assegurar sua vida útil, de acordo com o preconizado em normas técnicas, especificações, ensaios tecnológicos, dentre outros. Costa e Silva (2014) classificou as origens das manifestações patológicas relacionadas aos revestimentos nas edificações da seguinte forma:

- a) materiais: utilização de componentes em desconformidade com o prescrito na normalização brasileira, internacional ou na literatura disponível;
- b) projeto: todos os aspectos relativos à concepção da edificação, como, por exemplo, falta de coordenação entre projetos, escolha de materiais inadequados, negligência em procedimentos básicos como o posicionamento de juntas de dilatação e telas metálicas, dentre outros;
- c) produção: engloba atividades como o controle de recebimento dos materiais, preparação das misturas, obediência aos prazos para a liberação dos serviços, além do acompanhamento da execução dos revestimentos de fachada;
- d) utilização: fatores ligados à operação durante a vida do componente e às atividades de manutenção necessárias para o desempenho adequado do conjunto ao longo dos anos.

A norma de inspeção predial do IBAPE/SP (2011) classifica as manifestações patológicas quanto às suas origens como: endógenas — quando oriundas da própria edificação (falhas de projeto, materiais e/ou execução); exógenas — originárias de fatores externos à edificação, provocados por terceiros; naturais — origem relacionada a fenômenos da natureza; e funcionais — fruto do mau uso, falha ou falta de manutenção.

Os diferentes tipos de manifestações patológicas incidentes nos revestimentos e suas principais causas, sejam elas decorrentes de anomalias construtivas, falhas de manutenção ou irregularidades de uso, se encontram sintetizados no Quadro 6.

Quadro 6 – Principais manifestações patológicas nos revestimentos incidentes nas obras de construção civil decorrentes de anomalias construtivas, falhas de manutenção ou irregularidades de uso

TIPO	SISTEMA	PRINCIPAIS CAUSAS	CLASSIFICAÇÃO
Biodegradação /Colonização biológica (presença de microrganismos)	Revestimento reboco / argamassado	• Umidade prolongada, falta de ventilação/iluminação, porosidade elevada, sujidades	• Anomalia construtiva • Falha de manutenção
Defeitos superficiais	Revestimento cerâmico	• Fabricação inadequada; • Deterioração por ação do gelo.	• Anomalia construtiva
Descolamento com empolamentos	Revestimento argamassado	• Focos de infiltração, hidratação retardada de óxido de magnésio da cal	• Anomalia construtiva
Descolamento com pulverulência	Revestimento argamassado	• Traço com alto teor de aglomerantes ou cal, camada de revestimento com espessura elevada	• Anomalia construtiva
Descolamento em forma de placas	Revestimento argamassado	• Camada de revestimento apresentando espessura elevada, superfície da base muito lisa ou com sujidades, ausência de chapisco	• Anomalia construtiva
Desprendimento	Revestimento reboco / argamassado	• Ação de agentes humanos de ordem mecânica (choque, atrito) • Perda de coesão, ação de agentes atmosféricos (ex.: vento, chuva)	• Irregularidade de uso • Anomalia construtiva
Desprendimento de rejunte	Revestimento cerâmico	• Ausência de reaplicação	• Falha de manutenção
Deterioração de juntas	Revestimento cerâmico	• Procedimentos de limpeza inadequados • Solicitações mecânicas	• Falha de manutenção • Irregularidade de uso
Deterioração mecânica	Revestimento cerâmico	• Escolha inadequada para o local de aplicação • Passagem de materiais ou equipamentos inadequados	• Anomalia construtiva • Irregularidade de uso
Deterioração química	Revestimento cerâmico	• Escolha inadequada para o local de aplicação • Emprego de produtos indevidos	• Anomalia construtiva • Falha de manutenção

(continua)

(continuação)

TIPO	SISTEMA	PRINCIPAIS CAUSAS	CLASSIFICAÇÃO
Eflorescências	Revestimento reboco / argamassado / cerâmico	<ul style="list-style-type: none"> • Umidade prolongada, sais solúveis, cal não carbonatada • Existência de materiais solúveis na pasta, que surgem na superfície ao se dissolverem na presença de umidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Anomalia construtiva
Fendilhação e fissuração	Revestimento reboco	<ul style="list-style-type: none"> • Retração, dilatações térmicas, dosagem deficiente, espessura inadequada, excesso de água 	<ul style="list-style-type: none"> • Anomalia construtiva
Fissuras e trincas	Revestimento cerâmico	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação ou aplicação inadequadas • Utilização irregular 	<ul style="list-style-type: none"> • Anomalia construtiva • Irregularidade de uso
Fissuras horizontais	Revestimento argamassado	<ul style="list-style-type: none"> • Expansão da argamassa de assentamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Anomalia construtiva
Fissuras mapeadas	Revestimento argamassado	<ul style="list-style-type: none"> • Retração da argamassa 	<ul style="list-style-type: none"> • Anomalia construtiva
Fratura	Revestimento cerâmico	<ul style="list-style-type: none"> • Espessura da cerâmica e resistência ao impacto 	<ul style="list-style-type: none"> • Anomalia construtiva
Perda de aderência	Revestimento reboco	<ul style="list-style-type: none"> • Presença de umidade ou sais, erro de execução 	<ul style="list-style-type: none"> • Anomalia construtiva • Irregularidade de uso
Perda de coesão ou desagregação	Revestimento argamassado	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa dureza superficial do reboco 	<ul style="list-style-type: none"> • Anomalia construtiva
Proliferação de fungos	Revestimento argamassado	<ul style="list-style-type: none"> • Umidade constante, presença de sais solúveis na alvenaria ou na água de amassamento, cal não carbonatada, área não exposta ao sol 	<ul style="list-style-type: none"> • Anomalia construtiva
Sujidades	Revestimento reboco / argamassado / cerâmico	<ul style="list-style-type: none"> • Ausência de limpeza 	<ul style="list-style-type: none"> • Falha de manutenção
Vesículas	Revestimento argamassado	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação prematura de tinta impermeável, presença de matéria orgânica na areia 	<ul style="list-style-type: none"> • Anomalia construtiva

Fonte: Adaptado de Gomide e Flora (2018)

3.2 Comportamento térmico das manifestações patológicas dos revestimentos

Este item versa sobre os diferentes comportamentos das manifestações patológicas nos revestimentos, tais como: fissuras, descolamentos, manchas de umidade e biodegradação. Isoladamente esses problemas apresentam diferentes comportamentos térmicos e, quando da ocorrência simultânea, podem dificultar ou auxiliar no processo de identificação.

Para maior exatidão na identificação dos danos, além de definir parâmetros relativos à calibração do equipamento termovisor de acordo com o tipo de análise a ser desenvolvida (qualitativa ou quantitativa, passiva ou ativa), devem ser determinados os períodos e as condições da inspeção termográfica visando obter termogramas que evidenciem as anomalias térmicas características de cada tipo de dano detectado (TAKEDA; MAZER, 2018).

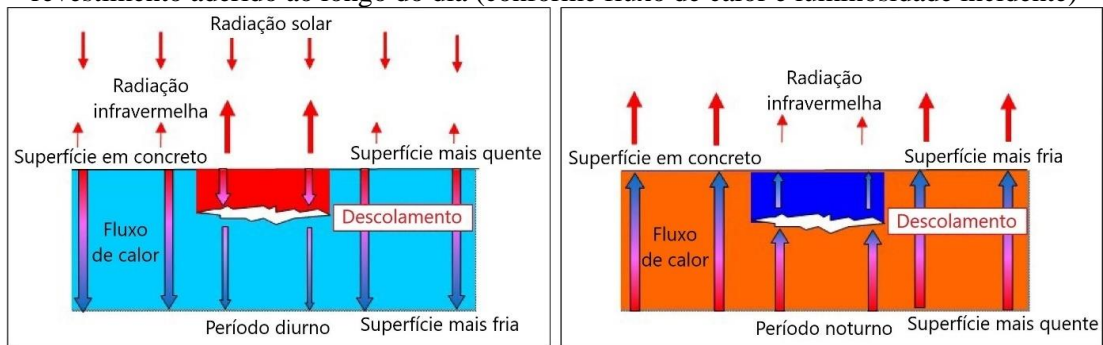
As cores dos revestimentos influenciam a capacidade de detecção de zonas anômalas por termografia conforme a absorvância e a condutividade térmica apresentadas, tendo em vista que taxas de absorvância mais altas provocam a incidência de um maior gradiente térmico na superfície investigada e a condutividade térmica provoca uma aceleração do equilíbrio térmico superficial, provocando uma redução temporal da janela de inspeção através da termografia (ANDRADE, 2020; LOURENÇO; MATIAS; FARIA, 2017)

Falhas de aderência ou ausência de argamassa por trás de revestimentos cerâmicos, assim como descolamentos de revestimentos argamassados, são identificáveis por apresentar temperaturas superficiais maiores que o entorno no período de fluxo de calor positivo e o comportamento inverso no fluxo negativo. (BERSCH *et al.*, 2020; LOURENÇO; MATIAS; FARIA, 2017)

Deve-se atentar que áreas com destacamentos trocam de calor de maneira mais rápida com o meio no qual se encontram inseridas, uma vez que descolamentos geram uma camada de ar e uma resistência térmica aos fluxos de calor, significando que na fase de aquecimento (diurna) a temperatura superficial da área destacada é mais alta, e na fase de resfriamento (noturna) a temperatura superficial é mais baixa na região afetada pelo descolamento. Desta forma, percebe-se que o comportamento térmico nestes casos pode variar de acordo com a luminosidade incidente sobre a superfície, conforme ilustrado nas Figuras 13 e 14; e apesar da rápida variação de temperatura decorrente da incidência solar tornar mais evidente a detecção

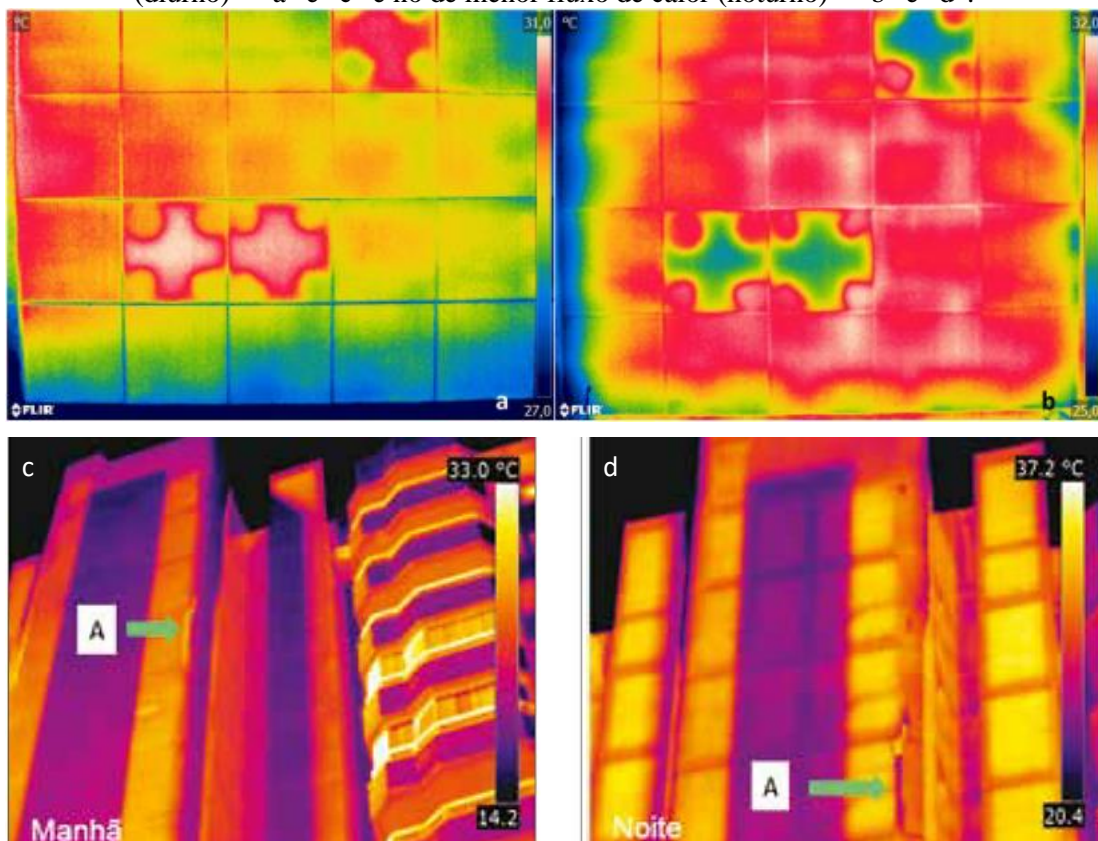
de descolamentos, as leituras térmicas realizadas no período noturno são mais precisas (ANDRADE, 2020; BERSCH *et al.*, 2020; HIASA; BIRGUL; CATBAS, 2017).

Figura 13 – Representação esquemática da variação do comportamento térmico do descolamento de revestimento aderido ao longo do dia (conforme fluxo de calor e luminosidade incidente)



Fonte: Adaptado de Hiasa, Birgul e Catbas (2017)

Figura 14 – Detecção de descolamento de revestimento cerâmico no período de maior fluxo de calor (diurno) – “a” e “c” e no de menor fluxo de calor (noturno) – “b” e “d”.

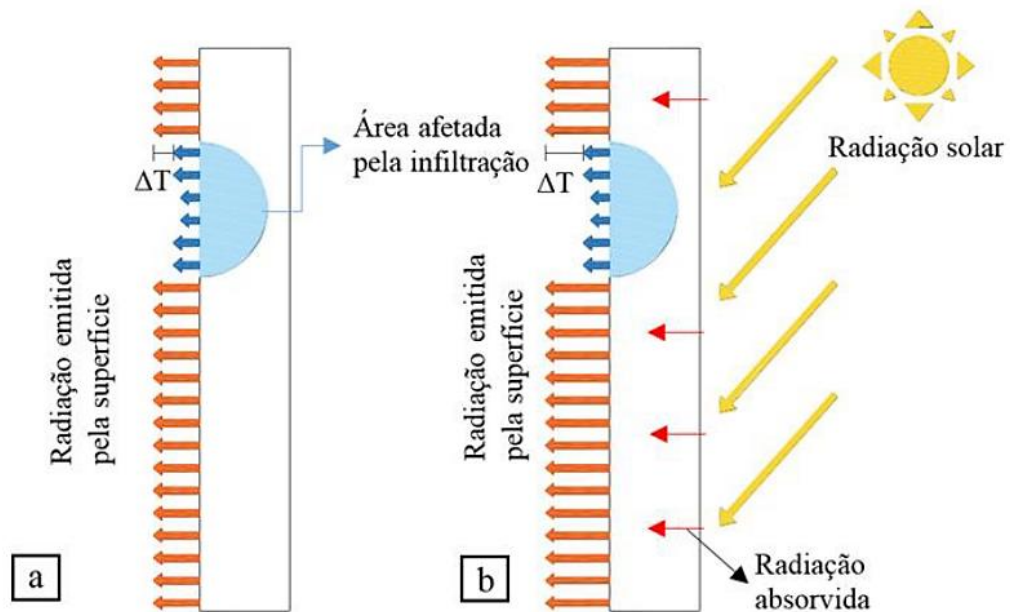


Fonte: Bauer e Pavón (2015); Lourenço, Matias e Faria (2017)

Bauer e Pavón (2015) consideram a definição do momento do dia ou da noite para a realização da inspeção como uma das principais dificuldades na aplicação da termografia, uma vez que o fluxo térmico não é controlado nas medições em campo (termografia passiva).

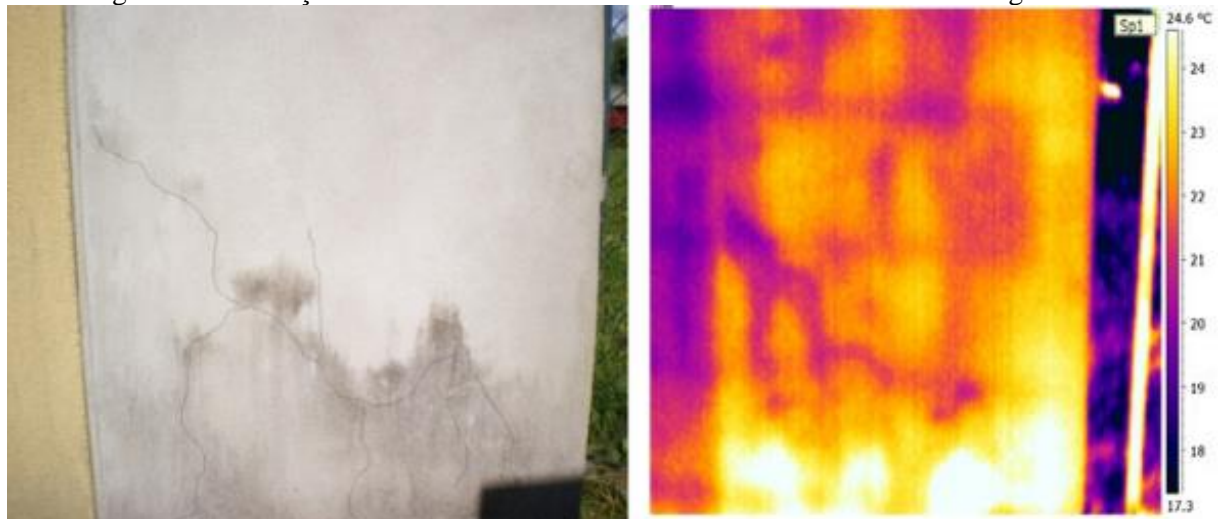
A presença de umidade nas paredes é usualmente reconhecida nos termogramas pelas áreas com temperaturas mais baixas que as regiões adjacentes, conforme exposto na Figura 15, em decorrência do arrefecimento evaporativo, e o comportamento típico de manchamentos e degradação provocados por colonização biológica tem como principal característica temperaturas mais altas, apresentando tons mais avermelhados. Com relação às fissuras, estas raramente são identificadas em termogramas, salvo quando associadas com outras anomalias como manchas de umidade e biodegradação, que facilitam sua detecção (Figura 16) (BAUER *et al.*, 2015b; BERSCH *et al.*, 2020; MENEZES; GOMES; FLORES-COLEN, 2015).

Figura 15 – Representação esquemática da detecção da umidade em paredes e tetos (a) sem contato solar, e (b) com contato solar na superfície externa



Fonte: Rocha *et al.* (2018b)

Figura 16 – Detecção de fissuras com manchas de umidade no revestimento argamassado

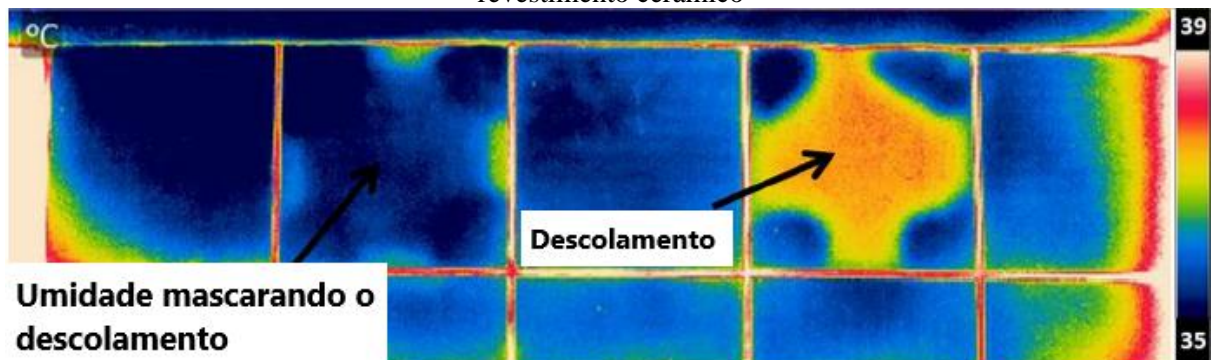


Fonte: Menezes, Gomes e Flores-Colen (2015)

Takeda e Mazer (2018) caracterizaram as citadas manifestações apenas com base em inspeções termográficas complementadas por inspeções visuais, tendo confirmado a presença de umidade em 100% das áreas inspecionadas, para os casos de descolamento essa eficiência diminuiu para 60% dos casos (os quais foram confirmados através do ensaio de percussão e com a realização de nova inspeção durante o fluxo negativo de calor), enquanto que para fissuração apenas 20% dos casos analisados foram passíveis de confirmação, corroborando a constatação de Menezes, Gomes e Flores-Colen (2015), quanto à dificuldade na identificação de fissuras em termogramas.

Conforme mencionado anteriormente, situações de ocorrência conjunta de anomalias com comportamentos térmicos opostos podem dificultar sua detecção, uma vez que provocam a formação de um gradiente térmico nulo na área afetada, mascarando a identificação dos problemas porventura existentes, como ilustrado na Figura 17.

Figura 17 – Presença de umidade na fachada mascarando a identificação do descolamento do revestimento cerâmico



Fonte: Lourenço; Matias e Faria (2017)

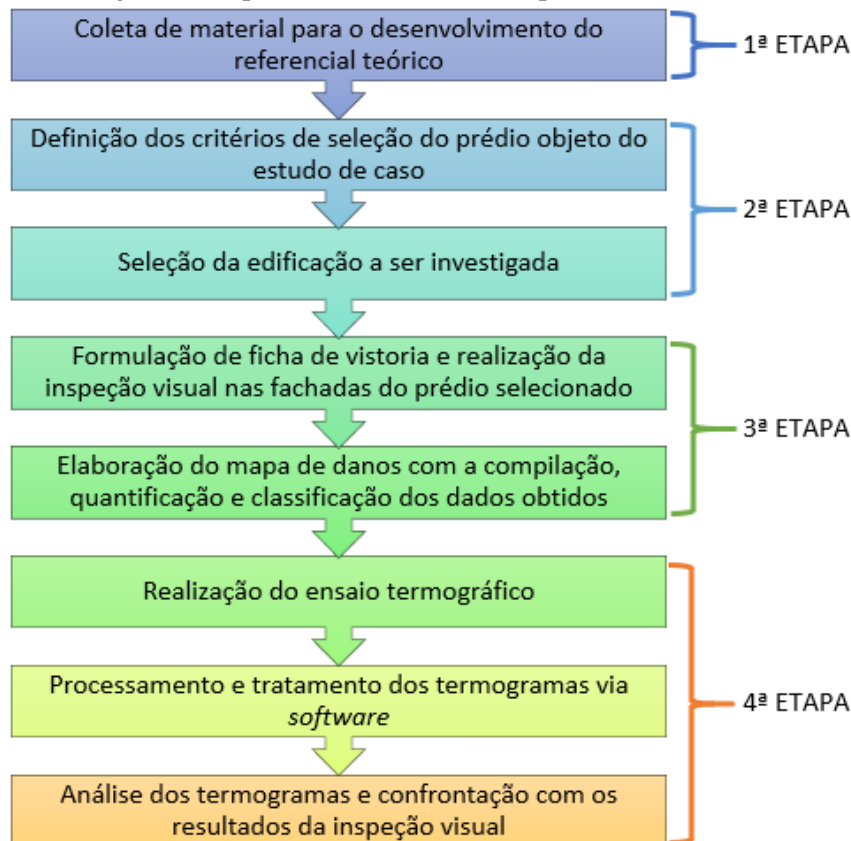
Tal situação evidencia uma limitação da técnica da termografia infravermelha, e para esses casos têm-se como opções disponíveis para a ratificação dos resultados: a realização das inspeções termográficas em diferentes condições climáticas (durante fluxo de calor negativo, por exemplo) ou a adoção de outros métodos investigativos para a obtenção de um diagnóstico preciso (BERSCH *et al.*, 2020; MENEZES; GOMES; FLORES-COLEN, 2015).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa foi dividida em quatro etapas, conforme ilustrado na Figura 18, onde a primeira etapa consistiu na coleta de material para o desenvolvimento de seu referencial teórico, na segunda etapa foram definidos os critérios de seleção da edificação objeto do estudo de caso, os quais, por questões operacionais relacionadas à execução do ensaio não destrutivo da inspeção por termografia infravermelha (limitações do equipamento), ficaram limitados a escolha de prédios com até 5 pavimentos e que apresentassem anomalias construtivas de fachada.

A terceira etapa consistiu na realização de inspeções visuais na edificação selecionada para a coleta dos dados, identificação dos danos patológicos existentes e elaboração do mapa de danos e por fim, a quarta etapa, com a realização das inspeções termográficas propriamente ditas, tomando por base o mapeamento dos danos registrados na inspeção visual, para análise dos termogramas, confrontação dos resultados e discussões acerca da avaliação dos procedimentos adotados e da eficiência do método de ensaio empregado.

Figura 18 – Fluxograma dos procedimentos definidos para o desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Autora

Optou-se por utilizar um prédio público componente do patrimônio do Poder Judiciário de Pernambuco, situado na cidade de Olinda/PE, como sendo a construção a ser inspecionada. A citada edificação é composta por 4 pavimentos, com aproximadamente 7.500,00 m² de área construída, cujas fachadas são constituídas de revestimento cerâmico e pétreo de diferentes tipos, dimensões e tonalidades, tendo sido verificada a ocorrência de manifestações patológicas variadas ao longo dos anos, desde sua inauguração.

4.1 Descrição da edificação objeto do estudo de caso

O edifício selecionado para o estudo de caso desta pesquisa é o Fórum Lourenço José Ribeiro, e encontra-se situado na Av. Pan Nordestina, S/N, bairro da Vila Popular, no município de Olinda, integrante da Região Metropolitana do Recife.

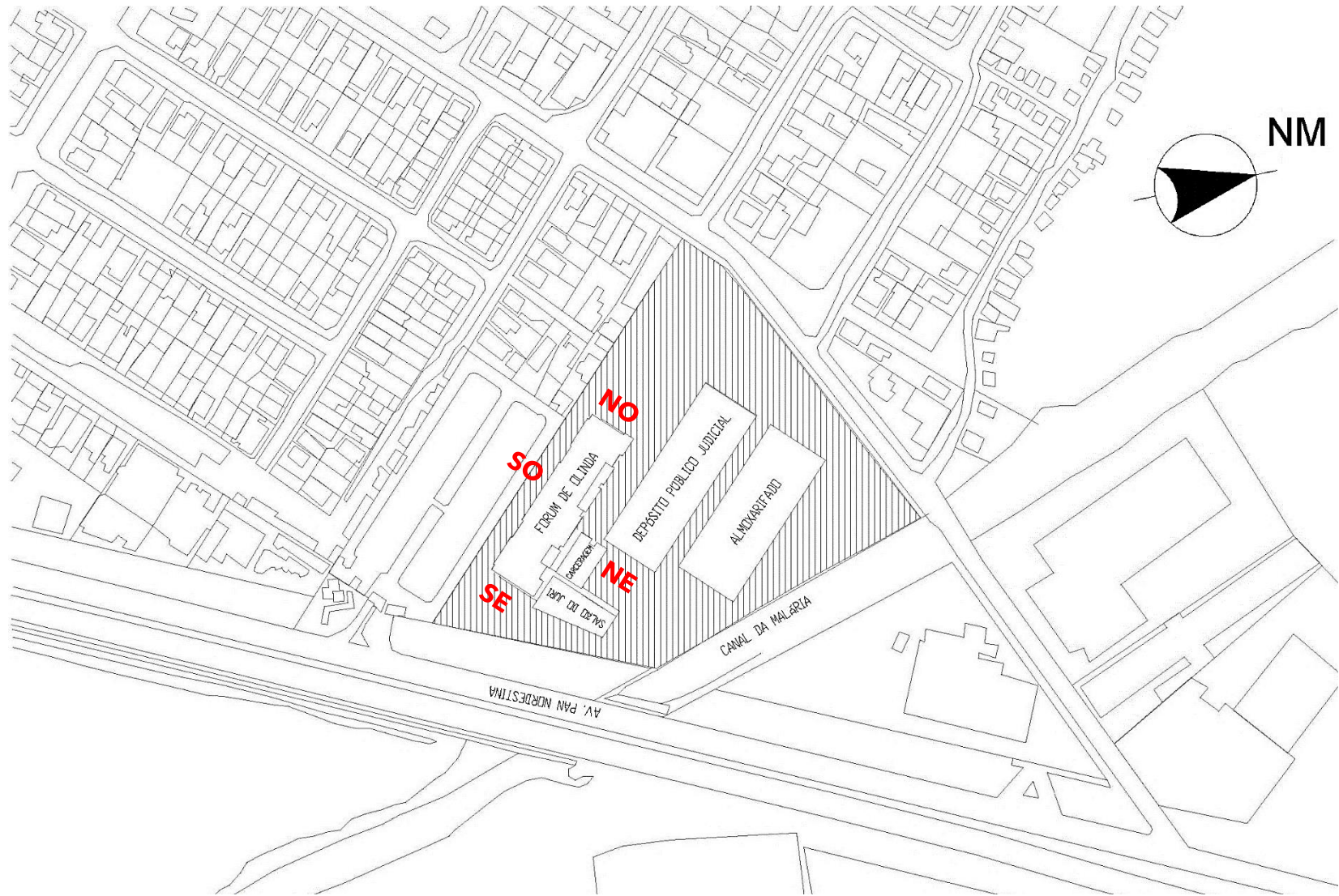
As fachadas do prédio são revestidas em cerâmica, porcelanato e granito, de diferentes dimensões e tonalidades, cujas especificações encontram-se discriminadas na Tabela 5 e nas Figuras 19 a 21, retiradas do projeto de reforma com modificação de área do Fórum de Olinda, fornecido pela Diretoria de Engenharia e Arquitetura do Tribunal de Justiça de Pernambuco – TJPE, proprietário do referido imóvel, conforme retratado na Figura 22.

Tabela 5 – Tipos de revestimento identificados nas fachadas do Fórum de Olinda

Tipo de Revestimento	Área (m ²)					% sobre a área total revestida
	Σ áreas revestidas	Fachada Sudeste	Fachada Sudoeste	Fachada Nordeste	Fachada Noroeste	
Granito marrom imperial	70,38	32,69	10,88	6,29	20,52	2%
Cerâmica 9,5 x 9,5 cm na cor bege médio	2.112,55	145,95	609,62	952,33	406,64	61%
Cerâmica 9,5 x 9,5 cm na cor vinho	875,10	-	588,55	170,15	114,41	25%
Porcelanato polido na cor vinho	414,40	289,29	-	125,10	-	12%
Área total revestida (m²)	3.472,42					100%

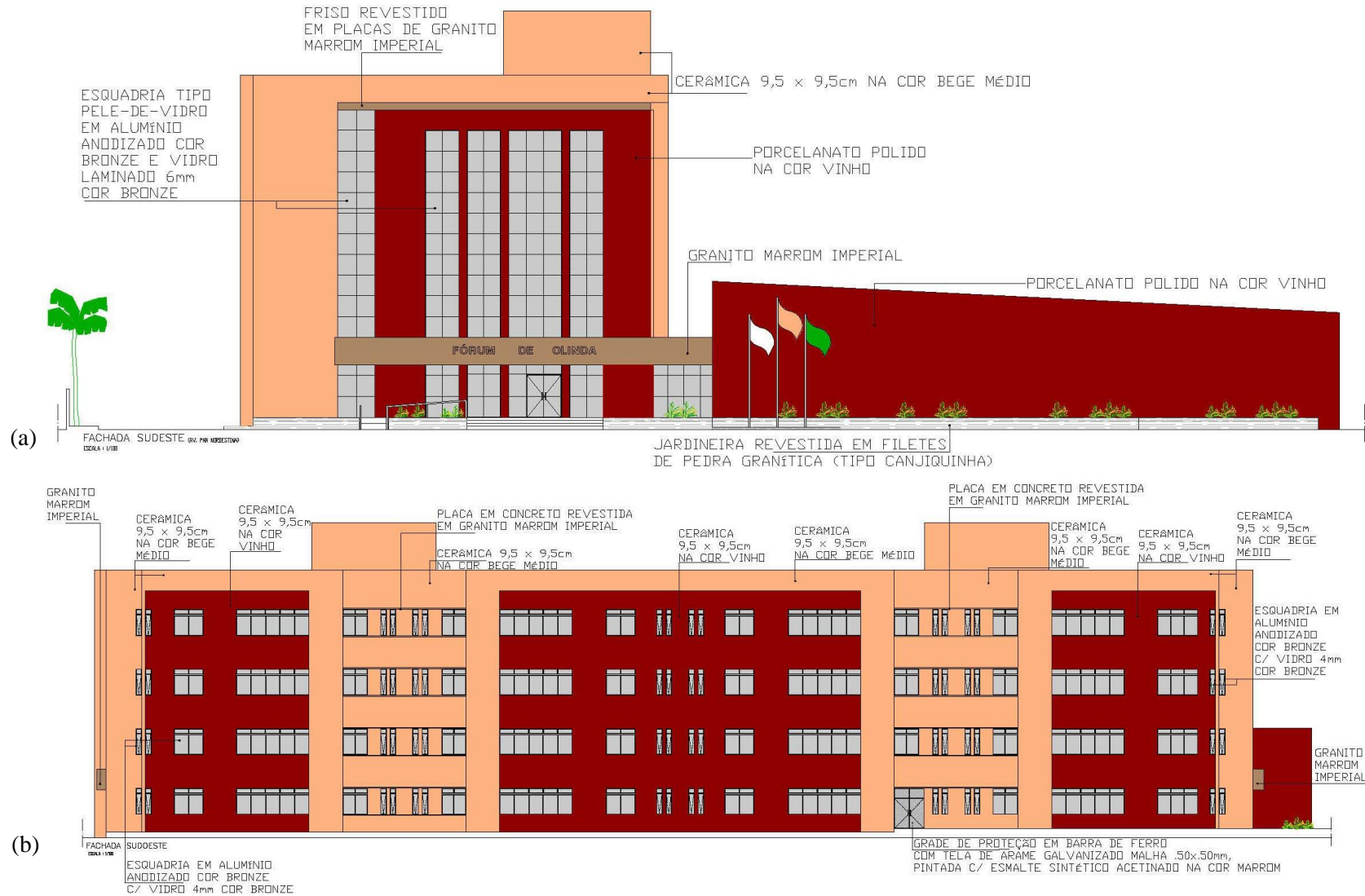
Fonte: Autora, com informações de TJPE (2006)

Figura 19 – Planta de Situação do Fórum de Olinda, com a identificação das fachadas



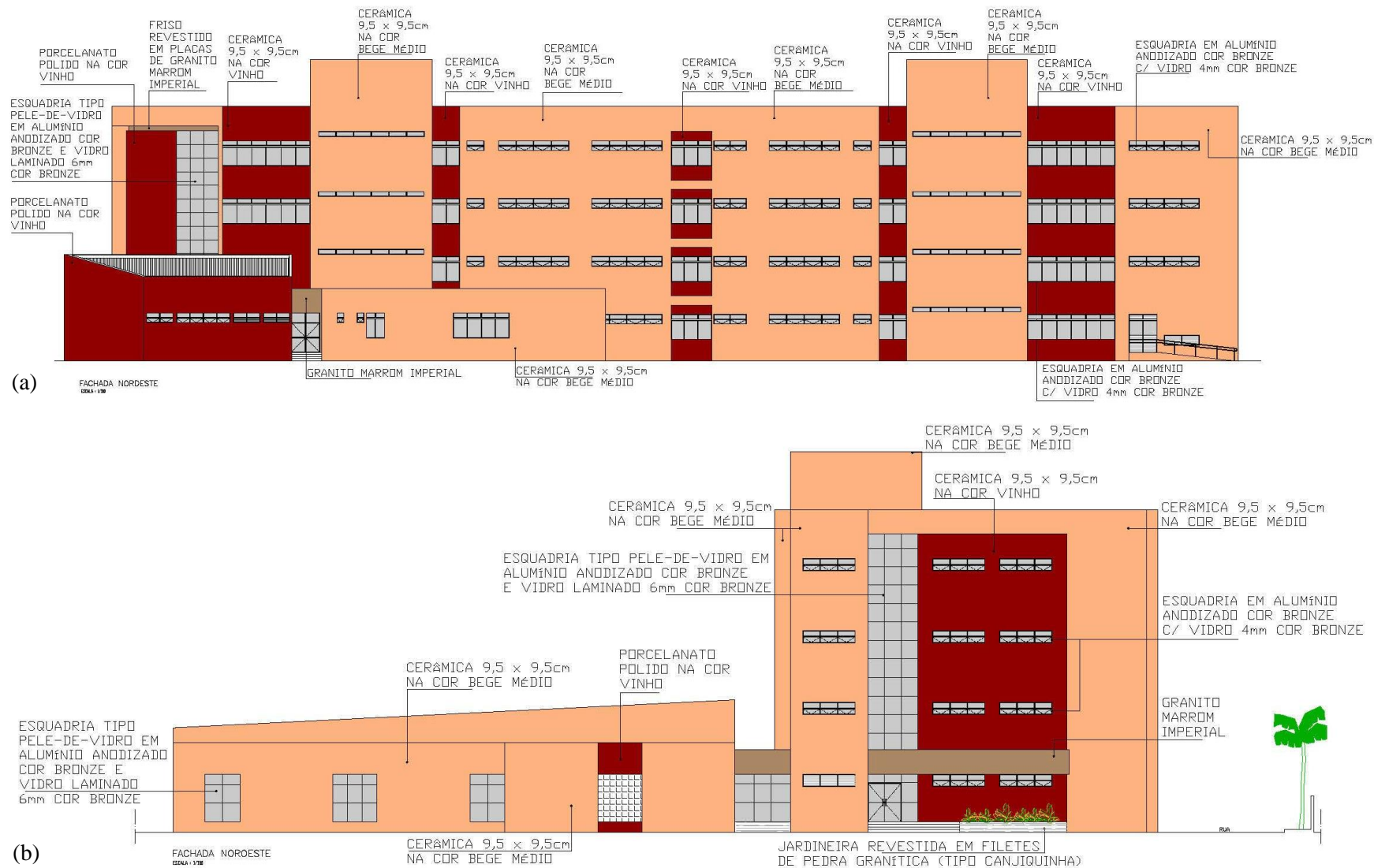
Fonte: Adaptado de TJPE (2006)

Figura 20 – Fachadas Sudeste (a) e Sudoeste (b) do Fórum de Olinda



Fonte: TJPE (2006)

Figura 21 – Fachadas Nordeste (a) e Noroeste (b) do Fórum de Olinda



Fonte: TJPE (2006)

Figura 22 – Vista parcial das fachadas Sudeste e Nordeste do Fórum Lourenço José Ribeiro



Fonte: Autora

Também conhecido como Fórum de Olinda, o prédio edificado em terreno plano com 19.144,00 m² de extensão, possuindo 7.413,70 m² de área construída, distribuídos em quatro pavimentos, sendo um térreo e três andares superiores, conforme discriminado na Tabela 6, onde funcionam as atividades das cinco varas cíveis, três varas criminais, três juizados especiais cíveis, duas varas da fazenda pública estadual, vara de sucessões, vara de infância e juventude, vara privativa do júri e o juizado especial criminal da Comarca de Olinda, além de seus departamentos e órgãos auxiliares, como a diretoria/administração do Foro, Diretoria Cível da Mata Norte, PROGEFORO (Protocolo Geral do Foro), CEMANDO (Central de Mandados), setor de expedição e distribuição, salão do júri, departamento psicossocial, agência bancária, sala de eventos e carceragem com quatro celas.

Tabela 6 – Distribuição das áreas componentes do Fórum de Olinda

DISTRIBUIÇÃO DE ÁREAS (m²)	
Terreno	19.114,00
Construção:	
Pavimento Térreo	2.447,50
1º Pavimento	1.655,40
2º Pavimento	1.655,40
3º Pavimento	1.655,40
Total da Construção	7.413,70
Coberta	2.483,50
Solo Natural	4.163,63

Fonte: TJPE (2006)

O Fórum ainda abriga o plantão judiciário das Comarcas de Abreu e Lima, Araçoiaba, Igarassu, Itamaracá, Itapissuma e Paulista. Em sua área externa (Figuras 19 e 23) encontram-se dois galpões destinados ao Depósito Público Judicial e ao Almojarifado (estando este último desativado após a ocorrência de um incêndio em outubro de 2017) e uma área de estacionamento com capacidade para 180 veículos, destinado para os magistrados, veículos de serviço e visitantes.

De acordo com informações coletadas com a Diretoria de Engenharia e Arquitetura do TJPE, os revestimentos aderidos das fachadas do prédio em tela foram assentados no período compreendido entre os anos de 2006 e 2007, e desde a inauguração do Fórum, no ano de 2007, o referido sistema de revestimento nunca foi objeto de procedimentos de manutenção preventiva ou corretiva, havendo atualmente processo licitatório em andamento para este fim.

Figura 23 – Vista aérea do Fórum Lourenço José Ribeiro



Fonte: Google Earth (2021)

4.2 Inspeção visual da edificação e elaboração do mapa de danos

4.2.1 Ficha de vistoria e levantamento de campo para identificação das manifestações patológicas aparentes

Primeiramente foi adaptada uma forma sintética do formulário de vistoria sugerido no levantamento realizado pelo IBAPE/MG (2020), constante no Apêndice A, objetivando otimizar o processo de compilação, quantificação e classificação dos dados obtidos em cada fachada analisada.

Na referida ficha constam campos para a identificação do tipo de fachada e de revestimento inspecionados; também foram elencadas previamente as principais manifestações patológicas existentes para cada tipo de revestimento, com campos para assinalar sua existência ou não, bem como a intensidade do dano na ocasião da inspeção, devendo ser preenchidos com “IP” para os casos de identificação parcial/pontual, “IG” para identificação dos danos de forma generalizada ou “NI” quando não identificadas.

Em seguida, procedeu-se um levantamento de campo na edificação em estudo, com a finalidade de identificar todos os danos patológicos visíveis e classificá-los quanto à gravidade dos casos, que será representada pelas cores dos ícones e definida através de dois fatores: o grau de incidência e as consequências provocadas pelos danos, conforme exposto no Quadro 7.

Quadro 7 – Escala de cores representando a classificação dos danos quanto à gravidade

GRAVIDADE	INCIDÊNCIA/CONSEQUÊNCIA DOS DANOS	CLASSIFICAÇÃO DOS DANOS
Leve	Danos pontuais ou com repercussão meramente estética	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩
Moderada	Danos pontuais que provocam vulnerabilidades para a edificação	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩
Elevada	Danos generalizados que provocam vulnerabilidades para a edificação	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩

Fonte: Autora







4.2.2 Elaboração do mapa de danos

Com base nas informações coletadas durante a inspeção visual, foi conduzida a elaboração de um mapa de danos preliminar, com o auxílio do *software* AutoCAD 2023, que consiste na representação gráfica das anomalias encontradas nas fachadas da edificação objeto deste estudo, fornecendo uma ilustração de forma sintética dos resultados obtidos (TINOCO, 2009).

Diante da ausência de normativas pertinentes à confecção de mapas de danos que indique uma padronização referente aos procedimentos técnicos e representações gráficas, foi adotado o modelo proposto nos trabalhos de Rocha *et al.* (2018a) e Lima *et al.* (2022), que por sua vez foram baseados nas diretrizes definidas por Hautequestt Filho e Achiamé (2018), as quais consistem na utilização de hachuras sólidas e coloridas para os tipos mais usuais de manifestações patológicas, com legenda e fotografias, caracterizando os principais danos detectados na edificação.

De posse das informações coletadas em campo, foi procedida a definição da matriz de informações gráficas, conforme exposto no Quadro 8, e suas devidas correlações com as manifestações patológicas identificadas nas fachadas da edificação em estudo, sendo apresentado os registros fotográficos dos casos mais representativos. Em virtude da dificuldade em reproduzir graficamente os danos incidentes nas juntas e rejuntas dos revestimentos das fachadas do prédio inspecionado, optou-se por não identificar tais anomalias no mapa de danos, uma vez que, em decorrência das suas dimensões, a inclusão dos referidos danos no mapa apenas traria poluição visual e dificuldade na identificação das demais manifestações patológicas incidentes nos demais componentes dos revestimentos de fachada inspecionados.

Quadro 8 – Matriz de representação gráfica adotada na elaboração do mapa de danos

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS IDENTIFICADAS	CLASSIFICAÇÃO DOS DANOS	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA
Manchas	①	
Deteriorações/sujidades	②	
Fissuras/trincas	③	
Desplacamento/descolamento/peças soltas	④	
Eflorescência	⑤	
Deteriorações no rejunte	⑥	Sem representação
Partes do rejunte danificadas	⑦	Sem representação
Ausência/deficiência nas juntas	⑧	Sem representação
Deteriorações nas juntas	⑨	Sem representação
Abatimento de piso/presença de vegetação	⑩	

Fonte: Autora

4.3 Inspeção termográfica

A execução de uma inspeção por termografia é relativamente simples, desde que sejam observados e previamente definidos os parâmetros relativos à calibração do equipamento, ângulo de observação entre a câmera e a área de estudo, valores de emissividade, parâmetros ambientais, além dos períodos e condições ambientais em que as inspeções devem ser realizadas, e para onde o operador deve apontar o termovisor para determinada região do objeto inspecionado a fim de detectar anomalias através da análise dos termogramas obtidos, conforme abordado no item 2.1 deste estudo.

4.3.1 Horizonte temporal da diligência

O levantamento termográfico foi realizado no dia 23/09/2022, durante a época em que são registradas temperaturas mais altas e menor índice de precipitação pluviométrica na região onde se encontra inserido o prédio inspecionado, objetivando minimizar as distorções provocadas por fatores ambientais, conforme abordado no item 2.1.3.

Por questões de limitações operacionais decorrentes do horário de funcionamento das atividades do Fórum de Olinda, operando das 7 às 13 horas, de 2ª a 6ª feira, só foi possível realizar as inspeções no turno da manhã, das 9 às 10 horas, considerando o quadro descrito por Silva, Viégas e Póvoas (2016), que identificaram os intervalos compreendidos entre as 9 e 10 horas e entre 14 e 15 horas como sendo os melhores horários para captação de termogramas na inspeção de revestimentos cerâmicos de fachada nos períodos matutino e vespertino, respectivamente. Na Figura 24 encontram-se especificadas as condições climáticas da região onde se encontra situado o prédio investigado na ocasião da vistoria.

Figura 24 – Condições climáticas na ocasião em que foi realizada a inspeção termográfica

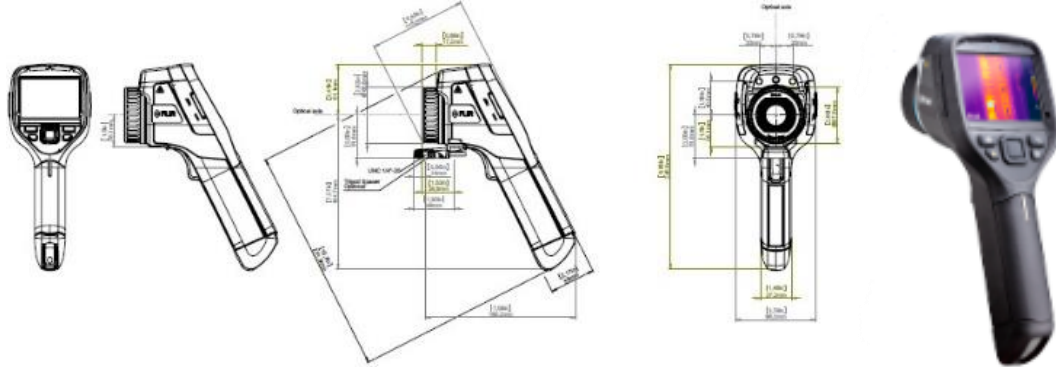


Fonte: Climatempo (2022)

4.3.2 Equipamentos, materiais e procedimentos utilizados na inspeção

A termocâmara utilizada nas inspeções termográficas é o modelo E60 fabricado pela FLIR, conforme apresentado na Figura 25, cujas especificações técnicas encontram-se dispostas na Tabela 7.

Figura 25 – Representação esquemática da termocâmara FLIR E60



Fonte: FLIR Systems Brasil (2013) e FLIR Systems Inc. (2016)

Tabela 7 – Especificações técnicas da câmera termográfica FLIR E60

Resolução Infravermelha	320 x 240 pixels
Sensibilidade térmica	<0,05 °C
Campo de visão (FOV)	25° x 19°
Distância mínima de foco	0,40 m
Frequência de imagem	60 Hz
Foco	Manual
Faixa espectral	7.5–13 µm
Tipo de detector	FPA e micro bolômetro não refrigerado
Display colorido	3,5" (320 x 240)
Faixa de temperatura	-20 °C a 650 °C
Precisão	± 2 °C ou ± 2% de leitura (para temperaturas ambientes de 10 °C a 35 °C).
Pontos móveis de medição	3
Formato do arquivo de imagem	JPG padrão

Fonte: FLIR Systems Inc. (2016)

Na Figura 26 encontram-se dispostos os equipamentos e materiais utilizados para alimentar os dados de entrada necessários para a configuração do termovisor, bem como os empregados para a execução do ensaio da termografia infravermelha nas fachadas da edificação estudada.

Figura 26 – Equipamentos e materiais utilizados na inspeção termográfica



Fonte: Autora

Para a obtenção dos dados referentes aos parâmetros termográficos de refletividade e emissividade foram adotados os procedimentos descritos nos itens 8.1 da NBR 16292 (ABNT, 2014) e 6.2 da NBR 16485 (ABNT, 2016b), respectivamente, conforme detalhado a seguir, enquanto os valores de umidade relativa do ar e distância entre a superfície e o equipamento foram coletados em campo, a partir de um termo-higrômetro digital no primeiro caso, e de medição por trena no segundo.

Para a configuração do parâmetro de refletividade foi empregado o método refletor, onde foi utilizado um painel refletor composto por um pedaço de papelão envolto por uma folha de papel alumínio amassado, adotado como material refletor de referência, para em seguida proceder à captura de três termogramas do referido material, com o valor da emissividade ajustado para 1,0, conforme apresentado nas Figuras 27 e 28. Para a obtenção da temperatura aparente refletida é calculada a média dos três valores térmicos medidos na superfície do painel refletor.

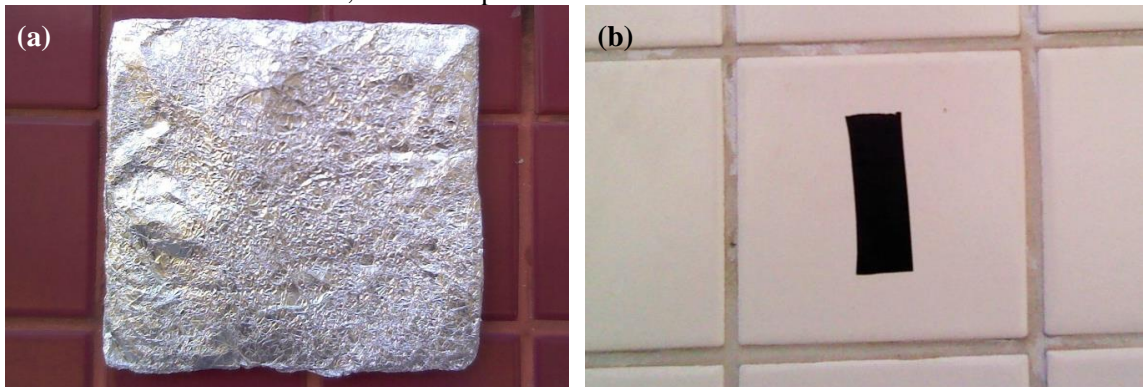
Figura 27 – Representação esquemática do método refletor



Fonte: ABNT (2014)

Para o ajuste da emissividade foi empregado o método da emissividade conhecida, onde foi adotado como material de referência um pedaço de fita isolante preta de alta qualidade, no caso em tela a 3M SCOTCH 33+ PROFISSIONAL CLASSE A, que foi grudado nas superfícies em análise, considerando que as fachadas do prédio em apreço são constituídas de diferentes materiais e colorações, e foram procedidas medições de temperatura na fita e nas superfícies, ajustando os valores de emissividade até que se obtiveram temperaturas iguais em ambas as superfícies (com e sem fita), caracterizando desta forma a configuração do equipamento quanto ao referido parâmetro.

Figura 28 – Execução dos métodos refletor (a) e da emissividade conhecida (b) nas fachadas do Fórum de Olinda, conforme preconizado nas NBR 16292 e 16485

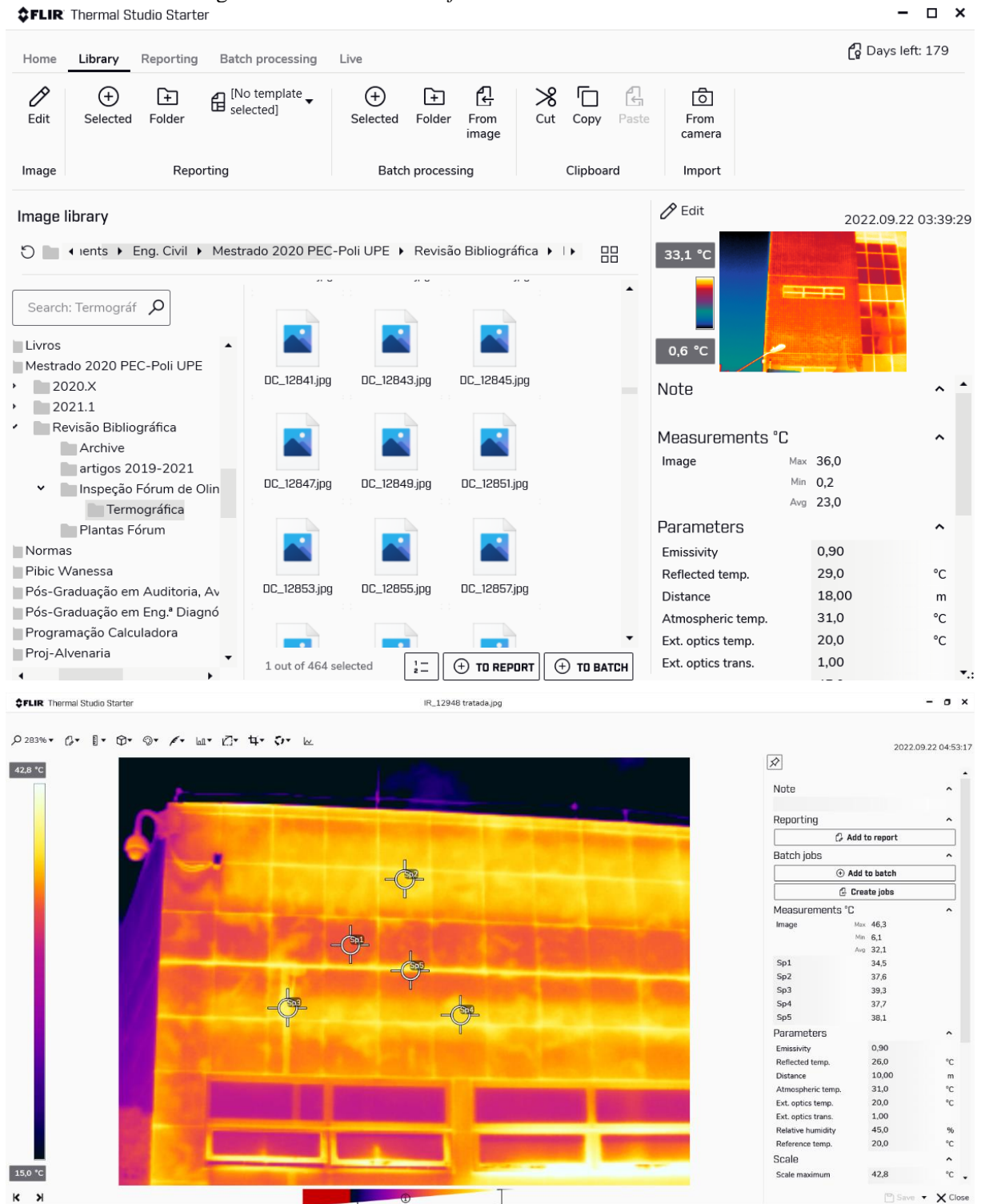


Fonte: Autora

De acordo com a Teledyne FLIR LLC. (2022), a maior parte das fitas isolantes de alta qualidade tem uma emissividade de 0,95 nas regiões de comprimento de onda curto, de 3 a 5 μm , e longo, entre 8 e 12 μm , entretanto, Barreira *et al.* (2015), após conduzirem experimentos empregando o método da emissividade conhecida, com fita isolante como material de referência, verificaram que os valores de emissividade obtidos através do referido método e os coletados por um emissômetro apresentaram-se praticamente idênticos, com um bom nível de significância, quando o valor de emissividade para a fita isolante configurado na termocâmera foi igual a 0,90, mostrando maior imprecisão na configuração de emissividade igual a 0,95, razão pela qual optou-se por adotar o valor padrão de 0,90 para a emissividade da fita isolante.

4.3.3 Processamento de imagens

Os termogramas capturados na ocasião da inspeção termográfica foram processados e tratados através do *software* FLIR Thermal Studio versão 1.9.10, disponibilizado pelo fabricante do equipamento, cuja interface encontra-se ilustrada na Figura 29.

Figura 29 – Interface do *software* FLIR Thermal Studio 1.9.10

Fonte: Autora

Através do referido software é possível promover ajustes tanto nos parâmetros termográficos, bem como realizar análises através da interação entre as imagens digital e térmica, alterações na paleta de cores, criação de isotermas, verificação de fluxos de calor, alteração da escala térmica, dentre outros.

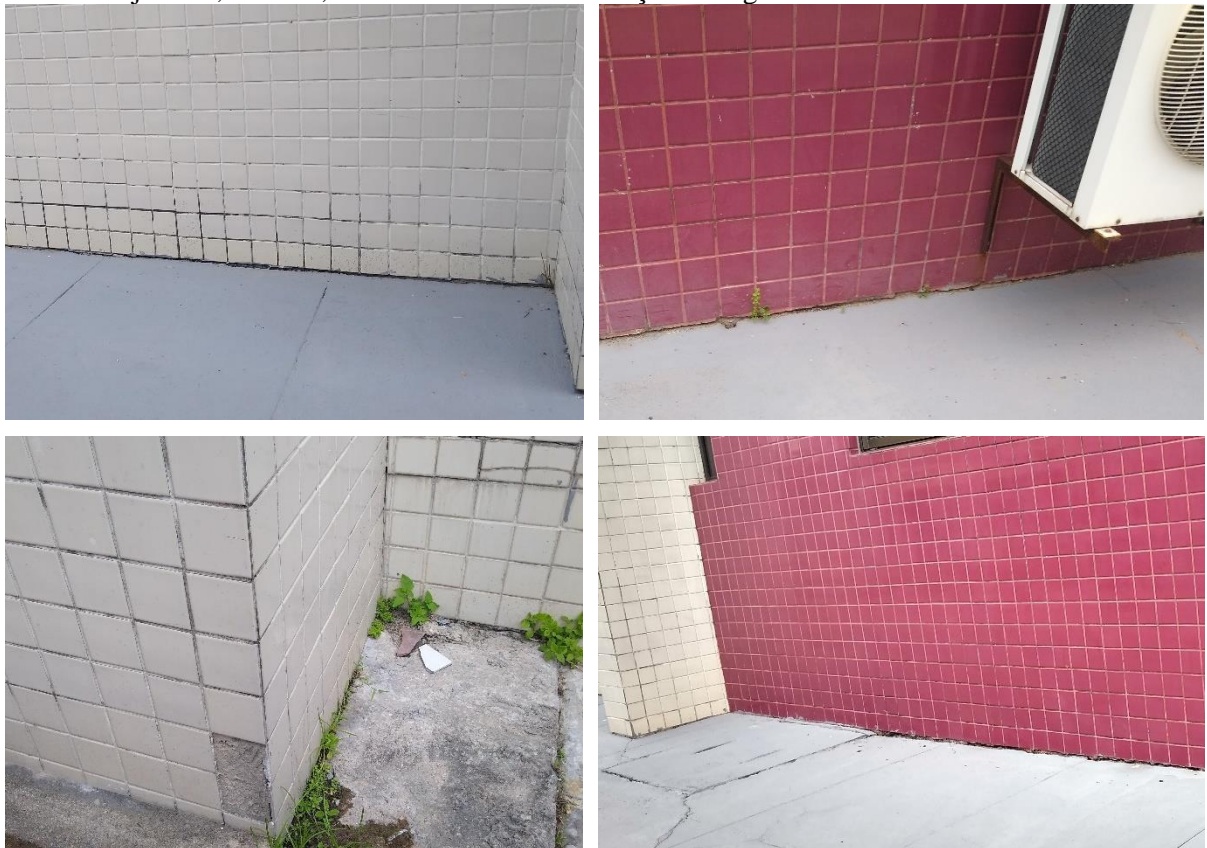
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Resultados obtidos nas inspeções visuais e no mapa de danos preliminar

Verificou-se, nas fachadas da edificação como um todo, de forma generalizada, independentemente da tipologia ou da cor dos revestimentos, uma ocorrência majoritária de sujidades, eflorescências, rejunte danificados/deteriorados, ressecamento e deterioração das juntas.

Também foram observados abatimentos no piso em praticamente toda a extensão das fachadas Sudoeste, Nordeste e Noroeste, ocasionando descolamentos no revestimento cerâmico, além do surgimento de pontos vulneráveis à ação de umidade, colonização biológica e ao ingresso de outros fatores agressivos aos sistemas construtivos componentes da edificação, vide Figura 30.

Figura 30 – Vistas parciais das fachadas SO, NE e NO apresentando incidência de abatimento de piso, sujidades, fissuras, descolamentos e colonização biológica no revestimento cerâmico



Fonte: Autora

Em toda a área revestida em porcelanato foi notada a incidência de manchas escuras nas adjacências dos rejuntas, as quais são oriundas da aplicação de rejunte de coloração avermelhado, inadequado para este tipo de revestimento, de acordo com informações coletadas junto à Diretoria de Engenharia e Arquitetura do TJPE, conforme exposto na Figura 31. Entretanto, em decorrência do tempo de execução da reforma na edificação, realizada entre 2006 e 2007), não foi possível reunir maiores detalhes quanto às especificações do produto aplicado, não sendo possível, conseqüentemente, proceder a uma investigação acerca da interação rejunte/porcelanato que ocasionou tal reação.

Figura 31 – Revestimento em porcelanato das fachadas SE e NE apresentando manchas escurecidas



Fonte: Autora

No revestimento pétreo das fachadas SE, NE e NO foi possível identificar a ocorrência de eflorescência de forma generalizada, com formação de estalactites na fachada SE, sendo este tipo de anomalia a principal verificada nas áreas revestidas em granito marrom imperial do Fórum de Olinda. Outras incidências que merecem nota são deteriorações e danos pontuais nos rejuntas, em especial nos frisos em granito presentes nas fachadas laterais (NE e SO), como ilustrado na Figura 32.

Figura 32 – Vistas parciais dos trechos em revestimento pétreo das fachadas SE, NE, SO e NO, apresentando e florescência e deterioração do rejunte



Fonte: Autora

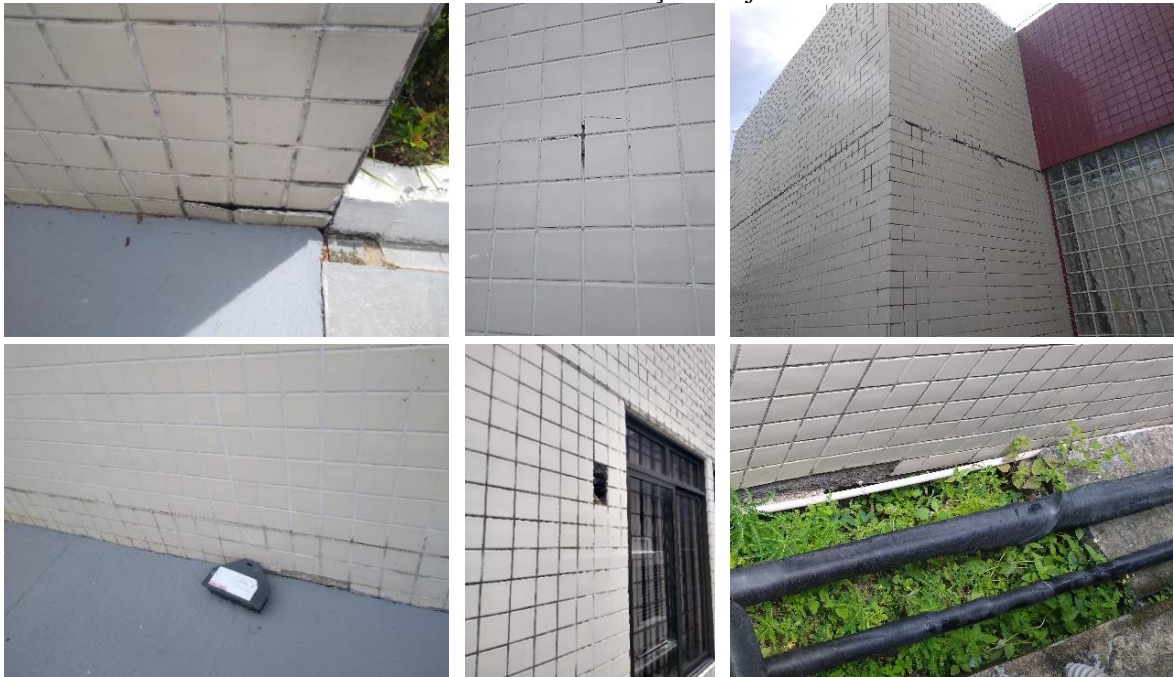
A incidência de fissuras e trincas foi pontual em toda a área vistoriada. Também foi constatada a ocorrência de deterioração e ressecamento nas juntas em todas as fachadas da edificação. Quanto aos descolamentos, foi possível observar em alguns trechos em estágio inicial, excetuando-se nas áreas em que apresentavam abatimento de piso e nas adjacências da junta vertical entre dois módulos do prédio estudado, conforme indicado nas Figuras 33 e 34.

Figura 33 – Revestimentos cerâmicos das fachadas SO e NE apresentando descolamento e fissuração



Fonte: Autora

Figura 34 – Revestimentos cerâmicos das fachadas NE e NO apresentando descolamentos, fissuras, ressecamento e deterioração nas juntas



Fonte: Autora

O mapa de danos obtido através da realização da inspeção visual do Fórum de Olinda encontra-se apresentado nas Figuras 35 a 38, onde é possível observar uma menor incidência de manifestações patológicas aparentes nas fachadas laterais, quais sejam NE e SO, enquanto a fachada frontal (SE) foi a que apresentou um menor número de anomalias. Os danos registrados nos frisos em granito presentes nas fachadas NE e SO não foram representados graficamente.

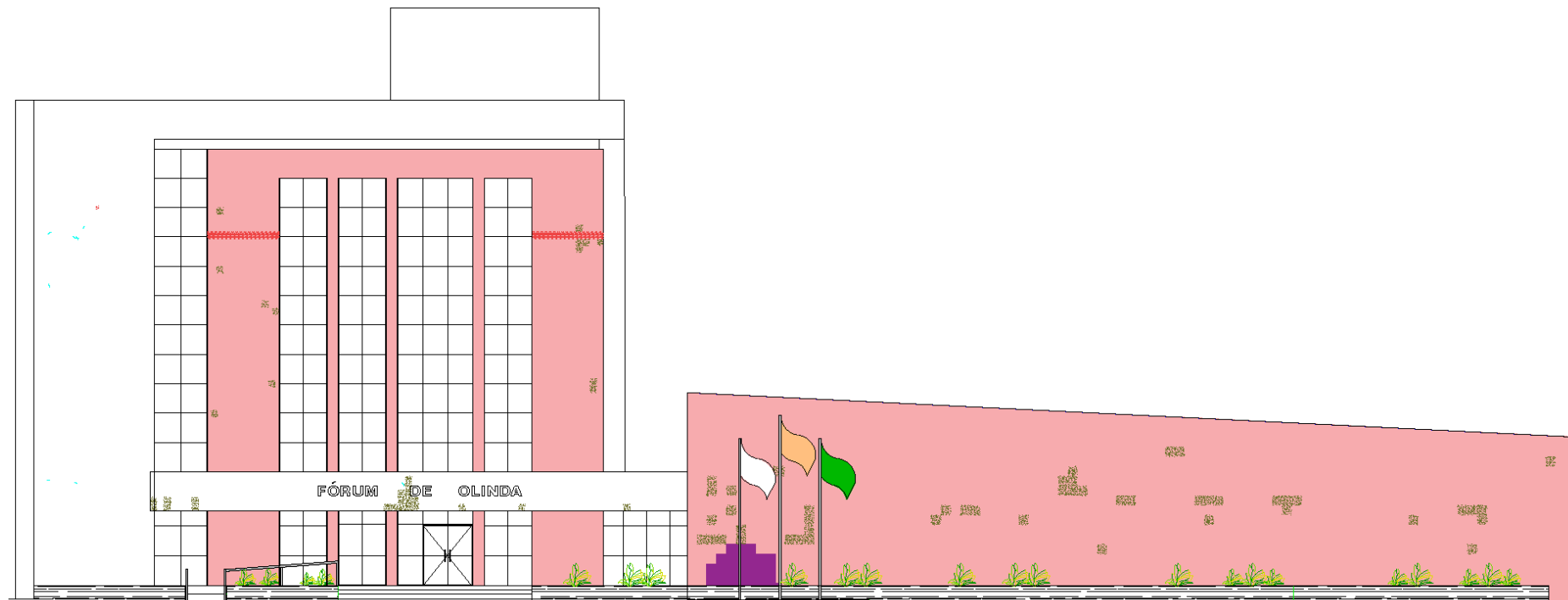
Conforme critérios de representação gráfica estabelecidos nos Quadros 7 e 8, as manifestações patológicas observadas nas fachadas do Fórum de Olinda durante a inspeção visual foram classificadas quanto à frequência e gravidade, e o quadro encontrado foi sintetizado no Quadro 9.

Quadro 9 – Classificação das anomalias encontradas no Fórum de Olinda

Revestimento	Fachada SE	Fachada NE	Fachada SO	Fachada NO
Cerâmico	② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑨ ⑩	② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑨ ⑩	② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩	② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑨ ⑩
Porcelanato	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑨ ⑩	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑨ ⑩	-	-
Pedras Naturais	① ③ ⑤ ⑥ ⑦	① ③ ⑤ ⑥ ⑦	② ③ ⑤ ⑥ ⑦	① ③ ⑤ ⑥ ⑦

Fonte: Autora

Figura 35 – Mapa de danos preliminar da fachada Sudeste do Fórum de Olinda



Legenda:

Manchas



Deteriorações/sujidades



Fissuras/trincas



Deslocamento/descolamento/peças soltas



Eflorescência

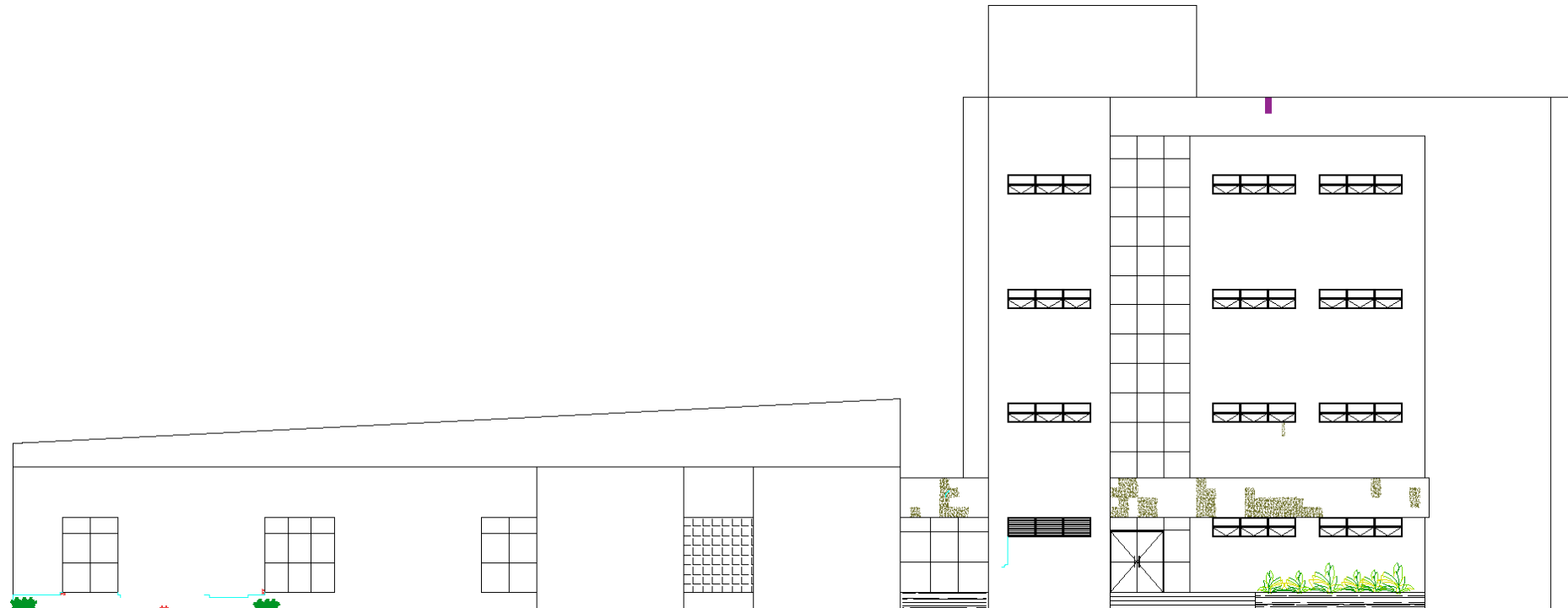


Abatimento de piso/presença de vegetação









Fonte: Autora

Figura 36 – Mapa de danos preliminar da fachada Noroeste do Fórum de Olinda

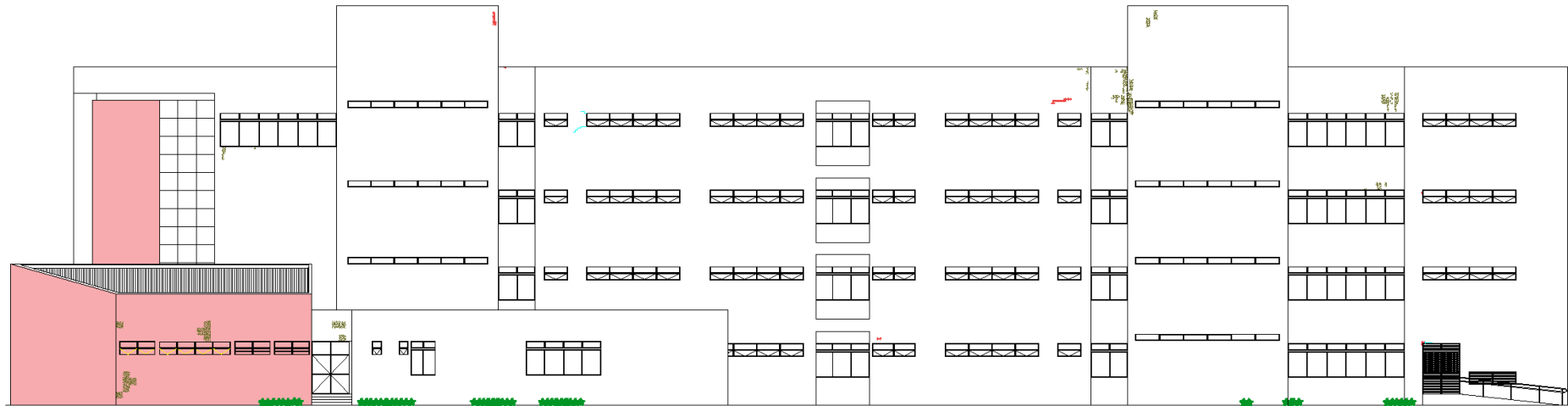


Legenda:

- Manchas 
- Deteriorações/sujidades 
- Fissuras/trincas 
- Deslocamento/descolamento/peças soltas 
- Eflorescência 
- Abatimento de piso/presença de vegetação 

Fonte: Autora

Figura 37 – Mapa de danos preliminar da fachada Nordeste do Fórum de Olinda



Legenda:

Manchas



Deteriorações/sujidades



Fissuras/trincas



Deslocamento/descolamento/peças soltas



Eflorescência

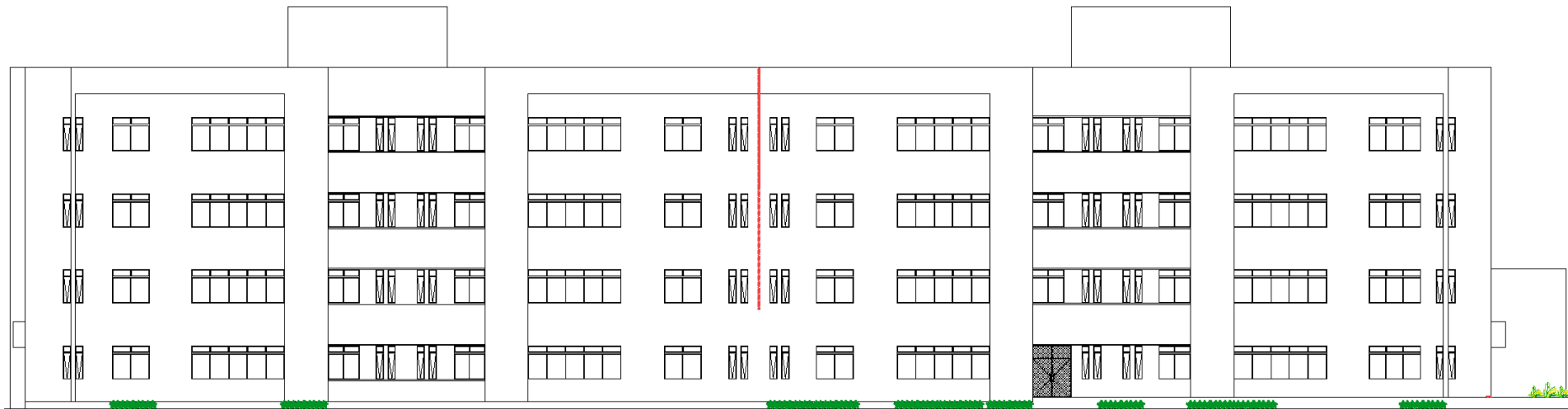


Abatimento de piso/presença de vegetação



Fonte: Autora

Figura 38 – Mapa de danos preliminar da fachada Sudoeste do Fórum de Olinda



Legenda:

Manchas



Deteriorações/sujidades



Fissuras/trincas



Deslocamento/descolamento/peças soltas



Eflorescência



Abatimento de piso/presença de vegetação



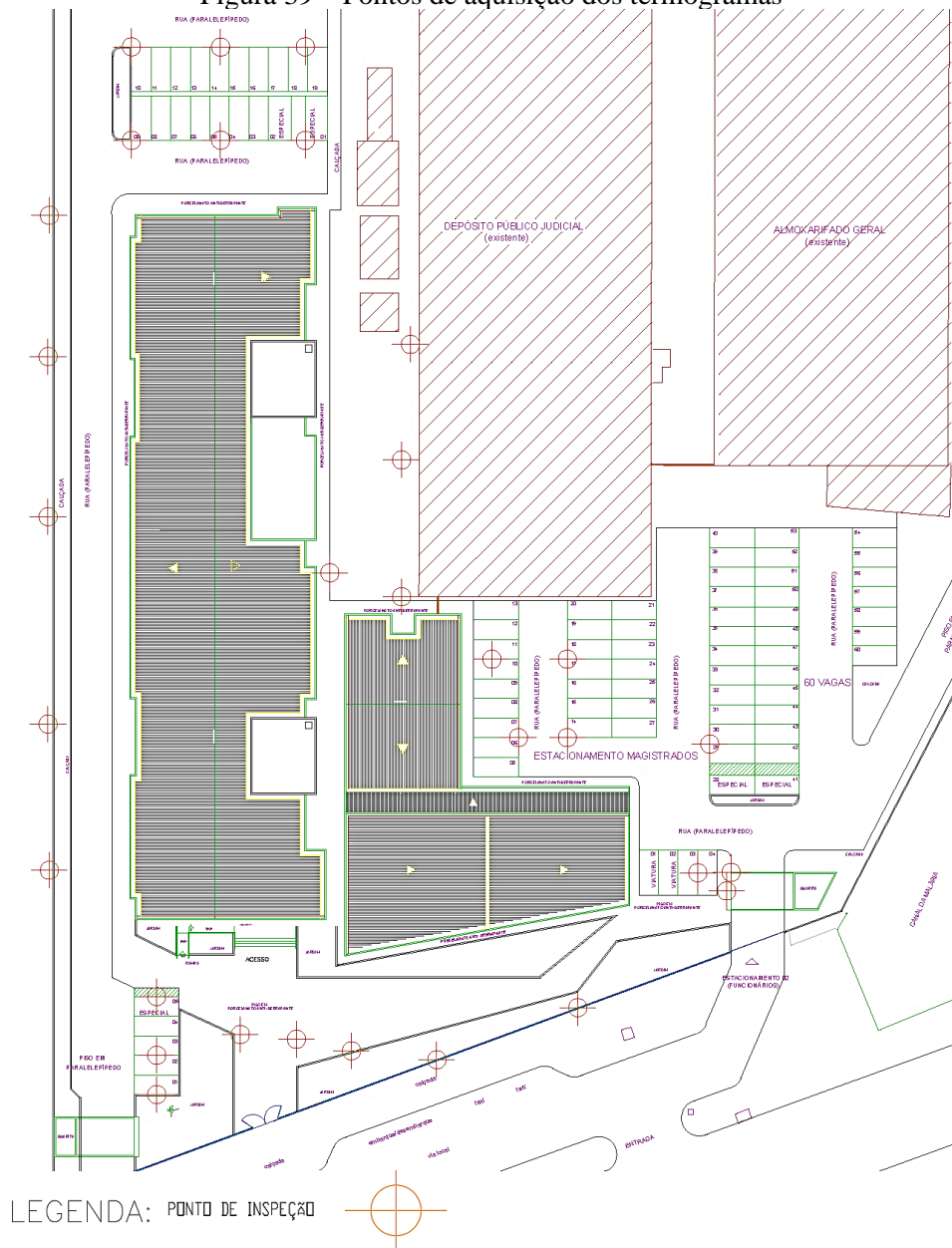
Fonte: Autora

5.2 Resultados obtidos nas inspeções termográficas e elaboração do mapa de danos definitivo

5.2.1 Dificuldades operacionais na condução do ensaio

A coleta dos termogramas promovida nos revestimentos de fachada do Fórum de Olinda foi realizada com distâncias variando entre 5 e 30 metros, conforme apresentado na Figura 39; temperatura refletiva variando entre 26 e 29 °C; e emissividade variando entre 0,85 e 0,90, a depender da tipologia dos revestimentos, considerando o quadro descrito na Tabela 5.

Figura 39 – Pontos de aquisição dos termogramas



Fonte: Autora

As dificuldades operacionais encontradas na execução da inspeção termográfica estão relacionadas ao período de execução do ensaio, restrito ao horário de funcionamento do Fórum em decorrência das políticas internas de segurança do TJPE, a qual exigia o acompanhamento de um servidor do Poder Judiciário durante a realização de todo o procedimento e aviso prévio aos demais funcionários ali lotados, desta forma, foi preciso lidar com o trânsito contínuo de pessoas e veículos e a influência destes na aquisição das imagens, conforme Figura 40a.

A influência da vegetação no entorno (Figura 40b); equipamentos e sistemas de irrigação e manutenção dos jardins (Figura 40c); sombreamento provocado por detalhes arquitetônicos da edificação, como platibandas e reentrâncias, maquinário e instalações elétricas situadas nas adjacências ou instaladas na própria fachada (Figura 40d), como aparelhos condicionadores de ar, câmeras, iluminação, etc.); além do espaço com acesso restrito devido a existência das edificações anexas ao Fórum em seu entorno, conforme apresentado na Figura 39, constituíram outros fatores dificultantes no processo, com impacto direto na aquisição dos termogramas, tendo em vista que afetam parâmetros fundamentais na execução do ensaio como a refletividade (em especial nas áreas revestidas em porcelanato), distância e ângulo de coleta das imagens, acarretando na camuflagem das anomalias presentes na superfície investigada. O quadro acima descrito acabou por restringir a coleta de dados na área correspondente ao pavimento térreo da edificação.

Figura 40 – Exemplos de distorção causada pelos fatores dificultantes no entorno da edificação

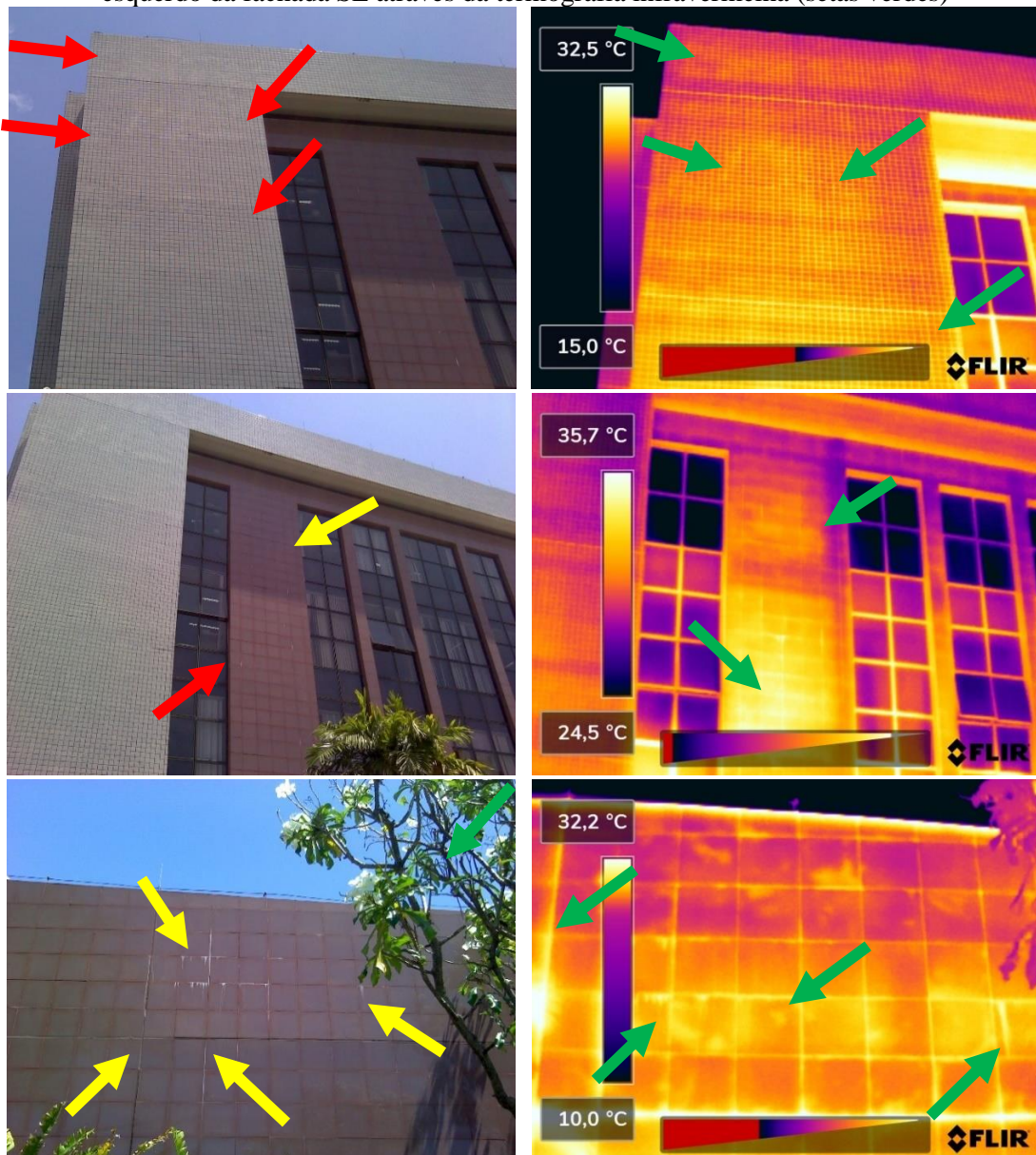


Fonte: Autora

5.2.2 Quadro encontrado nas fachadas SE e NO

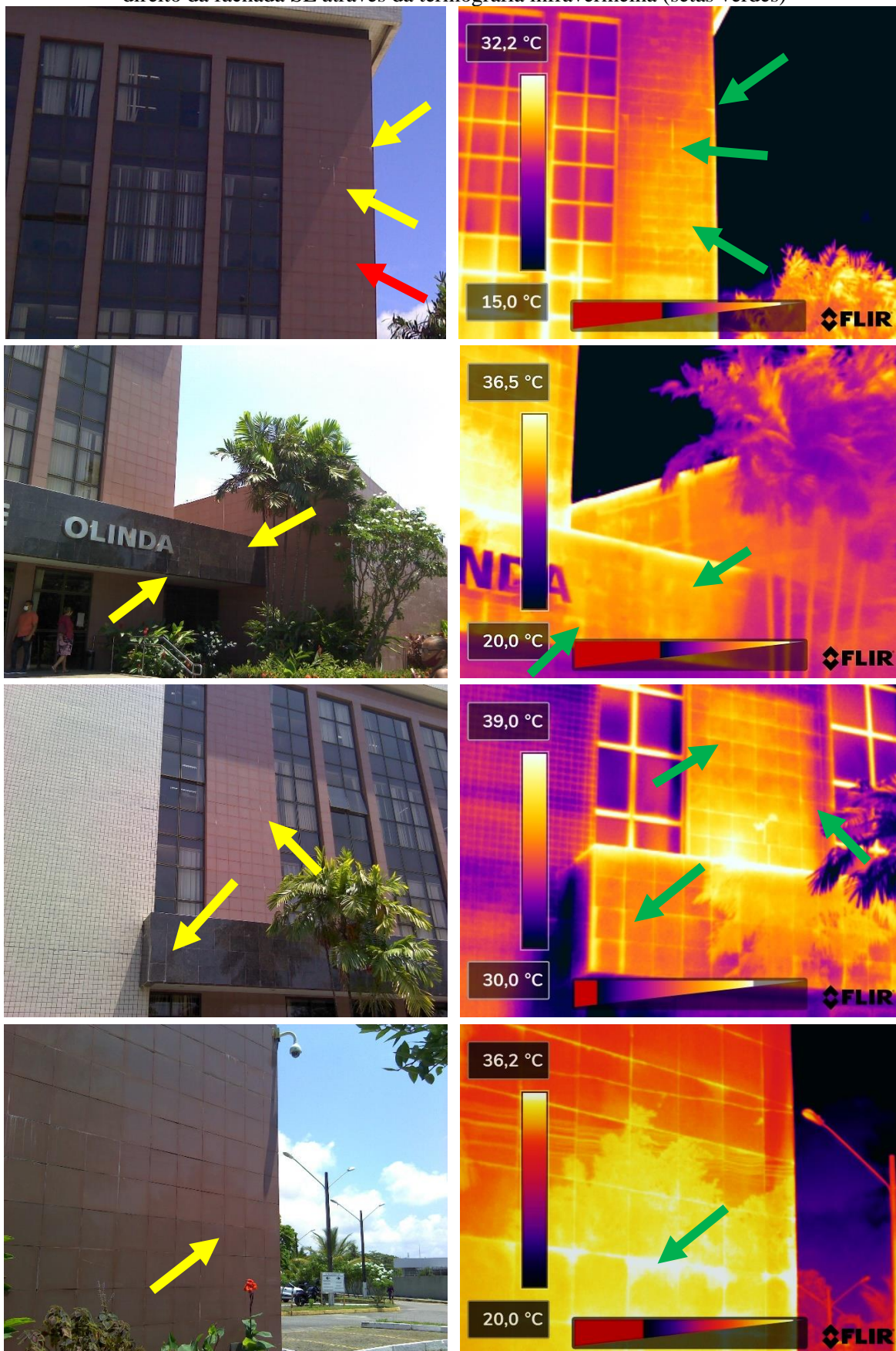
Nas fachadas SE e NO foram ratificadas as manifestações patológicas detectadas durante a inspeção visual, inclusive com a detecção de princípio de descolamento dos revestimentos cerâmicos, bem como foi possível realizar a identificação das anomalias presentes nas juntas de movimentação e de assentamento, através da alteração do padrão térmico, onde em geral as áreas afetadas por descolamentos, eflorescências, sujidades e biodegradação, se apresentaram caracterizadas por um aumento na temperatura superficial representado por regiões com coloração mais clara nos termogramas, conforme apresentado nas Figuras 41 a 44.

Figura 41 – Anomalias visíveis (setas amarelas) e não visíveis (setas vermelhas) detectadas no lado esquerdo da fachada SE através da termografia infravermelha (setas verdes)



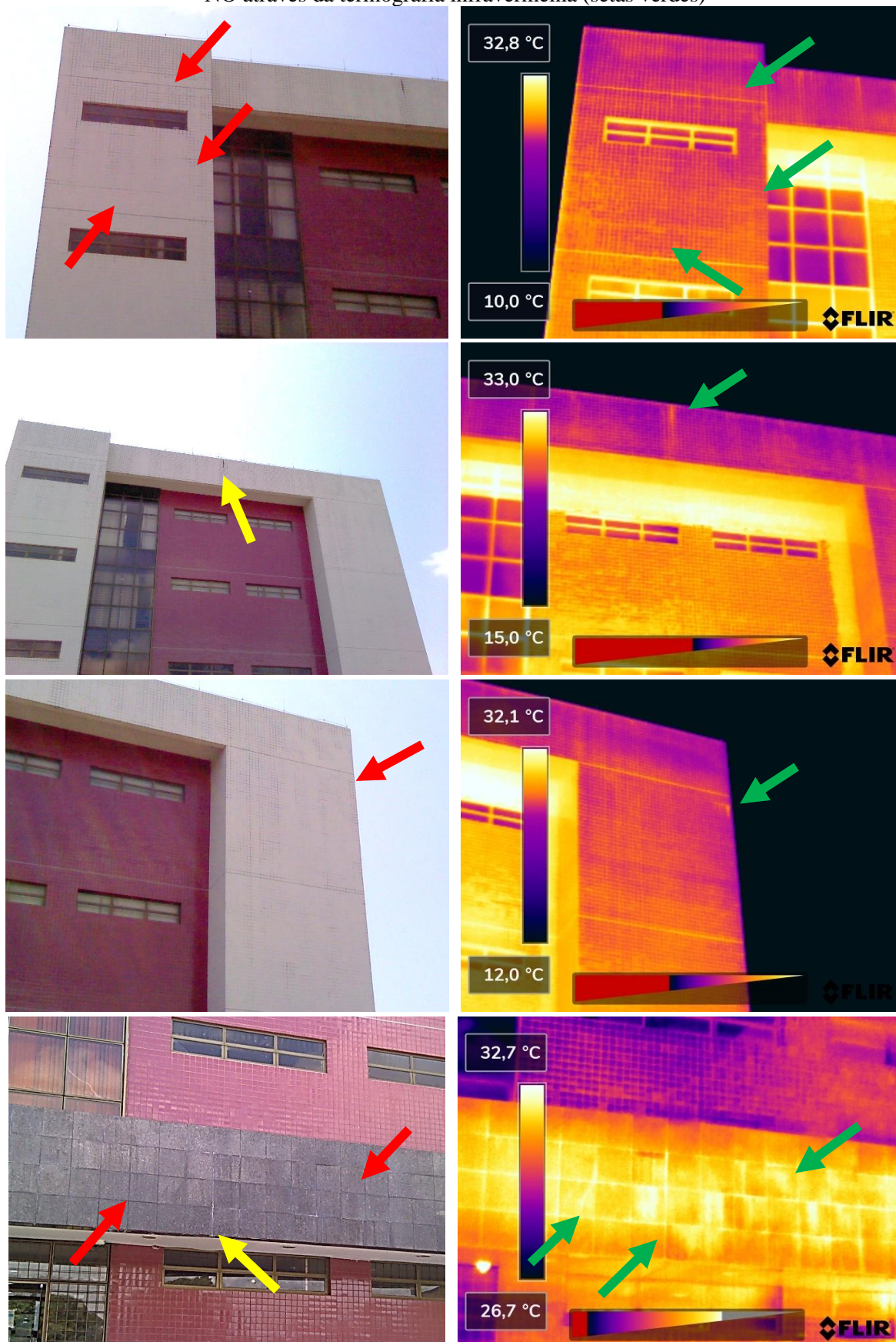
Fonte: Autora

Figura 42 – Anomalias visíveis (setas amarelas) e não visíveis (setas vermelhas) detectadas no lado direito da fachada SE através da termografia infravermelha (setas verdes)



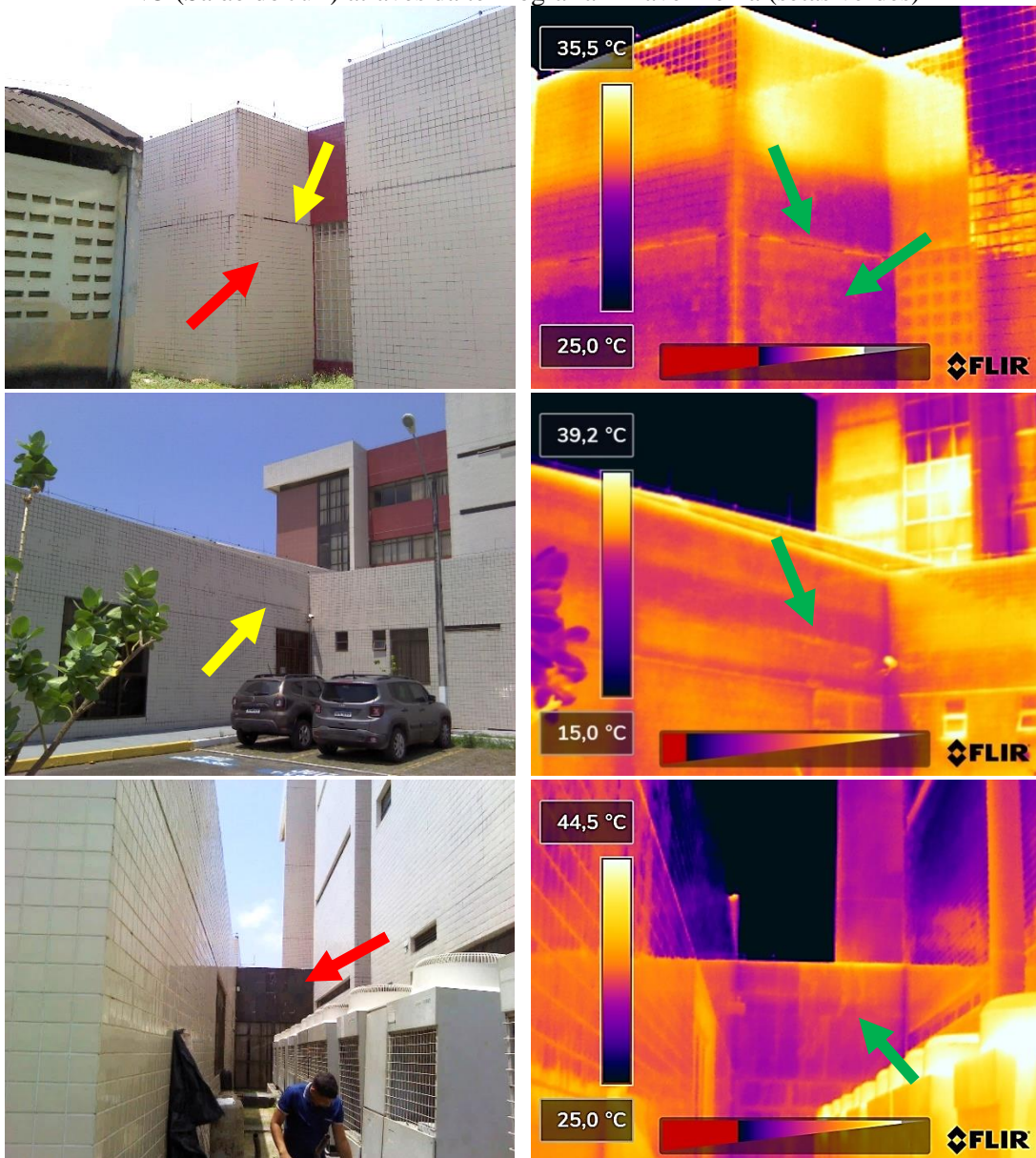
Fonte: Autora

Figura 43 – Anomalias visíveis (setas amarelas) e não visíveis (setas vermelhas) detectadas na fachada NO através da termografia infravermelha (setas verdes)



Fonte: Autora

Figura 44 – Anomalias visíveis (setas amarelas) e não visíveis (setas vermelhas) detectadas na fachada NO (Salão do Júri) através da termografia infravermelha (setas verdes)



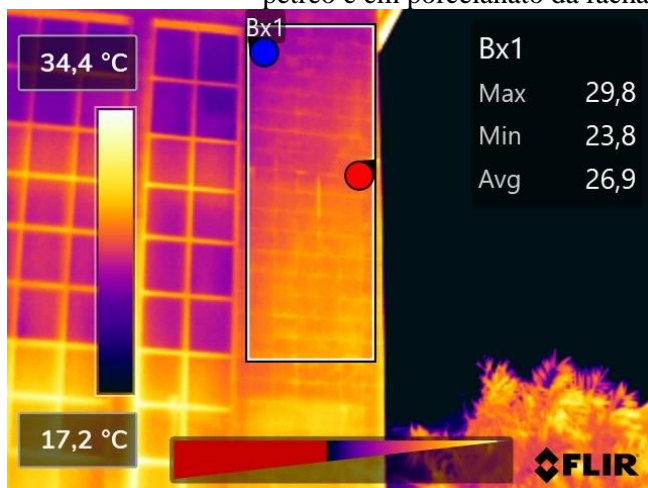
Fonte: Autora

Verificou-se, nos termogramas coletados, a ocorrência de áreas apresentando tons amarelo-alaranjados, indicando maior temperatura superficial, as quais foram aferidas através das ferramentas de medição disponíveis no *software* FLIR Thermal Studio, tendo sido encontradas variações de temperatura nas superfícies entre 2 e 6 °C em regiões consideráveis das referidas fachadas, conforme apresentado nas Figuras 45 e 46.

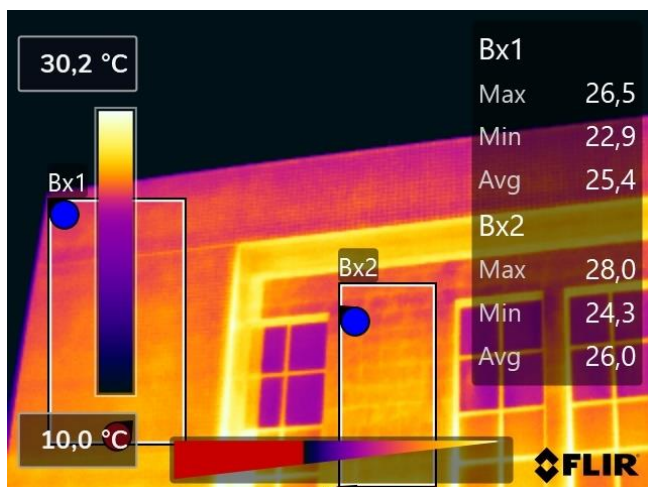
De acordo com Maldague (2000), variações térmicas de 1 a 2 °C são suficientes para indicar áreas suspeitas de anormalidades, enquanto valores de 4 °C ou superiores indicam uma forte evidência da ocorrência de anomalias na superfície investigada.

Verifica-se, portanto, um padrão típico indicativo da ocorrência de descolamento dos revestimentos nas referidas áreas, ainda em condição inicial, imperceptíveis visualmente, ou no mínimo representa um comprometimento dos revestimentos em decorrência do estado de degradação verificado nas juntas de movimentação e de assentamento, vide Figuras 41 a 44.

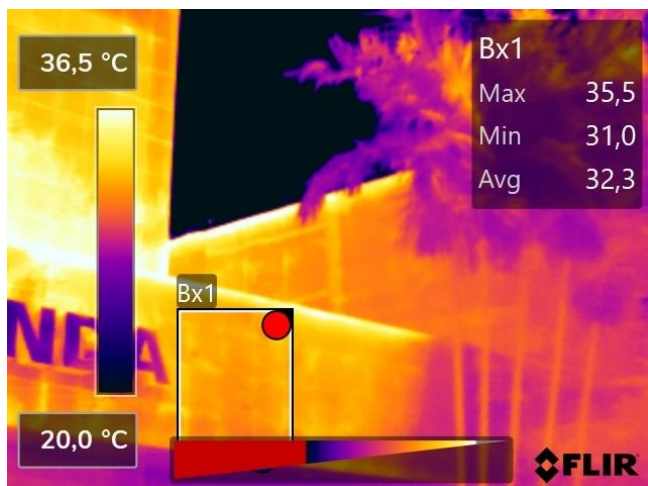
Figura 45 – Detecção de áreas suspeitas de descolamentos em fase inicial nos revestimentos cerâmico, pétreo e em porcelanato da fachada SE do Fórum de Olinda



(Porcelanato Bx1)



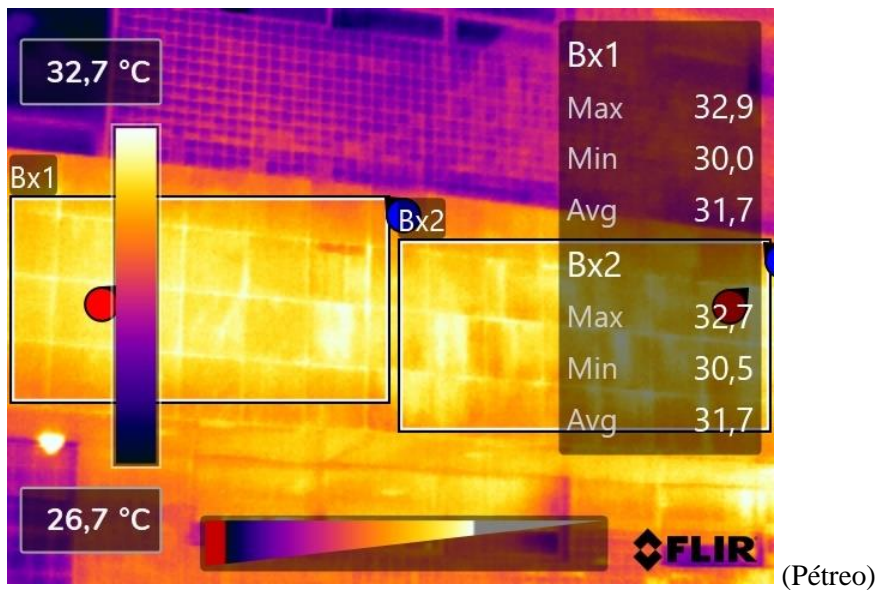
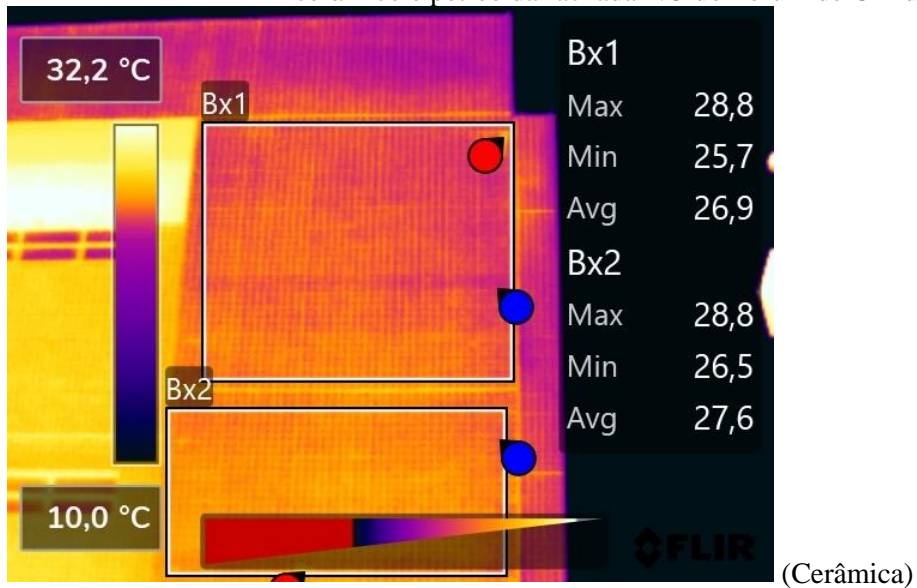
(Cerâmica Bx1 / Porcelanato Bx2)



(Pétreo Bx1)

Fonte: Autora

Figura 46 – Detecção de áreas com suspeita de descolamentos em fase inicial nos revestimentos cerâmico e pétreo da fachada NO do Fórum de Olinda



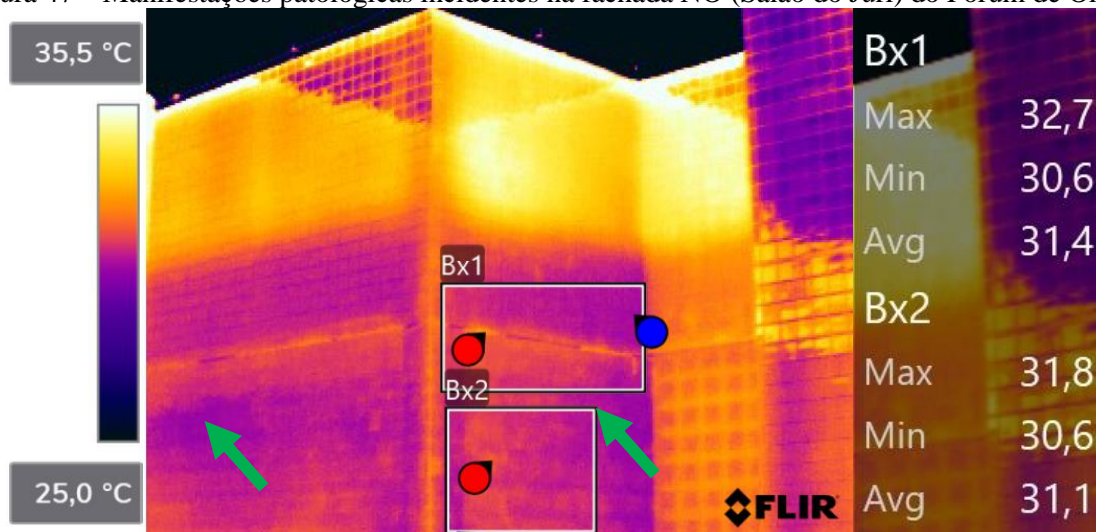
Fonte: Autora

5.2.3 Quadro encontrado nas fachadas NE e SO

No termograma apresentado na Figura 47 foi possível identificar uma modificação de padrão térmico em uma região suspeita da ocorrência de descolamento no revestimento cerâmico da fachada NO, correspondente ao Salão do Júri, mesmo em uma área situada sob a influência dos sombreamentos provenientes dos detalhes arquitetônicos (reentrâncias) da edificação, cujo comportamento térmico está representado por Bx2, com uma variação de temperatura de aproximadamente 2 °C.

Outra anomalia que se faz notar são os trechos onde as juntas de movimentação apresentam-se deterioradas, cujo padrão térmico característico é a elevação de temperatura típica da incidência de sujidades e biodegradação, indicados em Bx1, ou completamente descoladas, trechos caracterizados por tonalidades mais frias (roxo), apontados pelas setas verdes.

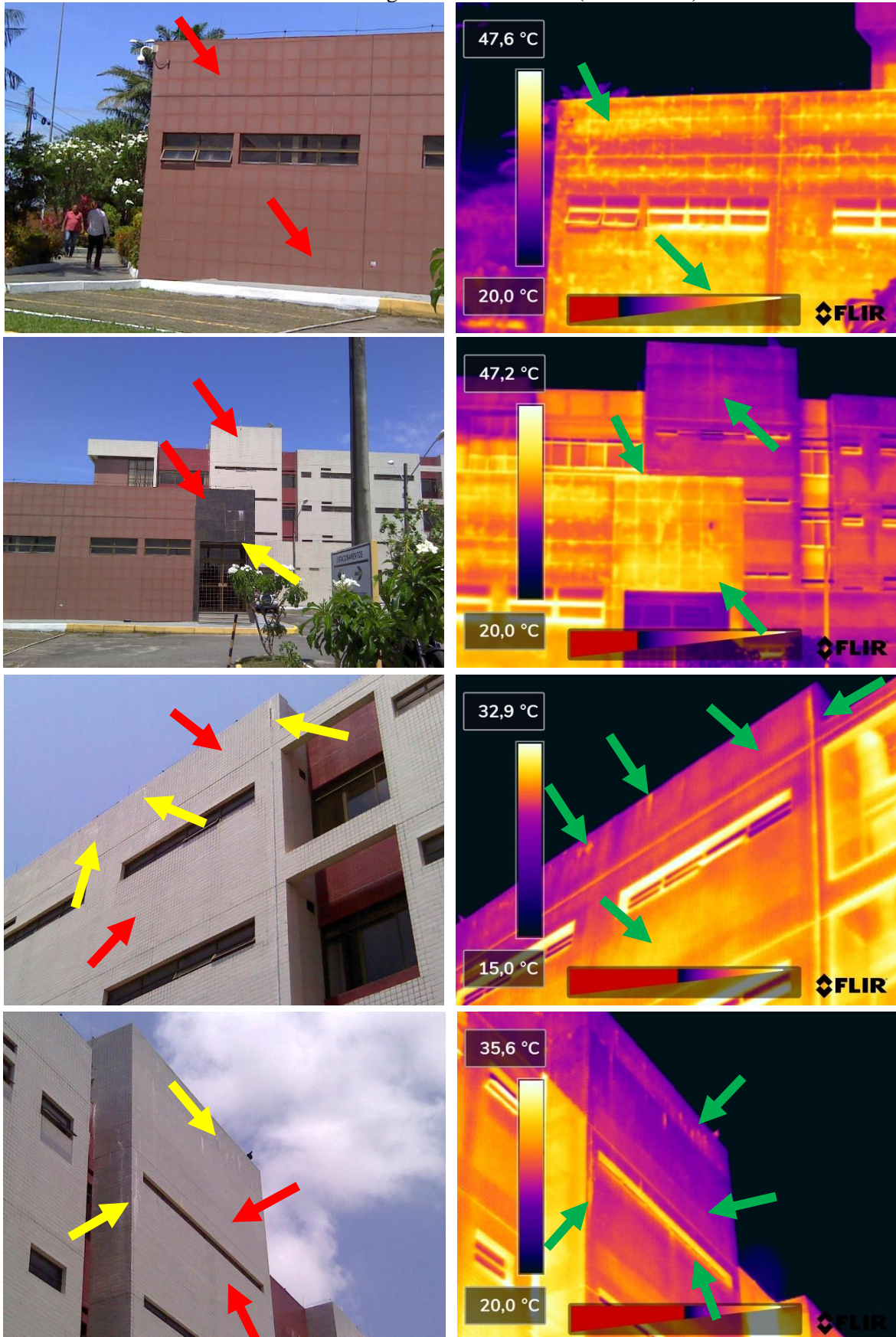
Figura 47 – Manifestações patológicas incidentes na fachada NO (Salão do Júri) do Fórum de Olinda



Fonte: Autora

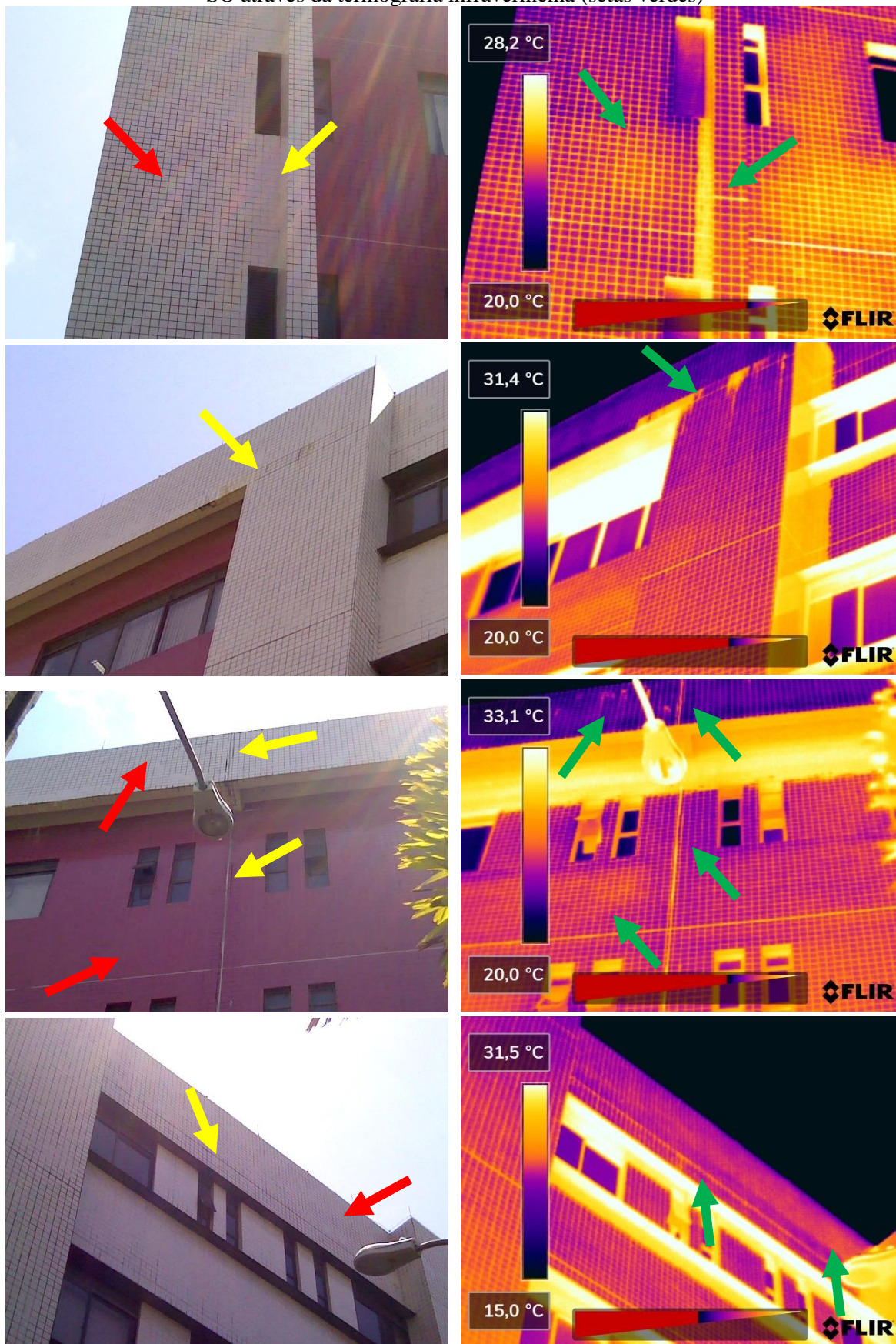
Nas fachadas NE e SO, com menor exposição à incidência de raios solares, verificou-se uma menor ocorrência de descolamentos, sendo os mais significantes localizados nas adjacências das juntas estruturais verticais, indicando uma deficiência no desempenho dos referidos elementos, caracterizando a possível origem desta anomalia (Figuras 48 e 49). Também foram identificadas áreas com comportamento térmico típico da ocorrência de eflorescências, sujidades e degradação nas juntas de movimentação e assentamento, notadamente nas proximidades dos reservatórios superiores para abastecimento d'água, indicando deficiência na impermeabilização.

Figura 48 – Anomalias visíveis (setas amarelas) e não visíveis (setas vermelhas) detectadas na fachada NE através da termografia infravermelha (setas verdes)



Fonte: Autora

Figura 49 – Anomalias visíveis (setas amarelas) e não visíveis (setas vermelhas) detectadas na fachada SO através da termografia infravermelha (setas verdes)

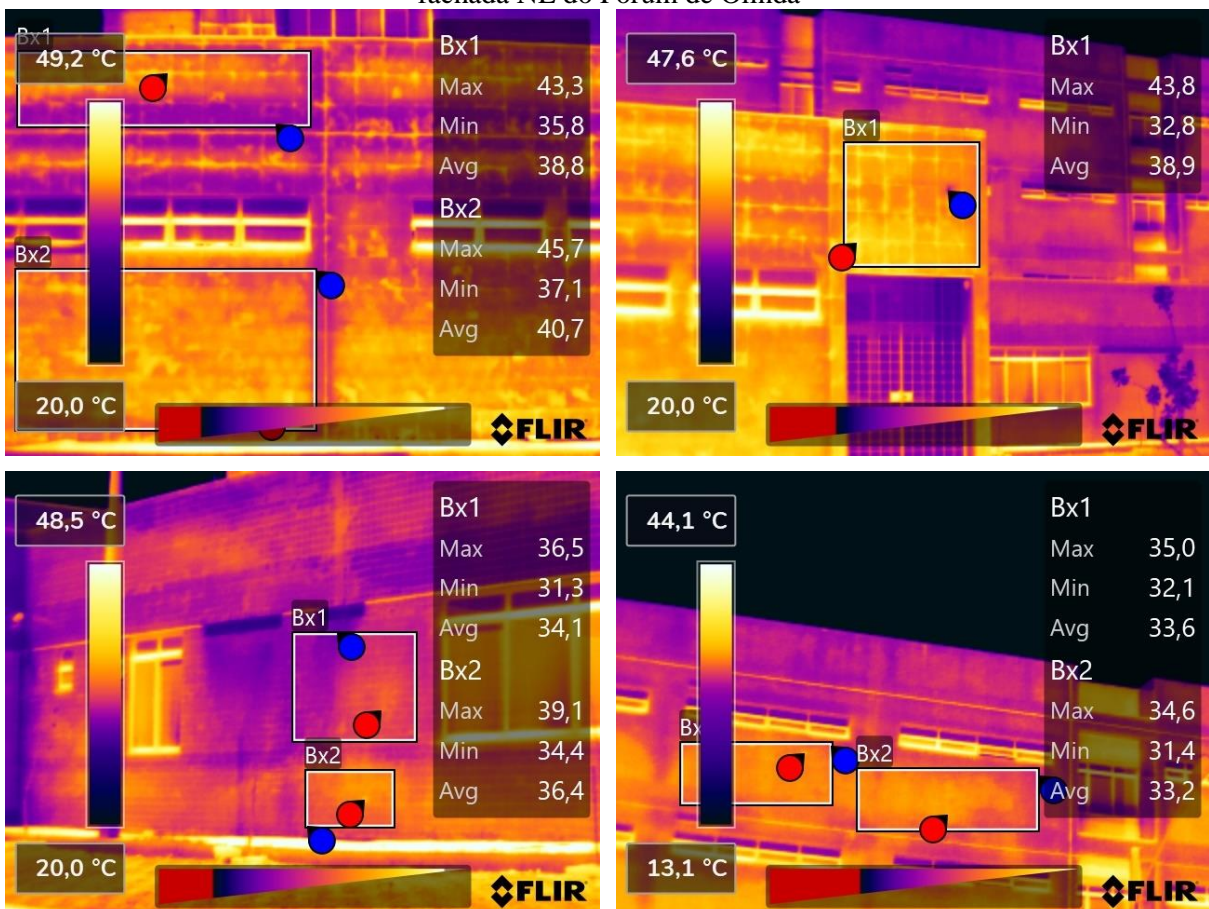


Fonte: Autora

Além do quadro mencionado anteriormente, também foi evidenciada a ocorrência de regiões com suspeita de descolamento dos revestimentos das Fachadas NE e SO, em áreas que se apresentavam aparentemente (inspeção visual) saudáveis — denotando que as referidas anomalias se encontram em estágio inicial. As referidas regiões apresentavam um comportamento térmico caracterizado por tonalidades mais quentes (laranja e amarelo), indicando o registro de temperaturas mais elevadas em relação às regiões sãs, em decorrência da formação de um “bolsão” de ar quente entre a placa e o substrato, o que faz elevar a temperatura superficial das áreas afetadas, uma vez que descolamentos tendem a dificultar o transporte do calor (VIÉGAS, 2015).

Conforme apresentado nos termogramas componentes das Figuras 50 e 51, foi constatada através da ferramenta de mediação *Box Rectangle* do *software* FLIR Thermal Studio uma variação térmica entre 3 e 8 °C nos setores afetados, configurando um forte indicativo da ocorrência de descolamentos nas regiões.

Figura 50 – Detecção de áreas com suspeita de descolamentos em fase inicial nos revestimentos da fachada NE do Fórum de Olinda



Fonte: Autora

Figura 51 – Detecção de áreas suspeitas de descolamentos em fase inicial nos revestimentos da fachada SO do Fórum de Olinda



Fonte: Autora

5.2.4 Apontamentos finais acerca da inspeção termográfica e apresentação do mapa de danos definitivo

Ao final, sabendo-se que a identificação das manifestações patológicas é possível através da comparação dos picos de gradiente térmico existentes entre as áreas sãs e as regiões com incidência de falhas, não pode se deixar de mencionar os diferentes padrões térmicos identificados nas fachadas investigadas, tendo sido verificado que os revestimentos dotados de coloração mais escura apresentaram temperaturas maiores, entre 28 e 41 °C, que os de tonalidade mais clara, nos quais foram registradas temperaturas médias entre 25 e 32 °C.

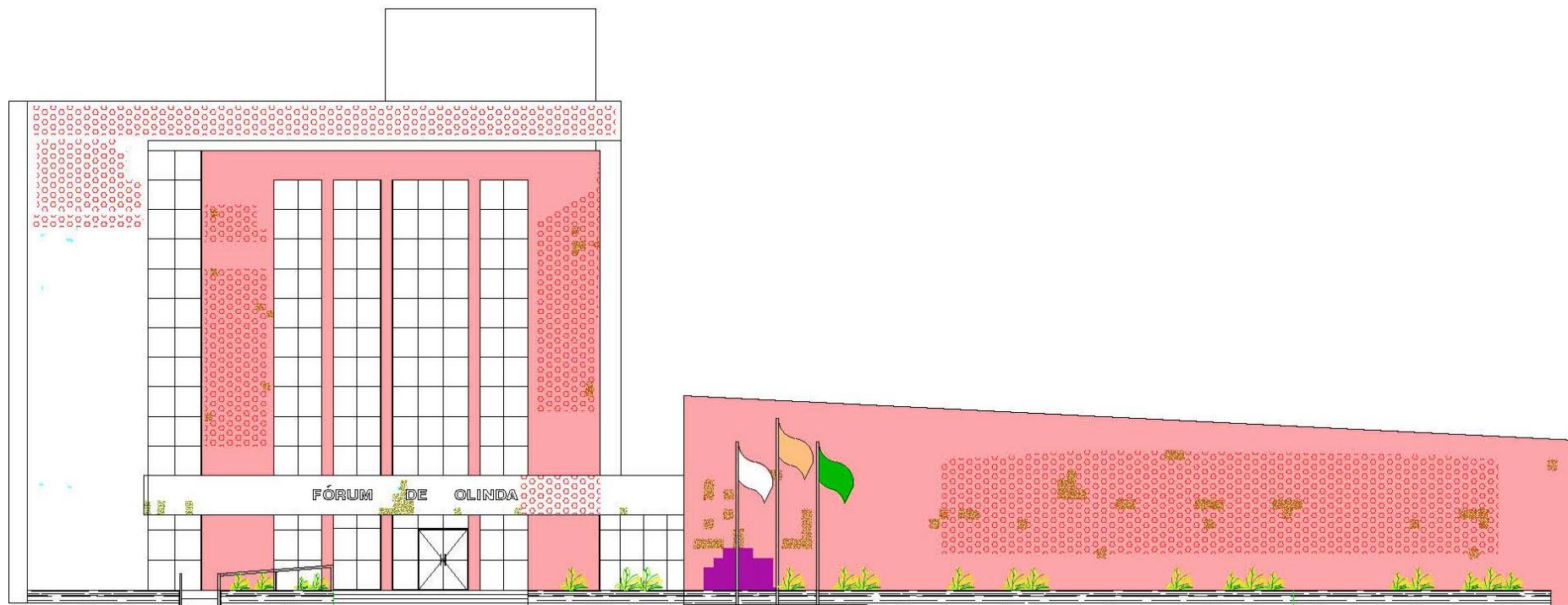
Além da diferença de emissividade existente entre os materiais componentes dos revestimentos inspecionados, este aumento pode ser atribuído à coloração das placas, em decorrência da maior condutividade térmica superficial inerente aos elementos com tonalidade mais escura.

A condutividade térmica pode afetar negativamente a visualização qualitativa das anomalias nas superfícies através da câmera termográfica, tendo em vista que tal propriedade acarreta numa aceleração do equilíbrio térmico superficial (ANDRADE, 2020), ou seja, na diminuição do gradiente térmico entre as superfícies, podendo, desta forma, inviabilizar a detecção de um dano patológico diante da ausência de uma variação térmica significativa entre as regiões afetada e íntegra.

O mapa de danos final obtido encontra-se sintetizado nas Figuras 52 a 55, ressaltando-se que na sua elaboração não foram consideradas áreas em que se registrou a ocorrência de refletividade e possíveis camuflagens de anomalias.

Comparando os resultados obtidos exclusivamente via inspeção visual sintetizados no mapa de danos preliminar constante nas Figuras 35 a 38 e no mapa de danos definitivo, observa-se uma convergência quanto à incidência de anomalias, com relação à sua tipologia e áreas afetadas, além de um esperado aumento na quantidade de manifestações patológicas detectadas nas fachadas do Fórum de Olinda, mantendo-se o padrão quantitativo verificado na inspeção visual, onde se verificou uma maior ocorrência de falhas, em especial descolamentos, nas fachadas situadas nas regiões com maior incidência de raios solares (SE e NO).

Figura 52 – Mapa de danos definitivo da fachada Sudeste do Fórum de Olinda – Inspeções visual e termográfica



Legenda:

Manchas (inspeção visual)

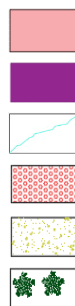
Indicativo de deteriorações/sujidades

Fissuras/trincas (inspeção visual)

Indicativo de descolamento/peças soltas

Indicativo de eflorescência

Abatimento de piso/presença de vegetação (inspeção visual)



Fonte: Autora

Figura 53 – Mapa de danos definitivo da fachada Noroeste do Fórum de Olinda – Inspeções visual e termográfica



Legenda:

Manchas (inspeção visual)



Indicativo de deteriorações/sujidades



Fissuras/trincas (inspeção visual)



Indicativo de descolamento/peças soltas



Indicativo de eflorescência

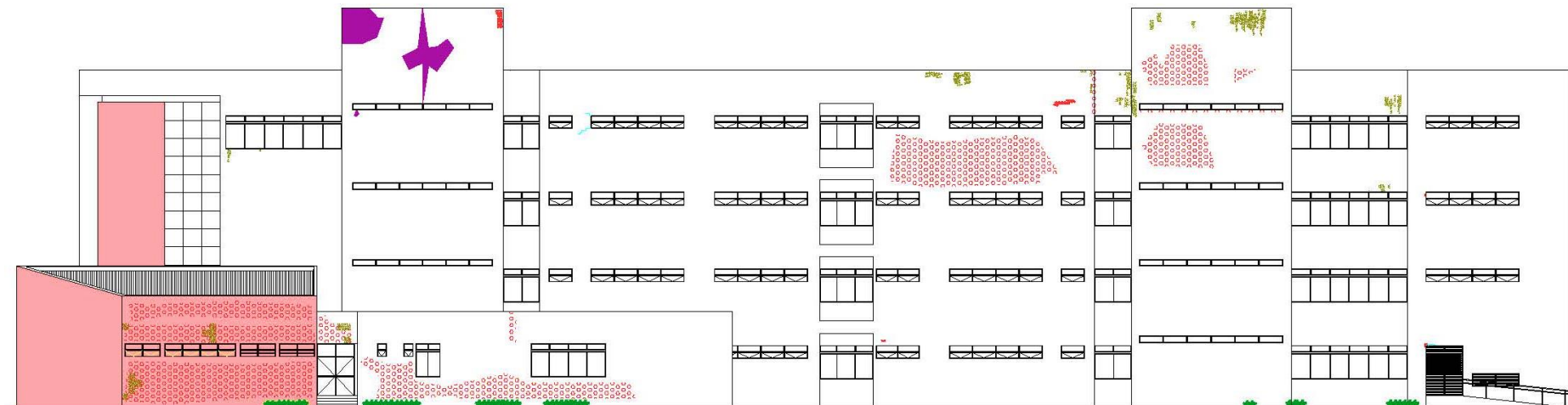


Abatimento de piso/presença de vegetação (inspeção visual)



Fonte: Autora

Figura 54 – Mapa de danos definitivo da fachada Nordeste do Fórum de Olinda – Inspeções visual e termográfica



Legenda:

Manchas (inspeção visual)



Indicativo de deteriorações/sujidades



Fissuras/trincas (inspeção visual)



Indicativo de descolamento/peças soltas



Indicativo de eflorescência

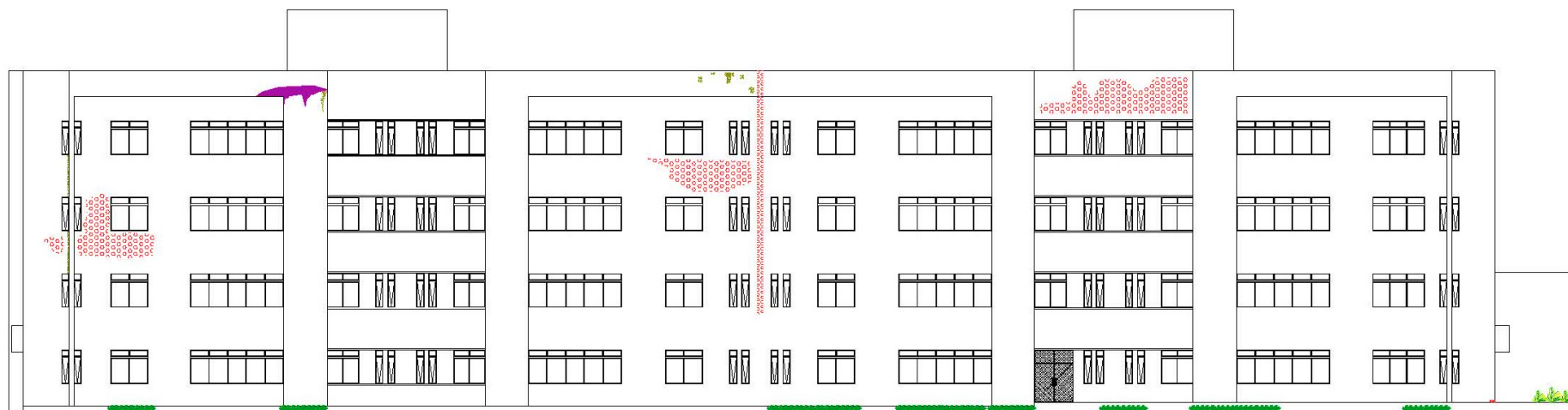


Abatimento de piso/presença de vegetação (inspeção visual)



Fonte: Autora

Figura 55 – Mapa de danos definitivo da fachada Sudoeste do Fórum de Olinda – Inspeções visual e termográfica



Legenda:

Manchas (inspeção visual)

Indicativo de deteriorações/sujidades

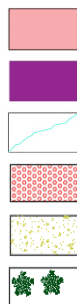
Fissuras/trincas (inspeção visual)

Indicativo de descolamento/peças soltas

Indicativo de eflorescência

Abatimento de piso/presença de vegetação (inspeção visual)

Fonte: Autora



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa em tela foi dividida em quatro etapas definidas para seu desenvolvimento, onde foram coletadas informações acerca da base teórica necessária para a execução da termografia infravermelha e do mapa de danos, bem como da identificação e classificação das anomalias incidentes via inspeção visual.

Conforme abordado ao longo da pesquisa empreendida, conhecimento técnico acerca das propriedades termográficas e do comportamento térmico dos materiais é imprescindível ao operador para a condução exitosa tanto do ensaio, quanto da análise de seus resultados, minimizando desta forma erros de medição e interpretação de termogramas, bem como a adoção de condições de contorno às adversidades e imprevistos encontrados em campo.

Verificou-se, no caso da edificação inspecionada, que houve uma maior ocorrência de manifestações patológicas nas fachadas frontal e posterior, neste trabalho identificadas como SE e NO, respectivamente, as quais encontram-se expostas a uma maior incidência de raios solares nos períodos matutino e vespertino, ou seja, recebiam um maior aquecimento que as demais, possibilitando a coleta de resultados mais nítidos.

Em geral, as anomalias encontradas nos revestimentos de fachada do Fórum de Olinda majoritariamente guardam relação com falta de manutenção, principalmente quanto às juntas de assentamento e de movimentação, tratando-se, portanto, de manifestações patológicas com origem funcional. Entretanto, verificou-se nas fachadas laterais, quais sejam, NE e SO, uma maior incidência de danos possivelmente de origem endógena, decorrentes de falhas na concepção da própria edificação nas fases PPE – Planejamento, Projeto e Execução do processo construtivo, como os casos de descolamentos e fissuras adjacentes às juntas estruturais verticais, indicando desempenho insuficiente dos citados elementos e a ocorrência de eflorescências nos reservatórios superiores para abastecimento de água, denotando insuficiência do sistema de impermeabilização.

Também foi possível identificar, nas quatro fachadas, áreas consideráveis com suspeitas de ocorrência de descolamentos, ou, no mínimo, que indicam um comprometimento em fase inicial dos revestimentos em decorrência do estado de degradação verificado nas juntas de

movimentação e de assentamento, tendo em vista que as referidas anomalias ainda não podem ser percebidas visualmente.

Por fim, restou constatada a eficiência da termografia na identificação das manifestações patológicas de fachadas, inclusive possibilitando a detecção de anomalias ainda não visíveis a olho nu, através da alteração dos padrões térmicos usuais no sistema de revestimento, tendo sido registrada que, em geral, as áreas afetadas por danos patológicos e degradação apresentavam um aumento de temperatura quando comparada com áreas sãs, considerando os limites e pressupostos estabelecidos na metodologia aplicada.

Entretanto, os fatores dificultantes enfrentados quando da execução do ensaio em campo podem impactar diretamente a identificação dos danos incidentes e, conseqüentemente, a confiabilidade do resultados, exigindo do operador do ensaio conhecimento dos princípios da técnica e do comportamento térmico das superfícies em estudo investigadas, para que seja possível a diferenciação entre o perfil térmico de uma região afetada e falsos positivos que podem ser provocados pelas condições do entorno da superfície investigada, sendo recomendável o emprego da termografia infravermelha como ferramenta auxiliar para diagnóstico, mediante um estrito protocolo de procedimentos da inspeção, visando mitigar a influência dos referidos aspectos.

Sabendo-se que a termografia é uma técnica que não é capaz de substituir plenamente os ensaios convencionais, e que não possui referências normativas robustas no cenário nacional, é possível afirmar que se trata de um recurso que apresenta custo relativamente baixo, não destrutivo e capaz de possibilitar o direcionamento da execução de outros procedimentos, e prover uma identificação rápida e eficiente de áreas possivelmente afetadas por manifestações patológicas, notadamente na detecção de manifestações patológicas relacionadas à umidade, colonização biológica e descolamentos de revestimentos aderidos.

A elaboração do mapa de danos mostrou-se relevante tanto inicialmente, para a condução das inspeções termográficas, quanto na fase posterior à aplicação da técnica não destrutiva, fornecer um panorama sintético prévio a respeito das anomalias aparentes, servindo como guia para a execução dos procedimentos pertinentes ao ensaio da termografia infravermelha passiva, e ao final, descrevendo o quadro geral encontrado nas investigações procedidas, com a identificação das manifestações patológicas encontradas, sejam elas aparentes ou não, que poderá servir

como instrumento de orientação no monitoramento dos danos, controle das manutenções e/ou serviços de recuperação no sistema de revestimentos a serem realizadas na edificação.

A referida ferramenta também torna possível estabelecer um parâmetro de comparação qualitativo e quantitativo entre os resultados obtidos através de diferentes métodos de inspeção para verificação da convergência entre as técnicas em estudo.

Sugere-se para casos como o da edificação vistoriada, onde funcionam as atividades do Poder Judiciário de Pernambuco, com grande circulação de pessoas e veículos, e dotado de revestimentos de fachada com diferentes tipologias, materiais e colorações, que o ensaio seja procedido em horários onde não haja funcionamento regular, com diferentes fluxos de calor (manhã/tarde) e em condições de menor luminosidade direta (tempo nublado), visando mitigar a influência de variáveis como a refletividade de objetos e vegetação presentes no entorno da edificação, e minimizar o risco de camuflagem de determinadas anomalias.

Recomenda-se ainda para uma melhor avaliação da metodologia estudada, a execução da presente inspeção termográfica em prédios com altura mais elevada, e a condução do ensaio termográfico, seja na edificação em tela e/ou em prédios mais altos, em conjunto com outras técnicas para ratificação dos dados obtidos e áreas suspeitas detectadas, como ensaio de percussão, bem como o uso de drones para a aquisição de imagens em áreas com acesso restrito ou com pouco espaço para coleta de termogramas em angulação adequada.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM C1046-95**: Standard Practice for In-Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope Components. 1. ed., West Conshohocken, EUA: ASTM International, 2013 c.

_____. **ASTM C1060-11a**: Standard practice for thermographic inspection of insulation instalations in envelope cavities of frame buildings. 1. ed., West Conshohocken, EUA: ASTM International, 2015 a. v. 04

_____. **ASTM C1153-10**: Standard Practice for Location of Wet Insulation in Roofing Systems Using. 1. ed., West Conshohocken, EUA: ASTM International, 2015 b.

_____. **ASTM C1155-95**: Standard Practice for Determining Thermal Resistance of Building Envelope Components from the In-Situ Data. 1. ed., West Conshohocken, EUA: ASTM International, 2013 a.

_____. **ASTM D4788-03**: Standard Test Method for Detecting Delaminations in Bridge Decks Using Infrared. 1. ed., West Conshohocken, EUA: ASTM International, 2013 b.

_____. **ASTM E1862-14**: Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers. 1. ed., West Conshohocken, EUA: ASTM International, 2014 a.

_____. **ASTM E1933-14**: Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers. 1. ed., West Conshohocken, EUA: ASTM International, 2014 b.

ANDRADE, R. P. D. **Uso da termografia infravermelha embarcada em drone como ferramenta para a inspeção de patologias em revestimentos aderidos de fachada**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3153/tde-18112020-102555/>. Acesso em: 11 out. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO. **Ensaios Não Destrutivos e Inspeção**. 2021. Disponível em: <http://www.abendi.org.br/abendi>. Acesso em: 23 out. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755**: Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante — Projeto, execução, inspeção e aceitação — Procedimento. 2. ed., Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2017.

_____. **NBR 15220-2 Desempenho térmico de edificações — Parte 2**: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. 1. ed., Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2005.

_____. **NBR 15424**: Ensaios não destrutivos — Termografia — Terminologia. 2. ed., Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2016 a.

_____. **NBR 15572**: Ensaios não destrutivos — Termografia — Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos. 2. ed., Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2013 b.

_____. **NBR 15575-1 Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais.** 1. ed., Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2013 a.

_____. **NBR 15718: Ensaios não destrutivos — Termografia — Guia para verificação de termovisores.** 1. ed., Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2009 a.

_____. **NBR 15763: Ensaios não destrutivos — Termografia — Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência.** 1. ed., Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2009 b.

_____. **NBR 16292: Ensaios não destrutivos — Termografia — Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas.** 1. ed., Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2014.

_____. **NBR 16485: Ensaios não destrutivos — Termografia — Medição e compensação da emissividade utilizando câmeras termográficas ou radiômetros.** 2. ed., Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2016 b.

_____. **NBR 16554: Ensaios não destrutivos — Termografia — Medição e compensação da transmitância de um meio atenuante utilizando câmeras termográficas.** 1. ed., Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2016 c.

_____. **NBR 16818: Ensaios não destrutivos — Termografia infravermelha — Procedimento para aplicações do método da termografia infravermelha.** 1. ed., Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES. **Ceramics of Brazil Panorama 2020 – Overview ANFACER.** 1. ed., São Paulo, Brasil: ANFACER, 2019. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1wwMs0ls5e0325drECLAmUO_xtbnZ4y. Acesso em: 12 out. 2020.

BAGAVATHIAPPAN, S.; LAHIRI, B. B. B.; SARAVANAN, T.; PHILIP, J.; JAYAKUMAR, T. Infrared thermography for condition monitoring – A review. **Infrared Physics & Technology**, Exeter, Inglaterra, v. 60, p. 35–55, 2013. ISSN: 13504495. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.infrared.2013.03.006>. Acesso em: 7 set. 2020.

BARREIRA, E.; ALMEIDA, R. M. S. F.; SIMÕES, M. L.; REBELO, D. Quantitative Infrared Thermography to Evaluate the Humidification of Lightweight Concrete. **Sensors**, Basileia, Suíça, v. 20, n. 6, p. 1664, 2020. ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s20061664. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/6/1664>. Acesso em: 2 set. 2021.

BARREIRA, E.; BAUER, E.; MUSTELIER, N.; FREITAS, V. P. Measurement of materials emissivity – Influence of the procedure. *In: 13th INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADVANCED INFRARED TECHNOLOGY & APPLICATIONS 2015*, Pisa, Itália. **Proceedings** [...]. Pisa, Itália p. 242–245. Disponível em: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/82623/AITA2015_proceedings.pdf. Acesso em: 1 ago. 2022.

BARREIRA, E. S. B. M. **Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios.** 2004. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2004.

BAUER, E.; DE CASTRO, E. K.; PAVÓN, E.; OLIVEIRA FILHO, A. H. Criteria for application and identification of anomalies on the facades of buildings with the use of passive infrared thermography. *In: 1ST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BUILDING PATHOLOGY*. 2015 a, Porto, Portugal. **Proceedings** [...]. Porto, Portugal p. 12.

BAUER, E.; DE FREITAS, V. P.; MUSTELIER, N.; BARREIRA, E.; DE FREITAS, S. S. Infrared thermography – evaluation of the results reproducibility. **Structural Survey**, Danvers, EUA, v. 33, n. 1, p. 20–35, 2015 b. ISSN: 0263-080X. DOI: 10.1108/SS-05-2014-0021. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/SS-05-2014-0021/full/html>. Acesso em: 1 set. 2020.

BAUER, E.; MILHOMEM, P. M.; AIDAR, L. A. G. Evaluating the damage degree of cracking in facades using infrared thermography. **Journal of Civil Structural Health Monitoring**, Berlim, Alemanha, v. 8, n. 3, p. 517–528, 2018. ISSN: 21905479. DOI: 10.1007/s13349-018-0289-0. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13349-018-0289-0>. Acesso em: 9 out. 2020.

BAUER, E.; PAVÓN, E. Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios. **Concreto & Construções**, São Paulo, Brasil, n. 79, p. 93–98, 2015. ISSN: 1809-7197. Disponível em: https://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/revista79.pdf. Acesso em: 11 out. 2021.

BAUER, E.; PAVÓN, E.; BARREIRA, E.; DE CASTRO, E. K. Analysis of building facade defects using infrared thermography: Laboratory studies. **Journal of Building Engineering**, Amsterdã, Holanda, v. 6, p. 93–104, 2016. ISSN: 23527102. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.job.2016.02.012>. Acesso em: 9 out. 2020.

BERSCH, J. D.; VERDUM, G.; GUERRA, F. L.; SOCOLOSKI, R. F.; GIORDANI, C.; ZUCCHETTI, L.; MASUERO, A. B. Diagnosis of Pathological Manifestations and Characterization of the Mortar Coating from the Facades of Historical Buildings in Porto Alegre — Brazil: A Case Study of Château and Observatório Astronômico. **International Journal of Architectural Heritage**, Philadelphia, EUA, v. 00, n. 00, p. 1–25, 2020. ISSN: 1558-3058. DOI: 10.1080/15583058.2020.1771475. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1771475>. Acesso em: 31 ago. 2020.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. **Patologia de Estruturas**. 1. ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2019. 320 p.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 1767**: Products and systems for the protection and repair of concrete structures — Test methods — Infrared analysis. 1. ed., Londres, Inglaterra: BSI Standards Limited, 1999 b.

_____. **BS EN 13187**: Thermal performance of buildings — Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes — Infrared method. 1. ed., Londres, Inglaterra: BSI Standards Limited, 1999 a.

_____. **BS EN ISO 6781-3 Performance of buildings — Detection of heat, air and moisture irregularities in buildings by infrared methods — Part 3: Qualifications of equipment operators, data analysts and report writers**. 1. ed., Londres, Inglaterra: BSI Standards Limited, 2015.

BU, C.; SUN, Z.; TANG, Q.; LIU, Y.; MEI, C. Thermography Sequence Processing and Defect Edge Identification of TBC Structure Debonding Defects Detection Using Long-Pulsed Infrared Wave Non-Destructive Testing Technology. **Russian Journal of Nondestructive Testing**, Yekaterimburgo, Russia, v. 55, n. 1, p. 80–87, 2019. ISSN: 1061-8309. DOI: 10.1134/S1061830919010030. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1134/S1061830919010030>. Acesso em: 31 ago. 2020.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Entrevista:** Desplacamento cerâmico - Construção civil defende rápida resolução. 2019. Disponível em: <https://cbic.org.br/entrevista-desplacamento-ceramico-construcao-civil-defende-rapida-resolucao>. Acesso em: 11 out. 2021.

CLIMATEMPO. **Previsão de Hoje 23/09 Olinda - PE**. 2022. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/previsao-do-tempo/cidade/1262/olinda-pe>. Acesso em: 23 set. 2022.

COSTA E SILVA, A. J. **Revestimentos – Conceitos Básicos Fundamentais**. Recife, Brasil: Tecomat Engenharia, 2014.

DIAS, I.; FLORES-COLEN, I.; SILVA, A. Critical Analysis about Emerging Technologies for Building's Façade Inspection. **Buildings**, Basileia, Suíça, v. 11, n. 2, p. 53, 2021. ISSN: 2075-5309. DOI: 10.3390/buildings11020053. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/11/2/53>. Acesso em: 2 set. 2021.

FLIR SYSTEMS. **The Ultimate Infrared Handbook for R & D Professionals**. 1. ed., Wilsonville, EUA: FLIR Systems Inc., 2012. Disponível em: http://www.flir.com/uploadedFiles/Thermography/MMC/Brochures/T559243/T559243_APA C.pdf. Acesso em: 25 set. 2020.

FLIR SYSTEMS BRASIL. **FLIR Série E – Os Novos Termovisores FLIR Linha E40, E50 e E60 Agora com MSX**. Sorocaba, Brasil: FLIR Systems Brasil, 2013. Disponível em: <https://livrozilla.com/doc/1031459/catalogo-flir-e40-e-e60>. Acesso em: 25 set. 2020.

FLIR SYSTEMS INC. **User's manual: FLIR Exx series**. Wilsonville, EUA: FLIR Systems Inc., 2016. Disponível em: <http://www.omega.com/manuals/manualpdf/M5162.pdf>. Acesso em: 25 set. 2020.

FLUKE CORPORATION. **How to improve thermal camera accuracy with a few focus tips**. 2020. Disponível em: <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/thermal-imaging/thermal-camera-accuracy>. Acesso em: 24 abr. 2022.

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, Brasil, v. 14, n. 1, p. 57–73, 2014. ISSN: 1678-8621. DOI: 10.1590/S1678-86212014000100006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000100006&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 9 out. 2020.

GOOGLE. **Google Earth**. 2021. Disponível em: <https://earth.google.com/web/search/forum+de+olinda/@-8.0126196,-34.8595302,1.95588757a,1045.00324349d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCZm5ZKjZBCDAER OZMSBmByDAGdzzaSNwbUHAIVPZyX2UbKHA>. Acesso em: 12 out. 2021

GOMIDE, T. L. F.; FAGUNDES NETO, J. C. P.; GULLO, M. A. **Engenharia diagnóstica em edificações**. 1. ed., São Paulo, Brasil: Pini, 2009.

GOMIDE, T. L. F.; FLORA, S. M. D. **Manual de engenharia diagnóstica: desempenho, manifestações patológicas e perícias na construção civil**. 1. ed., São Paulo, Brasil: Leud, 2018.

GUADAGNUOLO, M.; TITOMANLIO, I.; FAELLA, G.; GAMBARDELLA, C. The royal palace in caserta: nondestructive tests for safety and conservation. **International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology**, Tamilnadu, India, v. 11, n. 5, p. 537–546, 2020. ISSN: 09766499. DOI: 10.34218/IJARET.11.5.2020.055. Disponível em: https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJARET/VOLUME_11_ISSUE_5/IJARET_11_05_055.pdf. Acesso em: 9 out. 2020.

HAUTEQUESTT FILHO, G. C.; ACHIAMÉ, G. G. Diretrizes para representação gráfica de mapa de danos. *In: 6ª CONFERÊNCIA SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS – PATORREB 2018*, Rio de Janeiro, Brasil. **Anais [...]**. Rio de Janeiro, Brasil: PATORREB 2018, 2018 p. 10. Disponível em: <https://www.nppg.org.br/patorreb/files/artigos/80626.pdf>. Acesso em: 5 set. 2022.

HIASA, S.; BIRGUL, R.; CATBAS, F. N. Investigation of effective utilization of infrared thermography (IRT) through advanced finite element modeling. **Construction and Building Materials**, Guildford, Inglaterra, v. 150, p. 295–309, 2017. ISSN: 09500618. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.175. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061817310747>. Acesso em: 15 nov. 2021.

INFRARED TRAINING CENTER. **Thermography Level 1 Course Manual**. Sorocaba, Brasil: ITC, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA - SECCIONAL MINAS GERAIS. **Estudo sobre as manifestações patológicas de fachadas dos edifícios da Cidade de Belo Horizonte/MG**. Belo Horizonte: IBAPE/MG, 2020. Disponível em: <https://www.ibapemg.com.br/2018/wp-content/uploads/2020/12/estudo-fachadas-ibape-mg.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA - SECCIONAL SÃO PAULO. **Norma de Inspeção Predial**. São Paulo: IBAPE/SP, 2011. Disponível em: http://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2012/09/norma_de_inspecao_predial.pdf. Acesso em: 31 mar. 2022.

INSTITUTO DE ENGENHARIA. **Diretrizes técnicas de engenharia diagnóstica em edificações**. 1. ed., São Paulo, Brasil: Leud, 2016.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 10880: Non-destructive testing — Infrared thermographic testing — General principles**. 1. ed., Genebra, Suíça: ISO copyright office, 2017.

ISRAEL, M. C. **Ensaio não destrutivo aplicado à avaliação de revestimentos de argamassa**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2016. DOI: 10.11606/D.3.2016.tde-15072016-150954. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-15072016-150954/pt-br.php>.

LAGÜELA, S.; SOLLA, M.; PUENTE, I.; PREGO, F. J. Joint use of GPR, IRT and TLS techniques for the integral damage detection in paving. **Construction and Building Materials**, Guildford, Inglaterra, v. 174, p. 749–760, 2018. ISSN: 09500618. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.04.159. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061818309723>. Acesso em: 10 set. 2020.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 7. ed., Hoboken, EUA: John Wiley & Sons, 2015.

LIMA, F. F. D. S.; MONTEIRO, E. C. B.; SILVA, A. J. D. C.; VASCONCELOS FILHO, A. G. F. D.; LEMOS, A. R.; TENÓRIO, A. F. B.; RÊGO, C. M. D.; BORBA, L. F. F.; BARRETO, L. M. Pathological manifestations in façades of historic buildings – damage map: case study of the church Santuário Nossa Senhora de Fátima. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, Brasil, v. 11, n. 11, p. e124111133394, 2022. ISSN: 2525-3409. DOI: 10.33448/rsd-v11i11.33394. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/33394>. Acesso em: 5 set. 2022.

LOURENÇO, T. C.; MATIAS, L.; FARIA, P. Detecção de anomalias em revestimentos de ladrilhos por termografia de infravermelhos. *In*: 2º ENCONTRO NACIONAL SOBRE QUALIDADE E INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO 2016, Lisboa, Portugal. **Anais [...]**. Lisboa, Portugal: QIC2016, 2016 p. 1–12. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/19454>. Acesso em: 25 maio 2021.

LOURENÇO, T.; MATIAS, L.; FARIA, P. Anomalies detection in adhesive wall tiling systems by infrared thermography. **Construction and Building Materials**, Guildford, Inglaterra, v. 148, p. 419–428, 2017. ISSN: 09500618. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.052. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061817309455>. Acesso em: 31 ago. 2020.

MALDAGUE, X. Applications of infrared thermography in nondestructive evaluation. *In*: **Trends in Optical Non-Destructive Testing and Inspection**. Quebec, Canadá: Elsevier, 2000. p. 591–633. DOI: 10.1016/B978-008043020-1/50040-5. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780080430201500405>. Acesso em: 12 set. 2020.

MARINHO, M. I. M. **Diagnóstico de patologias associadas à humidade utilizando técnicas não destrutivas**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.

MENEZES, A.; GOMES, M. G.; FLORES-COLEN, I. In-situ assessment of physical performance and degradation analysis of rendering walls. **Construction and Building Materials**, Guildford, Inglaterra, v. 75, p. 283–292, 2015. ISSN: 09500618. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.11.039. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.039>. Acesso em: 31 ago. 2020.

MENEZES, L. A. A.; PÓVOAS, Y. V.; VIÉGAS, D. J. A. The use of infrared thermography to verify corrosion on reinforced concrete posts. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, Brasil, v. 11, n. 5, p. e27911528065, 2022. ISSN: 2525-3409. DOI: 10.33448/rsd-v11i5.28065. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/28065>. Acesso em: 30 jul. 2022.

MILOVANOVIĆ, B.; BANJAD PEČUR, I.; ŠTIRMER, N. The methodology for defect quantification in concrete using IR thermography. **Journal of Civil Engineering and Management**, Vilnius, Lituânia, v. 23, n. 5, p. 573–582, 2017. ISSN: 1392-3730. DOI: 10.3846/13923730.2016.1210220. Disponível em: <https://journals.vilniustech.lt/index.php/JCEM/article/view/1088>. Acesso em: 1 maio. 2022.

OLIVEIRA, J. L. P. D.; DIAS, L. S.; FORMIGA, A. P.; JOSUÉ, J. L. B. Estudo de caso: identificação de manifestações patológicas com o uso da termografia infravermelha. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES - CBPAT 2020 2020, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CBPAT 2020, 2020 p. 2135–2143.

PAVÓN, E. **Critérios e padrões de comportamento para avaliação de descolamentos cerâmicos com termografia de infravermelho**. 2017. Tese (Doutorado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/31912>. Acesso em: 31 ago. 2020.

PEDRA, S. A. **Potencialidades da termografia infravermelha aplicada ao design do conforto térmico de alvenaria estrutural**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Escola de Design, Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2011. Disponível em: <http://mestrados.uemg.br/ppgd-producao/dissertacoes-ppgd/category/86-2011?download=358:potencialidades-da-termografia-infravermelha-aplicada-ao-design-do-conforto-termico-de-alvenaria-estrutural>. Acesso em: 12 set. 2020.

PESSANHA, D. F.; ALEXANDRE, J.; LIMA, J. A. P.; AZEVEDO, A. R. G. D.; ZANELATO, E. B.. Ensaio não destrutivo em revestimento cerâmico utilizando um protótipo para detecção de patologia. **Matéria (Rio de Janeiro)**, Rio de Janeiro, Brasil, v. 24, n. 4, 2019. ISSN: 1517-7076. DOI: 10.1590/s1517-707620190004.0835. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762019000400329&tlng=pt. Acesso em: 6 set. 2020.

PITARMA, R.; CRISÓSTOMO, J.; JORGE, L. Analysis of Materials Emissivity Based on Image Software. *In*: ROCHA, A.; CORREIA, A. M.; ADELI, H.; REIS, L. P.; TEIXEIRA, M. M. (org.). **New Advances in Information Systems and Technologies**. Cham, Suíça: Springer International Publishing, 2016. v. 444p. 749–757. (Advances in Intelligent Systems and Computing). ISSN: 21945357. DOI: 10.1007/978-3-319-31232-3. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-31232-3>. Acesso em: 23 out. 2021.

PRADO, A. F. B. A.; KUGA, H. K. **Fundamentos de tecnologia espacial**. São José dos Campos, Brasil: INPE, 2001.

ROCHA, E. D. A.; MACEDO, J.; CORREIA, P.; MONTEIRO, E. Adaptation of a damage map to historical buildings with pathological problems: Case study at the Church of Carmo in Olinda, Pernambuco. **Revista ALCONPAT**, Mérida, México, v. 8, n. 1, p. 51–63, 2018 a. ISSN: 2007-6835. ISBN: 2013011717. DOI: 10.21041/ra.v8i1.198. Disponível em: <https://revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/198>. Acesso em: 5 set. 2022.

ROCHA, J. H. A.; PÓVOAS, Y. V. Detecção de corrosão em concreto armado com termografia infravermelha e ultrassom. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, Brasil, v. 19, n. 3, p. 53–68, 2019. ISSN: 1415-8876. DOI: 10.1590/s1678-86212019000300324. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/bd8s3yhhLtStY7fv53nz3SB/>. Acesso em: 05 mar. 2022.

ROCHA, J. H. A.; SANTOS, C. F. D.; OLIVEIRA, J. B. D.; ALBUQUERQUE, L. K. D. S.; PÓVOAS, Y. V. Detecção de infiltração em áreas internas de edificações com termografia infravermelha: estudo de caso. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, Brasil, v. 18, n. 4, p. 329–340, 2018 b. ISSN: 1678-8621. DOI: 10.1590/s1678-86212018000400308. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000400329&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 1 nov. 2022.

RODRÍGUEZ-GONZÁLVEZ, P.; RODRÍGUEZ-MARTÍN, M. Design of a Didactical Activity for the Analysis of Uncertainties in Thermography through the Use of Robust Statistics as Teacher-Oriented Approach. **Remote Sensing**, Basileia, Suíça, v. 13, n. 3, p. 402, 2021. ISSN: 2072-4292. DOI: 10.3390/rs13030402. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/3/402>. Acesso em: 2 set. 2021.

RUIZ VALERO, L.; FLORES SASSO, V.; PRIETO VICIOSO, E. In situ assessment of superficial moisture condition in façades of historic building using non-destructive techniques. **Case Studies in Construction Materials**, Guildford, Inglaterra, v. 10, p. e00228, 2019. ISSN: 22145095. DOI: 10.1016/j.cscm.2019.e00228. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00228>. Acesso em: 2 set. 2021.

SANTOS, C. F. D.; ROCHA, J. H. A.; PÓVOAS, Y. V. Utilização da termografia infravermelha para detecção de focos de umidade em paredes internas de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, Brasil, v. 19, n. 1, p. 105–127, 2019. ISSN: 1678-8621. DOI: 10.1590/s1678-86212019000100296. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212019000100105&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 12 set. 2020.

SFARRA, S.; BENDADA, A.; IBARRA-CASTANEDO, C.; AMBROSINI, D.; PAOLETTI, D.; MALDAGUE, X. Santa Maria di Collemaggio Church (L'Aquila, Italy): Historical Reconstruction by Non-Destructive Testing Techniques. **International Journal of Architectural Heritage**, Philadelphia, EUA, v. 9, n. 4, p. 367–390, 2015. ISSN: 1558-3058. DOI: 10.1080/15583058.2013.794376. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/15583058.2013.794376>. Acesso em: 31 ago. 2020.

SILVA, A. J. D.; VIÉGAS, D. J. A.; PÓVOAS, Y. V. O uso da termografia infravermelha para detecção de manifestações patológicas. *In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO 2016*, Recife, Brasil. **Anais [...]**. Recife, Brasil: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2016 p. 2473–2487.

TAKEDA, O. T.; MAZER, W. Potential of thermographic analysis to evaluate pathological manifestations in façade cladding systems. **Revista ALCONPAT**, Mérida, México, v. 8, n. 1, p. 38–50, 2018. ISSN: 2007-6835. DOI: 10.21041/ra.v8i1.181. Disponível em: <https://revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/181>. Acesso em: 31 ago. 2020.

TANAKA, D.; PAVÓN, E. Influência das dimensões dos descolamentos de revestimentos cerâmicos na avaliação com termografia de infravermelho. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, Brasil, v. 21, n. 3, p. 133–146, 2021. ISSN: 1678-8621. DOI: 10.1590/s1678-86212021000300542. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212021000300133&tlng=pt. Acesso em: 11 out. 2021.

TEJEDOR, B.; CASALS, M.; GANGOLELLS, M.; ROCA, X. Quantitative internal infrared thermography for determining in-situ thermal behaviour of façades. **Energy and Buildings**, Lausanne, Suíça, v. 151, p. 187–197, 2017. ISSN: 03787788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.06.040. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.040>. Acesso em: 9 out. 2020.

TELEDYNE FLIR LLC. **Como Se Calibra uma Câmera Termográfica?**. 2019. Disponível em: <https://www.flir.com.br/discover/professional-tools/how-do-you-calibrate-a-thermal-imaging-camera/>. Acesso em: 22 abr. 2022.

TELEDYNE FLIR LLC. **Use Materiais de Baixo Custo para Aumentar a Emissividade do Alvo**. 2022. Disponível em: <https://www.flir.com.br/discover/rd-science/use-low-cost-materials-to-increase-target-emissivity/>. Acesso em: 5 abr. 2022.

THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 2. ed., São Paulo, Brasil: Oficina de Textos, 2020.

TINOCO, J. E. L. Mapa de Danos - Recomendações Básicas. **Textos para Discussão – Série 2: Gestão de Restauro**, Olinda, Brasil, v. 43, p. 25, 2009. ISSN: 1980-8267. Disponível em: https://www.gestaoderestauro.org/_files/ugd/d61cb0_ec1b1c1b508e4ab195d49e7bd637872f.pdf. Acesso em: 5 set. 2022.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DE PERNAMBUCO. **Projeto de reforma com modificação de área do Fórum de Olinda**. Olinda, Brasil: Diretoria de Engenharia e Arquitetura do TJPE, 2006.

VEIGA, M. D. R. Comportamento de revestimentos de fachadas com base mineral. Exigências funcionais e avaliação do desempenho. *In*: 1.º CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO 2005, Lisboa, Portugal. **Anais [...]**. Lisboa, Portugal: 1.º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, 2005.

VIÉGAS, D. J. A. **Utilização de termografia infravermelha em fachadas para verificação de descolamento de revestimento**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, 2015. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B34eGdrFOniycWd4MTJ1Qkd5WFU/view?usp=sharing>. Acesso em: 3 jun. 2022.

APÊNDICE A – Fichas de inspeção das Fachadas do Fórum de Olinda

Edifício: FÓRUM DE OLINDA			Vistoriador(a): WANEISSA S. LIMA		
Endereço: Av. Pan Nordestina, S/N - Vila Popular, Olinda/PE			Data da inspeção: 07/03/2022		
FICHA DE INSPEÇÃO					
Instruções: Nos itens 1 e 2, preencher os itens pertinentes com "X"					
1	TIPOS DE FACHADA	FACHADA: SUDESTE			OBSERVAÇÕES
	Tradicional	X			
	Aerada/ventilada				
	Pele de vidro	X			Sem manifestações patológicas aparentes
2	TIPOS DE REVESTIMENTO	FACHADA: SUDESTE			OBSERVAÇÕES
	Argamassado+Sist. de pintura				
	Argamassa decorativa				
	Cerâmica	X			
	Porcelanato	X			
	Pedras naturais	X			
	Vidros temperados/laminados	X			Sem manifestações patológicas aparentes
	Concreto aparente				
Instruções: indicar a incidência de manifestação patológica, marcando um "X" nas opções correspondentes, conforme classificação a seguir: IP - identificação parcial/pontual; IG - danos generalizados; NI - não identificada					
3	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS IDENTIFICADAS				
3.1	Cerâmica	NI	IP	IG	OBSERVAÇÕES
	Manchas	X			
	Deteriorações/sujidades			X	
	Gretamento	X			
	Fissuras/trincas		X		
	Deslocamento/peças soltas		X		
	Eflorescência			X	
	Deteriorações no rejunte			X	
	Partes do rejunte danificadas		X		
	Ausência/deficiência nas juntas	X			
	Deteriorações nas juntas			X	
	Ressecamento nas juntas			X	
3.2	Porcelanato	NI	IP	IG	OBSERVAÇÕES
	Manchas			X	Provocadas pelo uso de rejunte inadequado
	Deteriorações/sujidades			X	
	Gretamento	X			
	Fissuras/trincas		X		
	Deslocamento/peças soltas		X		
	Eflorescência			X	
	Deteriorações no rejunte			X	
	Partes do rejunte danificadas			X	
	Ausência/deficiência nas juntas	X			
	Deteriorações nas juntas			X	
	Ressecamento nas juntas			X	
3.3	Pedras naturais	NI	IP	IG	OBSERVAÇÕES
	Manchas		X		
	Fissuras/trincas		X		
	Desgaste natural/funcional	X			
	Deslocamento/peças soltas	X			
	Eflorescência			X	
	Deteriorações no rejunte			X	
	Partes do rejunte danificadas			X	

Edifício: FÓRUM DE OLINDA		Vistoriador(a): WANESSA S. LIMA			
Endereço: Av. Pan Nordestina, S/N - Vila Popular, Olinda/PE		Data da inspeção: 07/03/2022			
FICHA DE INSPEÇÃO					
Instruções: Nos itens 1 e 2, preencher os itens pertinentes com "X "					
1	TIPOS DE FACHADA	FACHADA: NORDESTE		OBSERVAÇÕES	
	Tradicional	X		Foi detectado abatimento de piso em toda a extensão da Fachada Nordeste	
	Aerada/ventilada				
	Pele de vidro				
2	TIPOS DE REVESTIMENTO	FACHADA: NORDESTE		OBSERVAÇÕES	
	Argamassado+Sist. de pintura				
	Argamassa decorativa				
	Cerâmica	X			
	Porcelanato	X		Área do Salão do Juri	
	Pedras naturais	X		Área do Salão do Juri	
	Vidros temperados/laminados				
	Concreto aparente				
Instruções: indicar a incidência de manifestação patológica, marcando um "X" nas opções correspondentes, conforme classificação a seguir: IP - identificação parcial/pontual; IG - danos generalizados; NI - não identificada					
3	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS IDENTIFICADAS				
3.1	Cerâmica	NI	IP	IG	OBSERVAÇÕES
	Manchas	X			
	Deteriorações/sujidades			X	
	Gretamento	X			
	Fissuras/trincas		X		
	Deslocamento/peças soltas		X		
	Eflorescência			X	
	Deteriorações no rejunte			X	
	Partes do rejunte danificadas		X		
	Ausência/deficiência nas juntas	X			
	Deteriorações nas juntas			X	
	Ressecamento nas juntas			X	
3.2	Porcelanato	NI	IP	IG	OBSERVAÇÕES
	Manchas			X	Provocadas pelo uso de rejunte inadequado
	Deteriorações/sujidades			X	
	Gretamento	X			
	Fissuras/trincas		X		
	Deslocamento/peças soltas		X		
	Eflorescência			X	
	Deteriorações no rejunte			X	
	Partes do rejunte danificadas		X		
	Ausência/deficiência nas juntas	X			
	Deteriorações nas juntas			X	
	Ressecamento nas juntas			X	
3.3	Pedras naturais	NI	IP	IG	OBSERVAÇÕES
	Manchas		X		
	Fissuras/trincas		X		
	Desgaste natural/funcional	X			
	Deslocamento/peças soltas	X			
	Eflorescência			X	
	Deteriorações no rejunte			X	
	Partes do rejunte danificadas			X	

Edifício: FÓRUM DE OLINDA		Vistoriador(a): WANESSA S. LIMA			
Endereço: Av. Pan Nordestina, S/N - Vila Popular, Olinda/PE			Data da inspeção: 07/03/2022		
FICHA DE INSPEÇÃO					
Instruções: Nos itens 1 e 2, preencher os itens pertinentes com "X "					
1	TIPOS DE FACHADA	FACHADA: NOROESTE			OBSERVAÇÕES
	Tradicional	X			Foi detectado abatimento de piso em parte da Fachada Noroeste
	Aerada/ventilada				
	Pele de vidro	X			Sem manifestações patológicas aparentes
2	TIPOS DE REVESTIMENTO	FACHADA: NOROESTE			OBSERVAÇÕES
	Argamassado+Sist. de pintura				
	Argamassa decorativa				
	Cerâmica	X			
	Porcelanato				
	Pedras naturais	X			Área do prédio principal e do Salão do Juri
	Vidros temperados/laminados	X			Sem manifestações patológicas aparentes
	Concreto aparente				
Instruções: indicar a incidência de manifestação patológica, marcando um "X" nas opções correspondentes, conforme classificação a seguir: IP - identificação parcial/pontual; IG - danos generalizados; NI - não identificada					
3	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS IDENTIFICADAS				
3.1	Cerâmica	NI	IP	IG	OBSERVAÇÕES
	Manchas	X			
	Deteriorações/sujidades			X	
	Gretamento	X			
	Fissuras/trincas		X		
	Desplacamento/peças soltas		X		
	Eflorescência			X	
	Deteriorações no rejunte			X	
	Partes do rejunte danificadas			X	
	Ausência/deficiência nas juntas		X		
	Deteriorações nas juntas			X	
	Ressecamento nas juntas			X	
3.2	Pedras naturais	NI	IP	IG	OBSERVAÇÕES
	Manchas		X		
	Fissuras/trincas		X		
	Desgaste natural/funcional	X			
	Desplacamento/peças soltas	X			
	Eflorescência			X	
	Deteriorações no rejunte			X	
	Partes do rejunte danificadas			X	

Edifício: FÓRUM DE OLINDA		Vistoriador(a): WANESSA S. LIMA			
Endereço: Av. Pan Nordestina, S/N - Vila Popular, Olinda/PE			Data da inspeção: 07/03/2022		
FICHA DE INSPEÇÃO					
Instruções: Nos itens 1 e 2, preencher os itens pertinentes com "X"					
1	TIPOS DE FACHADA	FACHADA: SUDOESTE			OBSERVAÇÕES
	Tradicional	X			Foi detectado abatimento de piso em toda a extensão da Fachada Sudoeste
	Aerada/ventilada				
	Pele de vidro				
2	TIPOS DE REVESTIMENTO	FACHADA: SUDOESTE			OBSERVAÇÕES
	Argamassado+Sist. de pintura				
	Argamassa decorativa				
	Cerâmica	X			
	Porcelanato				
	Pedras naturais	X			
	Vidros temperados/laminados				
	Concreto aparente				
Instruções: indicar a incidência de manifestação patológica, marcando um "X" nas opções correspondentes, conforme classificação a seguir: IP - identificação parcial/pontual; IG - danos generalizados; NI - não identificada					
3	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS IDENTIFICADAS				
3.1	Cerâmica	NI	IP	IG	OBSERVAÇÕES
	Manchas	X			
	Deteriorações/sujidades			X	
	Gretamento	X			
	Fissuras/trincas		X		
	Deslocamento/peças soltas		X		
	Eflorescência			X	
	Deteriorações no rejunte			X	
	Partes do rejunte danificadas			X	
	Ausência/deficiência nas juntas		X		
	Deteriorações nas juntas			X	
	Ressecamento nas juntas			X	
3.2	Pedras naturais	NI	IP	IG	OBSERVAÇÕES
	Manchas	X			
	Fissuras/trincas		X		
	Desgaste natural/funcional	X			
	Deslocamento/peças soltas	X			
	Eflorescência		X		
	Deteriorações no rejunte		X		
	Partes do rejunte danificadas		X		