

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

Paula Martins Binoti

**USO DA TERMOGRAFIA PARA AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS EM FACHADAS DE EDIFICAÇÕES**

Belo Horizonte
2023

Paula Martins Binoti

**USO DA TERMOGRAFIA PARA AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS EM FACHADAS DE EDIFICAÇÕES**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Tecnologia na Construção Civil. Linha de pesquisa: Materiais de Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Belo Horizonte

2023

B614u Binoti, Paula Martins.
Uso da termografia para avaliação de manifestações patológicas em fachadas de edificações [recurso eletrônico] / Paula Martins Binoti. – 2023.
1 recurso online (154 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Antônio Neves de Carvalho Junior.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 148-154.
Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil - Teses. 2. Edificações - Teses. 3. Fachadas - Teses. 4. Patologia de construção - Teses. 5. Termografia - Teses. 6. Vedação (Tecnologia) - Teses. 7. Revestimentos - Teses.
I. Carvalho Júnior, Antônio Neves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 69(043)

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Ângela Cristina Silva CRB/6 2361
Biblioteca Prof. Mário Werneck, Escola de Engenharia da UFMG



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL
MESTRADO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**



FOLHA DE APROVAÇÃO

USO DA TERMOGRAFIA PARA AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS DE EDIFICAÇÕES

PAULA MARTINS BINOTI

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em CONSTRUÇÃO CIVIL, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Construção Civil, área de concentração TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL.

Aprovada em 05 de abril de 2023, pela banca constituída pelos membros:

Antônio Neves de
Carvalho Júnior
Prof. Antônio Neves de Carvalho Junior - Orientador
UFMG

Assinado de forma digital por Antônio
Neves de Carvalho Júnior
Dados: 2023.04.07 00:37:02 -03'00'

Adriano de Paula e
Silva:36512460600
Prof. Adriano de Paula e Silva
UFMG

Assinado de forma digital por
Adriano de Paula e
Silva:36512460600
Dados: 2023.04.08 22:25:39 -03'00'

Luiz Antonio Melgaço Nunes
Branco:48639435634
Prof. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco
FUMEC

Assinado de forma digital por Luiz Antonio
Melgaço Nunes Branco:48639435634
Dados: 2023.04.08 14:25:22 -03'00'

JOSE EDUARDO DE
AGUIAR:2997940460
4

Assinado de forma digital por JOSE
EDUARDO DE
AGUIAR:2997940460
Dados: 2023.04.10 11:17:42 -03'00'

Dr. José Eduardo de Aguiar
RECUPERAÇÃO ENGENHARIA

Belo Horizonte, 5 de abril de 2023.

RESUMO

A fachada detém importante papel na edificação, além do fator estético, este sistema é responsável pela vedação da construção. Portanto, o surgimento de manifestações patológicas afeta o seu desempenho, tornando o sistema vulnerável a infiltrações de água e gases, ensejando na deterioração da construção. Dessa forma, considerando que as anomalias são evolutivas, tendendo a se agravar com o tempo, bem como que o reparo se torna mais fácil, barato e efetivo quanto antes houver a correção, torna-se desejável identificar as anomalias precocemente. Nesse contexto, a termografia infravermelha apresenta-se como técnica capaz de auxiliar no monitoramento do surgimento de anomalias em fachadas. Isto posto, este trabalho tem por objetivo avaliar a técnica de termografia para fins de identificação de manifestações patológicas em fachadas de edificações em condições reais de uso e de contorno. Para tanto, realizou-se inspeções termográficas passivas e inspeções visuais em fachadas com diferentes revestimentos. Das imagens geradas, procedeu-se com análise qualitativa para identificação de anomalias e comparação com os resultados de inspeção visual. Ainda, coletou-se dados pertinentes a execução das inspeções que permitissem avaliar vantagens e limitações da inspeção termográfica. Por fim, constatou-se o potencial da termografia em ensaios de fachada. Verificou-se que a técnica identificou anomalias como falha de aderência de revestimento e infiltrações precocemente, ocultas, bem como identificou a magnitude dos danos subsuperficiais de anomalias visíveis. Contudo, verificou-se ser uma técnica que precisa de capacitação do instrumentador para que este saiba identificar as adversidades existentes no microclima da edificação, capazes de gerar resultados equivocados. Ainda, identificou-se não ser possível executar a técnica em algumas fachadas, principalmente devido ao ângulo de visada. No entanto, concluiu-se que a técnica apresenta mais vantagens do que limitações. Assim como, se mostrou ser um ensaio com pouco risco a segurança, uma vez que de modo geral é feita do térreo e/ou locais seguros.

Palavras-chave: Fachada de edificações. Termografia. Manifestação Patológica.

ABSTRACT

The facade plays an important role in the building, in addition to the aesthetic factor, this system is responsible for sealing the construction. Therefore, the emergence of pathological manifestations affects its performance, making the system vulnerable to water and gases infiltration, giving rise to the manifestation of construction. Thus, considering that the anomalies are progressive, tending to worsen over time, as well as that the repair becomes easier, cheaper and more effective the sooner the correction is made, it becomes desirable to identify the anomalies early. In this context, infrared thermography presents itself as a technique capable of assisting in monitoring the emergence of anomalies in buildings facades. At this point, this work aims to evaluate the thermography technique for the purpose of identifying pathological manifestations in facades of building under real conditions of use and contour. To achieve this, passive thermographic inspections and visual inspections were carried out on facades with different coatings. From the generated images, proceed with a qualitative analysis to identify anomalies and compare them with the results of the visual test. Furthermore, data was collected regarding the execution of inspections that allowed evaluating the advantages and limitations of thermographic inspection. Finally, the potential of thermography in facade tests was verified. It was observed that the technique identified anomalies such as coating adhesion failure and early, hidden infiltrations, as well as identifying the magnitude of subsurface damage from visible anomalies. However, it was found to be a technique that requires training on the operator to identify existing adversities in the microclimate of the building, capable of generating wrong results. Additionally, it was identified that the technique can not be executed on some facades, mainly due to the viewing angle. However, it was concluded that the technique has more advantages than limitations. It was also shown to be a test with low safety risk, because it is generally done on the ground floor and/or in a safe place.

Keywords: Building's Facade. Thermography. Pathological Manifestation.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Ilustração de Willian Herschel em experimento que levou-o a descobrir os raios infravermelhos (Veratti, 1984).....	21
Figura 2 - Imagem obtida por John Herschel denominada de Termograma, em 1940 pela técnica evaporográfica (Quesada, 2017).....	21
Figura 3 - Transferência de energia por Condução (Adaptado de Holst, 2000)	26
Figura 4 -- Movimento do fluido em contato com a superfície (Adaptado de Holst, 2000)	27
Figura 5 - Troca de calor por radiação (Adaptado de Incropera <i>et al.</i> , 2008).....	28
Figura 6 - Espectro eletromagnético (Incropera <i>et al.</i> , 2008)	29
Figura 7 - mecanismo de funcionamento da câmera térmica (FLIR, 2011).....	32
Figura 8 - Objeto a mesma temperatura contendo materiais com emissividade distinta (FLIR, 2011)	34
Figura 9 - Vidro refletindo as radiações do ambiente alterando a leitura da temperatura do mesmo. (a) imagem digital; (b) imagem térmica (FLIR,2011)	35
Figura 10 - Variação da emissividade em relação ao ângulo de observação (adaptado de Meola, 2012, apud Santos, 2017)	35
Figura 11 -Relação distância versus correção atmosférica na leitura da imagem termográfica (Adaptado de HART, 1998)	39
Figura 12 - ilustração de uma termografia passiva, indução natural pela radiação solar (ANDRADE <i>et al.</i> , 2019).....	41
Figura 13 - ilustração de termografia ativa, indução artificial por painéis radiantes posicionados na frente (a) e atrás (b) da superfície em análise (ANDRADE <i>et al.</i> , 2019)	41
Figura 14 - Identificação de regiões com deslocamento de revestimento cerâmico pela (a) imagem termográfica, sem condição de identificação pela (b) fotografia convencional	46
Figura 15 - Monitoramento da trincas em (a) 0 min; (b) 20 min; (c) 40 min; (d) 150 min, identificando maior nitidez nas imagens até 40 min. (BAUER <i>et al.</i> , 2018).....	47

Figura 16 - Gráfico de desempenho da edificação <i>versus</i> sua vida útil em vista das manutenções (POSSAN E DEMOLINER, 2013).....	54
Figura 17 - Gráfico da evolução dos custos de correção das manifestações patológicas no tempo (HELENE, 1988).....	54
Figura 18 - Gráfico da Lei de evolução de custos – Lei de Sitter. (Adaptado de Sitter,1984, apud Helene 1992).....	55
Figura 19 - Localização geográfica e da área com textura da edificação 01.....	61
Figura 20 - Temperaturas medidas em 15 de março de 2022.....	62
Figura 21 – Temperaturas medidas em 26 de março de 2022.....	62
Figura 22 - Temperaturas medidas em 26 de setembro de 2022.....	63
Figura 23 - Esquema de angulo de visão prejudicando a investigação completa da fachada	64
Figura 24 – Ângulo de visada superior a 45° prejudicando análise térmica, fachada oeste	65
Figura 25 - campo de visão limitado do equipamento dificultando análises de áreas maiores em pequenas distâncias.....	66
Figura 26 - Interferência na imagem térmica por reflexão do prédio vizinho e do céu, na fachada leste	67
Figura 27 - Interferência na imagem térmica por reflexão do próprio prédio, na fachada leste.....	67
Figura 28 - Interferência na imagem térmica devido a reflexão da vegetação próxima, na fachada norte	68
Figura 29 – Interferência na imagem térmica devido a reflexão proveniente do vidro da varanda, na fachada leste	69
Figura 30 - Termografias executadas (a) no final da tarde de 26.03.2022 e (b) no início da noite de 26.09.2022.....	71
Figura 31 – Fotografias que permitiram identificar deslocamento do revestimento cerâmico, sendo o registro feito (a) às 14hrs; (b) às 8:00 hrs; (c) às 17:30hrs antes e (d) depois de escurecer; por fim, (e) às 18:30.....	72

Figura 32 - Fotografias que permitiram identificar deslocamento do revestimento cerâmico, sendo o registro feito (a) às 14hrs; (b) às 8:00 hrs; (c) às 17:30hrs com iluminação e (d) sem iluminação, por fim, no início da noite (e) às 18:10	75
Figura 33 - Fotografias que permitiram identificar deslocamento do revestimento cerâmico, sendo o registro feito (a) às 14hrs; (b) às 8:00 hrs; (c) às 17:30hrs sem iluminação; e (d) às 18:10 da noite	77
Figura 34 - Interferência da sombra na termografia. Registros realizados às (a) 8:30; (b) 17:30 e (c) 18:15.....	79
Figura 35 - Interferência da sombra na termografia. Registros realizados às (a) 8:30; (b) 17:30 e (c) 18:15.....	80
Figura 36 - Registros térmicos inconclusivos necessitando de investigação noturna. Fotografias tomadas (a) às 14:00 horas, (b) às 8:00 horas e (c) as 17:30 horas.....	81
Figura 37 - Localização geográfica da edificação 01	85
Figura 38 - Temperaturas medidas em 13 de abril de 2022.....	86
Figura 39 - Temperaturas medidas em 17 de dezembro de 2022.....	87
Figura 40 - Temperaturas medidas em 22 de dezembro de 2022.....	88
Figura 41 - Precipitação em dezembro de 2022.....	88
Figura 42 - Identificação do sistema estrutural 13h, fachada norte	89
Figura 43 - Identificação do sistema estrutural 15h, fachada norte	89
Figura 44 - Identificação do sistema estrutural 17:30h, fachada norte	89
Figura 45 - Identificação do sistema estrutural 19h, fachada norte	90
Figura 46 - Identificação do sistema estrutural 13h, fachada oeste	90
Figura 47 - Identificação do sistema estrutural 17:30h.....	90
Figura 48 - Orientação solar, hemisfério sul.....	91
Figura 49 - Reflexão das árvores e do céu na vistoria da fachada oeste as 8:50	92
Figura 50 - Reflexão das árvores e do céu na vistoria da fachada oeste as 8:50	92
Figura 51 - Reflexão das árvores e do céu na vistoria da fachada oeste as 10:00 ...	92
Figura 52 - Reflexão das árvores e do céu na vistoria da fachada oeste as 17:30 ...	93
Figura 53 - Reflexão das árvores na vistoria da fachada oeste as 19:00.....	93
Figura 54 - Interferência em razão do sombreamento causado pela própria edificação (as 8:50h).....	94

Figura 55 - Interferência em razão do sombreamento causado pela própria edificação (as 8:50h)	94
Figura 56 - Interferência em razão do sombreamento causado pela própria edificação (10:00h).....	94
Figura 57 – Regiões termicamente anômalas no jardim causada por interferência externa (8:50h).....	95
Figura 58 – Influência da fonte de calor na fachada (10h)	95
Figura 59 - Influência da fonte de calor na fachada (13h)	95
Figura 60 - Influência da fonte de calor na fachada (17:30h)	96
Figura 61 - Influência da fonte de calor na fachada (19h)	96
Figura 62 - Luminária no centro do jardim.....	97
Figura 63 - Identificação de reflexão por movimentação e alteração do angulo de visada (8:50h).....	98
Figura 64 - Identificação de reflexão por movimentação e alteração do angulo de visada (10h).....	99
Figura 65 – Identificação de reflexão por alteração angular e exame da imagem digital (8:30).....	101
Figura 66 - Identificação de reflexão por alteração angular e exame da imagem digital (10:00).....	101
Figura 67 - Identificação de reflexão por alteração angular e exame da imagem digital (13:00).....	102
Figura 68 - Identificação de reflexão por alteração angular e exame da imagem digital (17:30).....	102
Figura 69 - Identificação de reflexão por alteração angular e exame da imagem digital (19:00).....	102
Figura 70 - Identificação de reflexão por alteração angular e exame da imagem digital (19:00).....	103
Figura 71 – Manchas na fachada norte alterando o termograma (8:50)	104
Figura 72 - Manchas na fachada norte alterando o termograma (10:00)	104
Figura 73 - Manchas na fachada norte alterando o termograma (13:00)	104
Figura 74 - Manchas na fachada norte alterando o termograma (15:00)	105

Figura 75 - Manchas na fachada norte alterando o termograma (17:30)	105
Figura 76 - Manchas na fachada norte alterando o termograma (19:00)	105
Figura 77 – Termograma com indicativo de infiltração na fachada oeste do salão de festas (17/12/22 às 9h).....	106
Figura 78 – Termograma com indicativo de infiltração na fachada oeste do salão de festas (22/12/22 às 10h).....	107
Figura 79 – Ausência de acúmulo de umidade evidente na fachada norte (17/12/22 às 9h)	108
Figura 80 – Acúmulo de umidade na fachada norte (22/12/22 às 10h). (a) e (b) demonstram que a alteração de ângulo de visão não alterou o contorno da região, nem deslocou-o.....	108
Figura 81 – Acúmulo de umidade na fachada norte (22/12/22 às 13h).....	109
Figura 82 – Acúmulo de umidade na fachada norte (22/12/22 às 17h).....	109
Figura 83 - Acúmulo de umidade na fachada norte (22/12/22 às 19h).....	110
Figura 84 – Ausência de acúmulo de umidade evidente na fachada norte (17/12/22 às 9h)	110
Figura 85 – Acúmulo de umidade na fachada norte (22/12/22 às 10h).....	111
Figura 86 – Acúmulo de umidade na fachada norte (22/12/22 às 13h).....	111
Figura 87 – Acúmulo de umidade na fachada norte (22/12/22 às 17:30h).....	112
Figura 88 – Acúmulo de umidade na fachada norte (22/12/22 às 19h).....	112
Figura 89 – Princípio de deslocamento cerâmico na fachada norte (17/12/22 às 9:00)	113
Figura 90 – Princípio de deslocamento cerâmico na fachada norte (22/12/ 22 às 10:00)	113
Figura 91 – Princípio de deslocamento cerâmico na fachada norte (22/12/22 às 13h). Alteração do ângulo de visão não alterou a região anômala, desprezando-se possível interferência por reflexão.....	114
Figura 92 – Princípio de deslocamento cerâmico na fachada norte (22/12/22 às 17:30h)	115
Figura 93 – Princípio de deslocamento cerâmico na fachada norte (22/12/22 às 19h)	116

Figura 94 - Análise de trinca horizontal termografia de 8:50h	117
Figura 95 - Análise de trinca horizontal termografia de 10h	117
Figura 96 - Análise de trinca horizontal termografia de 13h	117
Figura 97 - Análise de trinca horizontal termografia de 17:30h	118
Figura 98 - Análise de trinca horizontal termografia de 19h	118
Figura 99 - Localização geográfica da edificação 01	119
Figura 100 – Localização do instrumentador e dos locais investigados	120
Figura 101 - Temperaturas medidas em 21 de junho de 2022.....	120
Figura 102 - Temperaturas medidas em 22 de junho de 2022.....	121
Figura 103 - Temperaturas medidas em 20 de julho de 2022	122
Figura 104 - Temperaturas medidas em 26 de julho de 2022	122
Figura 105 - anomalias ocultas identificadas pela termografia na fachada leste	123
Figura 106 - anomalias ocultas identificadas pela temografia na fachada leste.....	123
Figura 107 - anomalias ocultas identificadas pela termografia na fachada leste	124
Figura 108 -anomalias ocultas identificadas pela termografia na fachada leste	124
Figura 109 - anomalias ocultas identificadas pela termografia na fachada leste	124
Figura 110 - anomalias ocultas identificadas pela termografia na fachada leste	125
Figura 111 - anomalias ocultas identificadas pela termografia na fachada leste	125
Figura 112 - anomalias ocultas identificadas pela termografia.....	125
Figura 113 - Identificação de danos subsuperficiais superiores aqueles visíveis, fachada leste	126
Figura 114 - Identificação de danos subsuperficiais superiores aqueles visíveis, fachada leste	126
Figura 115 - Identificação de danos subsuperficiais superiores aqueles visíveis, fachada leste	127
Figura 116 - Identificação de danos subsuperficiais superiores aqueles visíveis, fachada leste	127
Figura 117 - Identificação de danos subsuperficiais superiores aqueles visíveis, fachada leste	127
Figura 118 - Identificação do sistema de vedação	128
Figura 119 - Identificação do sistema de vedação	128

Figura 120 - Identificação do sistema de vedação	128
Figura 121 - Identificação do sistema estrutural.....	129
Figura 122 - Identificação do sistema estrutural.....	129
Figura 123 - Identificação do sistema de vedação e estrutural	129
Figura 124 - Identificação de vazamento hidráulico na fachada.....	130
Figura 125 - Identificação de vazamento hidráulico na fachada.....	130
Figura 126 - Ensaio de Percolação acompanhado da termografia.....	131
Figura 127 - Registro térmico de objeto retirado anteriormente ao a tomada fotográfica	132
Figura 128 – Fachadas inspecionadas e localização do instrumentador	133
Figura 129 - Temperaturas medidas em 29 de junho de 2022.....	134
Figura 130 - Temperaturas medidas em 07 de julho de 2022	134
Figura 131 - Temperaturas medidas em 13 de julho de 2022	135
Figura 132 - Temperaturas medidas em 19 de julho de 2022	135
Figura 133 - Falha de aderência do revestimento superior àquela visível, fachada leste	136
Figura 134 - Identificação de deslocamento do revestimento não visível	136
Figura 135 - Identificação de deslocamento do revestimento não visível	137
Figura 136 - Identificação do contorno da estrutura por termografia.....	137
Figura 137 – Utilização da técnica de termografia para evitar perfuração na estrutura	138
Figura 138 - Superfície homogênea	139
Figura 139 - distancia insuficiente para promover angulo adequado de visada	139
Figura 140 - Reflexos interferindo na imagem térmica.....	139
Figura 141 - Distancia insuficiente para realização de termografia na fachada leste	140
Figura 142 - Distancia insuficiente para realização de termografia na fachada leste	140
Figura 143 - Grande distancia para realização ad termografia face o detalhamento da fachada	140

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	JUSTIFICATIVA	18
3	OBJETIVO.....	19
3.1	OBJETIVO GERAL.....	19
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
4.1	HISTÓRICO.....	20
4.2	TERMOGRAFIA.....	23
4.2.1	<i>Calor.....</i>	<i>23</i>
4.2.1.1	Condução	24
4.2.1.2	Convecção	26
4.2.1.3	Radiação térmica.....	28
4.2.2	<i>Corpo Negro, Emissividade (ϵ) e Poder emissivo (M)</i>	<i>30</i>
4.2.3	<i>Condutibilidade (K)</i>	<i>31</i>
4.2.4	<i>Câmara Termográfica</i>	<i>31</i>
4.2.5	<i>Interpretação das imagens térmicas</i>	<i>33</i>
4.2.5.1	Características térmicas da superfície do objeto	33
4.2.5.1.1	Emissividade	33
4.2.5.1.2	Reflexão	34
4.2.5.1.3	Ângulo de observação.....	35
4.2.5.1.4	Geometria do objeto.....	36
4.2.5.1.5	Condutibilidade térmica	36
4.2.5.2	Características da câmera infravermelha	36
4.2.5.3	Influência do microclima	37
4.2.5.3.1	Reflexão	37
4.2.5.3.2	Incidência solar	38
4.2.5.3.3	Correntes de ar	38
4.2.5.3.4	Umidade.....	38
4.2.5.3.5	Móveis e adornos.....	39
4.2.5.4	Atenuação térmica da atmosfera entre a câmera e o objeto	39
4.3	TIPOS DE ENSAIOS TERMOGRÁFICOS.....	40
4.3.1	<i>Investigações qualitativas e quantitativas</i>	<i>41</i>
4.3.2	<i>Identificação de anomalias.....</i>	<i>42</i>

4.4	APLICAÇÕES DA TERMOGRAFIA.....	43
4.4.1	<i>Aplicações da termografia na construção civil</i>	43
4.4.1.1	Estudos realizados para identificação de anomalias na construção civil	44
4.4.1.2	Termografia associada a outras técnicas de investigação para identificação de anomalias em construções 48	
4.5	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE FACHADA	49
4.5.1	<i>Deslocamento de revestimento</i>	50
4.5.2	<i>Fissuras e trincas</i>	51
4.5.3	<i>Eflorescências</i>	51
4.5.4	<i>Manchamentos e sujeiras</i>	52
4.5.5	<i>Ocorrência das manifestações patológicas</i>	52
4.6	MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....	53
5	METODOLOGIA	57
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
6.1	ESTUDOS DE CASO	60
6.1.1	<i>Edificação 01</i>	60
6.1.2	<i>Edificação 02</i>	85
6.1.3	<i>Edificação 03</i>	119
6.1.4	<i>Edificação 04</i>	133
6.2	AVALIAÇÃO DAS VANTAGENS E LIMITAÇÕES	141
6.2.1	<i>Vantagens</i>	141
6.2.2	<i>Limitações</i>	143
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	145
8	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	147
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148

1 INTRODUÇÃO

As manifestações patológicas observadas em fachadas além de desvalorizarem naturalmente o imóvel, devido aos aspectos visuais, prejudicam o desempenho do sistema de vedação tornando-o vulnerável as infiltrações de água e gases, implicando em deteriorações no interior da construção que podem ser de ordem estética ou até mesmo de ordem estrutural (MAIA NETO *et al.*, 1999).

A durabilidade dos revestimentos de fachada está associada ao microclima a qual está inserida a edificação, ou seja, chuvas, vento, insolação e materiais em suspensão no ar são agentes agressivos que reduzem a vida útil da edificação. Dessa forma, em função da agressividade do meio (mas não só), as fachadas podem apresentar fissuras, infiltrações, manchamentos, descolamentos e deslocamentos de revestimentos (FREITAS *et al.*, 2014).

O desempenho dos revestimentos ao longo do tempo está correlacionado a um projeto adequado, a uma execução criteriosa, bem como uma manutenção periódica realizada pelos usuários, em que deve-se analisar seu desgaste natural a fim de avaliar a necessidade de intervenções (MAIA NETO *et al.*, 1999). Em complemento, Bagavathiappan *et al.* (2013) defende que o monitoramento das condições de serviço de estruturas civis é essencial para garantia da segurança pública.

Dessa forma, para a identificação e avaliação quanto a durabilidade e presença de anomalias em materiais, componentes ou sistemas construtivos, os ensaios destrutivos tornam-se desagradáveis no cenário das edificações em uso. Por sua vez, o uso de técnicas não destrutivas está sendo objeto de estudo de muitas pesquisas (FREITAS *et al.*, 2014; BAUER e PAVON, 2015).

Nesse contexto, a técnica não destrutiva de termografia infravermelha apresenta um conjunto de dados que podem auxiliar no monitoramento de edificações, bem como no diagnóstico e mapeamento das manifestações patológicas, de modo rápido e mais eficiente, a partir da análise das diferenças de temperatura observadas nas superfícies do corpo em investigação (BAUER e PAVON, 2015).

De modo simplificado, a termografia produz uma imagem colorida em que cada uma das cores representa um nível de temperatura superficial dos objetos (SILVA *et al.*, 2021). A partir da técnica é possível identificar falhas de aderência ou ausência de argamassa (BAUER *et al.*, 2015), presença de umidade confinada em revestimentos cerâmicos (EDIS *et al.*, 2014; BAUER e PAVÓN, 2015), além da existência de fissuras, problemas de descolamento e infiltrações, por meio do gradiente térmico observado no termograma. (FREITAS *et al.*, 2014; VIÉGAS, 2015; ROCHA e PÓVOAS, 2017; TAKEDA e MAZER, 2018; BATISTA, 2019).

Entretanto, para obter os melhores resultados, Titman (2001) expõe que o engenheiro responsável deve ser experiente no uso do equipamento e na interpretação da imagem térmica, bem como deve deter conhecimento quanto aos materiais sob investigação e estar atento as condições ambientais que podem influenciar nos resultados.

De modo geral, a termografia aplicada a inspeção e monitoramento de revestimentos de fachada apresenta vantagens quanto a agilidade das inspeções, confiabilidade dos resultados, diminui a subjetividade de inspeções exclusivamente fotográficas, bem como mitiga os riscos de segurança de trabalhos em altura (TAKEDA e MAZER, 2018).

Portanto, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos na área de identificação de anomalias de fachada, a fim de contribuir com o desenvolvimento da tecnologia aplicada a engenharia civil, além de auxiliar na difusão do uso da técnica para que por vezes possa ser identificada anomalias ainda em fases iniciais, de modo a gerar menos custo aos proprietários, durante a recuperação dos sistemas construtivos comprometidos, bem como diminuir os riscos relativos a segurança das inspeções de fachada.

2 JUSTIFICATIVA

As anomalias de revestimento de fachada, podem ser interpretadas como uma agressão às vistas da população e à integridade das edificações, ferindo o conceito de habitabilidade, comprometendo a imagem da engenharia e arquitetura (MAIA NETO *et al.*, 1999).

Adicionalmente, as manifestações patológicas são evolutivas e tendem a se agravar com o passar do tempo, contudo, quanto antes forem corrigidas, os reparos tendem a ser mais duráveis, mais efetivos, mais fáceis de executar, bem como mais baratos (HELENE, 1988 e 1992).

Portanto, a análise sensorial não se faz suficiente quando se requer identificar precocemente anomalias na construção, uma vez que detecta apenas aquilo que pode ser visto, ouvido e sentido (tato e olfato). Por sua vez, a técnica não destrutiva de termografia infravermelha, possibilita a identificação de anomalias precocemente, isto é, antes destas se tornarem visíveis.

Takeda e Mazer (2018) concluem que este ensaio apresenta vantagens quanto a agilidade das inspeções, confiabilidade dos resultados, além de envolver menor risco a segurança do trabalhador, quando comparada a técnicas usuais de inspeções de fachadas.

As demandas para utilização da termografia infravermelha tem crescido rapidamente, devido as suas aplicações eficazes (ROGALSKI *et al.*, 2014). Portanto, estudos se fazem necessários para contribuir com o desenvolvimento da técnica na identificação de anomalias de fachada, de modo a possibilitar a identificação de anomalias em fases iniciais (não visíveis), gerando menor custo de reparo das mesmas.

Para tanto, esta pesquisa abrangerá situações encontradas durante inspeções em campo, onde não há controle sobre as condições de contorno do ambiente. Dessa forma, torna-se necessário a adaptação do ensaio ao local, tornando as condições de contorno mais próximas do ideal para obtenção de resultados de qualidade.

3 OBJETIVO

Norteando a pesquisa, este trabalho dispõe de objetivo geral e específicos assim detalhados nos subitens 3.1 Objetivo Geral e 3.2 Objetivos específicos.

3.1 Objetivo Geral

Avaliar a técnica de termografia para fins de identificação de manifestações patológicas em fachadas de edificações em condições naturais de uso e de contorno.

3.2 Objetivos específicos

- a. Registrar a acurácia da termografia frente a constatação visual de manifestações patológicas de fachadas, verificando se a técnica é capaz de constatar precocemente uma anomalia, isto é, antes que se torne visível.
- b. Identificar a influência do contorno na apuração das anomalias pela técnica da termografia.
- c. Apurar e comparar as vantagens e limitações da termografia, considerando a acurácia do teste e a segurança do trabalhador para aplicação do método.
- d. Apontar os benefícios da conjugação da termografia com outros ensaios a fim de obter resultados mais assertivos.
- e. Verificar as limitações da técnica em relação as condições de contorno que o ambiente de campo oferece (horários, clima, tipo de material, acesso, etc.).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo das ondas eletromagnéticas e a descoberta do infravermelho por Willian Herchel em 1800, possibilitou a criação das câmeras termográficas que por consequência permitiu a constatação visual das nuances do infravermelho, onda invisível ao olho humano.

Com o avanço da ciência e da tecnologia, a aplicação da termografia se difundiu nas mais diversas áreas do conhecimento, da engenharia à medicina. No âmbito da engenharia civil, a técnica possibilita a identificação de manifestações patológicas precocemente, ou seja, quando as mesmas ainda não são detectáveis visivelmente, como será demonstrado ao longo deste estudo.

4.1 Histórico

Os experimentos realizados por Frederick William Herschel, astrônomo alemão¹ mundialmente reconhecido pela identificação do planeta Urano, permitiu descobrir em 1800 a radiação infravermelha. Nesta época, ao variar métodos para tentar enxergar o sol, o cientista observou que lentes escuras aqueciam mais, embora apresentassem pouca luz, em comparação às lentes mais claras que iluminavam melhor (OLIVEIRA e SILVA, 2014).

Pela análise dos dados observacionais, Herschel inferiu que havia diferença do poder de aquecimento e iluminação dos raios prismáticos, ou seja, haveriam cores que transmitiriam mais calor, enquanto outras, eram capazes de melhor iluminar (OLIVEIRA e SILVA, 2014).

A fim de comprovar sua teoria, o pesquisador realizou experimentos que o levou a descobrir a radiação infravermelha. Durante seus ensaios, constatou que a região ausente de luz visível após o vermelho, da decomposição do espectro solar, provocava maior alteração de temperatura, concluindo que haveria raios luminosos

¹ Naturalizado inglês.

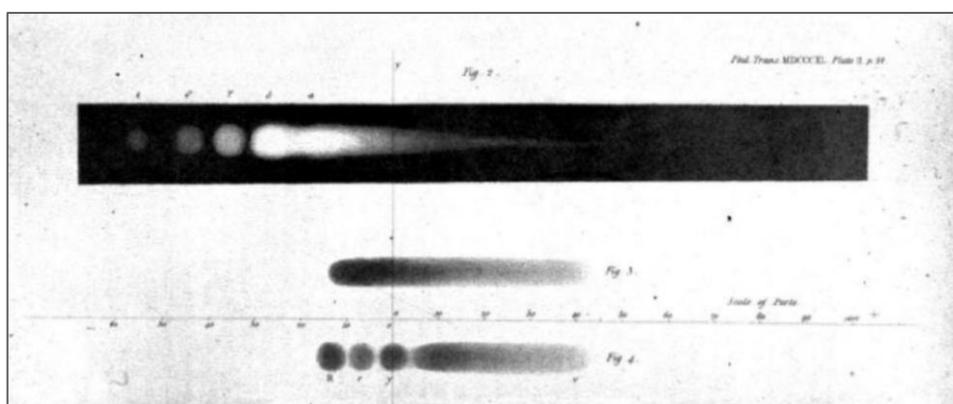
não visíveis que produziram calor (OLIVEIRA e SILVA, 2014). À essa região, na época, foi denominada de “calor negro” ou “espectro termométrico”. O termo infravermelho só veio a ser adotado por volta de 1880 (VERATTI, 1984).

Figura 1 - Ilustração de Willian Herschel em experimento que levou-o a descobrir os raios infravermelhos (Veratti, 1984)



Ato continuo ao progresso do conhecimento, em 1840, John Herschel, filho de Willian, produziu a primeira imagem termográfica utilizando a técnica evaporográfica, gerando um termograma a partir da evaporação do álcool de uma superfície revestida de carbono (HOLST, 2000).

Figura 2 - Imagem obtida por John Herschel denominada de Termograma, em 1940 pela técnica evaporográfica (Quesada, 2017)



Segundo Veratti (1984), o desenvolvimento da termografia dependeu em grande parte do avanço da termometria. Após 1840, com o progresso desta área de conhecimento, foi possível grandes avanços da tecnologia termográfica durante a Segunda Guerra Mundial. Nela surgiram os primeiros sistemas de visão noturna e reconhecimento por infravermelho, quando foi desenvolvido o FLIR (Forward Looking Infrared) para o reconhecimento aéreo.

Após o término da Segunda Guerra Mundial, a evolução da tecnologia termográfica dependia novamente do aprimoramento de outra área, nesta fase, era necessário o avanço nos conhecimentos da Física dos Sólidos e da Microeletrônica. Com a liberação dos dados das pesquisas militares, a partir da década de 50, surgiram detectores e técnicas de imageamento disponíveis para uso civil (VERATTI, 1984).

De acordo com Holst (2000), a partir de 1929 as evoluções na geração de imagens termográficas voltaram a ser frequentes, até que em 1966 houve o lançamento da primeira câmera termográfica comercial com capacidade de gerar 20 imagens por segundo. Até então, os equipamentos existentes para uso civil demoravam 10 minutos para gerar uma imagem térmica (VERATTI, 1984).

Durante as décadas de 70, 80 e 90 houveram avanços que permitiram a geração de centenas de imagens por segundo (HOLST, 2000). Inclusive, os avanços da década de 70 permitiram produzir os primeiros equipamentos portáteis, possibilitando a utilização dos mesmos em diagnósticos na construção civil como um ensaio não destrutivo (FLUKE, 2009).

Ainda, segundo Cortizo (2007), a partir da década de 90 a evolução do sistema para geração de imagens térmicas estava diretamente relacionada com os avanços da eletrônica e da computação.

Como consequência, a utilização da termografia infravermelha se expandiu em diversas áreas. Com ampla aplicabilidade, é empregue tanto militarmente, como na indústria, na medicina e na construção civil, por ser uma técnica de monitoração e de ensaios não destrutivos, sendo utilizada em situações nas quais a variação de temperatura na superfície possa indicar alguma inconformidade (TITMAN, 2001).

4.2 Termografia

Termografia é considerada por Hart (1991) a técnica de retratação de um objeto a partir da energia térmica irradiada da sua superfície. Holst (2000), por sua vez apresenta a definição de Vavilov², como sendo o método de determinação da distribuição espacial de calor em objetos.

Posteriormente, Fluk (2009), define a técnica como a ciência que usa dispositivos óticos eletrônicos para detectar e medir a radiação, correlacionando-a com a temperatura da superfície do objeto.

Portanto, para domínio da técnica de termografia é necessário o entendimento de princípios relativos ao Calor ou Transferência de calor, Temperatura, Corpo Negro, Emissividade, Poder Emissivo, Condutibilidade, bem como aspectos relacionados a câmara termográfica e a interpretação das imagens térmicas.

4.2.1 Calor

Calor ou transferência de calor é a energia térmica em transito devido a uma diferença de temperatura no espaço. Dessa forma, sempre que houver diferença de temperatura entre meios, haverá a transferência de calor (INCROPERA *et al.*, 2008).

Segundo Smith *et al.* (2007), a taxa de transferência de calor é proporcional a diferença de temperatura entre os corpos, não havendo diferença, não há transferência líquida de calor, a qual flui do corpo que apresenta temperatura mais alta para o de temperatura inferior.

Holst (2000) complementa que a energia envolvida no processo é proveniente da vibração molecular interna do objeto, sendo ela a responsável pela temperatura do

² Segundo referência de Holst: V. P. Vavilov, "Subjective Remarks on the Terminology used in Thermal/Infrared Nondestructive Testing," in *Thermosense XVIII*, D. D. Burleigh and W. M. Spicer, eds., SPIE Proceeding Vol.2766, pp. 276-281, (1996).

mesmo. Ainda, acrescenta não ser possível medir o calor e sim seus efeitos, como as mudanças de temperatura dos objetos.

Um corpo ao participar de uma transferência de calor, pode sofrer variação de temperatura, a este fenômeno denomina-se Calor Sensível, ou mudança de estado, conhecido como Calor Latente (RAMALHO *et al.*, 2009).

Por ser uma energia intangível, o calor é monitorado pela temperatura do objeto a qual pode ser medida com ou sem contato do equipamento. Os dispositivos que dependem do contato para leitura baseiam-se nos princípios da convecção e condução, já os dispositivos que funcionam sem contato utilizam a radiação emitida pelo objeto (HOLST, 2000), sendo este último o modo de operação dos equipamentos termográficos.

Holst (2000) complementa que os equipamentos de contato são geralmente baratos e servem para medir localizadamente a temperatura, enquanto os que utilizam a radiação podem atingir valores elevados e são empregados normalmente quando o objeto está inacessível, em movimento, em locais perigosos, entre outros.

Tem-se que a transferência de calor ocorre em três modos distintos, sendo eles definidos como: 4.2.1.1 Condução, quando o calor ocorrer através do meio; 4.2.1.2 Convecção, em que a transferência de energia ocorre entre a superfície e um fluido em movimento enquanto há gradiente de temperatura; e 4.2.1.3 Radiação térmica, quando não há um meio interposto participante entre as duas diferentes temperaturas (vácuo), sendo esta possível em virtude de todo objeto com temperatura não nula emitir energia em forma de ondas eletromagnéticas (INCROPERA *et al.*, 2008).

4.2.1.1 Condução

A transferência de energia entre moléculas vizinhas, por meio de interações (colisões) entre as mais energéticas e as menos energéticas, denomina-se condução. A taxa de transferência de energia por condução é expressa pela Lei de Fourier (equação 1),

em que o calor é função da diferença de temperatura e da condutibilidade térmica, habilidade da substância de realizar a transferência de energia (WYLEN, 1997).

$$Q = -k A \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Pela expressão da lei de Fourier, nota-se que o calor é proporcional a condutibilidade térmica, a área total e ao gradiente de temperatura (WYLEN, 1997).

Portanto, Holst (2000) acrescenta que a rapidez do fluxo depende da condutividade térmica do material, sendo que os metais apresentam alta condutividade e os isoladores baixa condutividade. A Tabela 1 apresenta alguns coeficientes de condutibilidade térmica de materiais.

Tabela 1 - Coeficientes de condutibilidade térmica de alguns materiais (Adaptado de Holst, 2000)

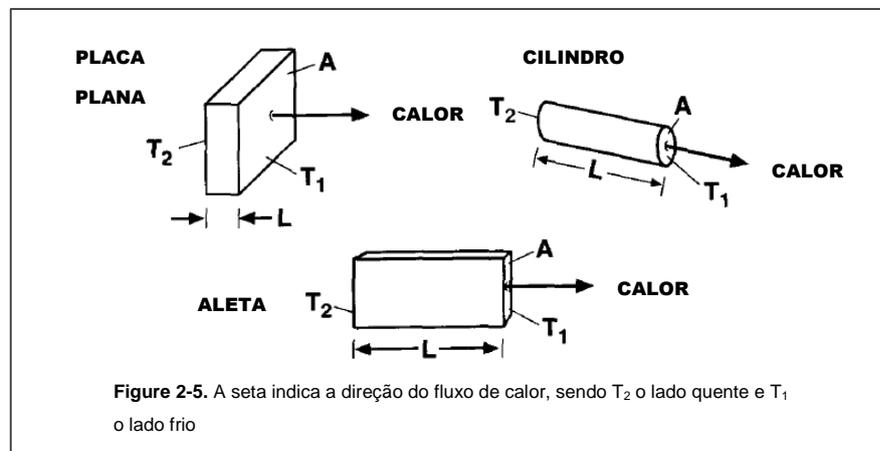
Tabela 2-3 CONDUTIVIDADES TÉRMICAS REPRESENTATIVAS de alguns MATERIAIS COMUNS (Valores variam com a composição e impurezas)			
Material	k		
	Kcal/(s-m-K)	W/(m-K)	BTU/(hr-ft-°F)
Prata	0,097	406	234
Cobre	0,092	385	222
Alumínio	0,049	205	118
Latão	0,026	109	62,9
Aço	0,012	50,2	29,0
Granito	0,00089	3,73	2,15
Gelo	0,00045	1,88	1,09
Vidro	0,00018	0,753	0,435
Água	0,00014	0,586	0,339
Tijolo de construção	0,00014	0,586	0,338
Madeira de carvalho	0,000043	0,181	0,105
Madeira de pinheiro	0,000033	0,138	0,08
Lã de rocha	0,0000089	0,037	0,0215
Ar	0,0000056	0,023	0,0135
Isopor	0,000002	0,0083	0,00483
Vácuo	“zero”	“zero”	“zero”

Salienta-se que o gradiente de temperatura pode ser avaliado pela diferença de temperatura dividida por uma distância, conforme equação 2 (INCROPERA *et al.*, 2008).

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2)$$

De modo ilustrativo a Figura 3 traz as variáveis inseridas em objetos geométricos genéricos.

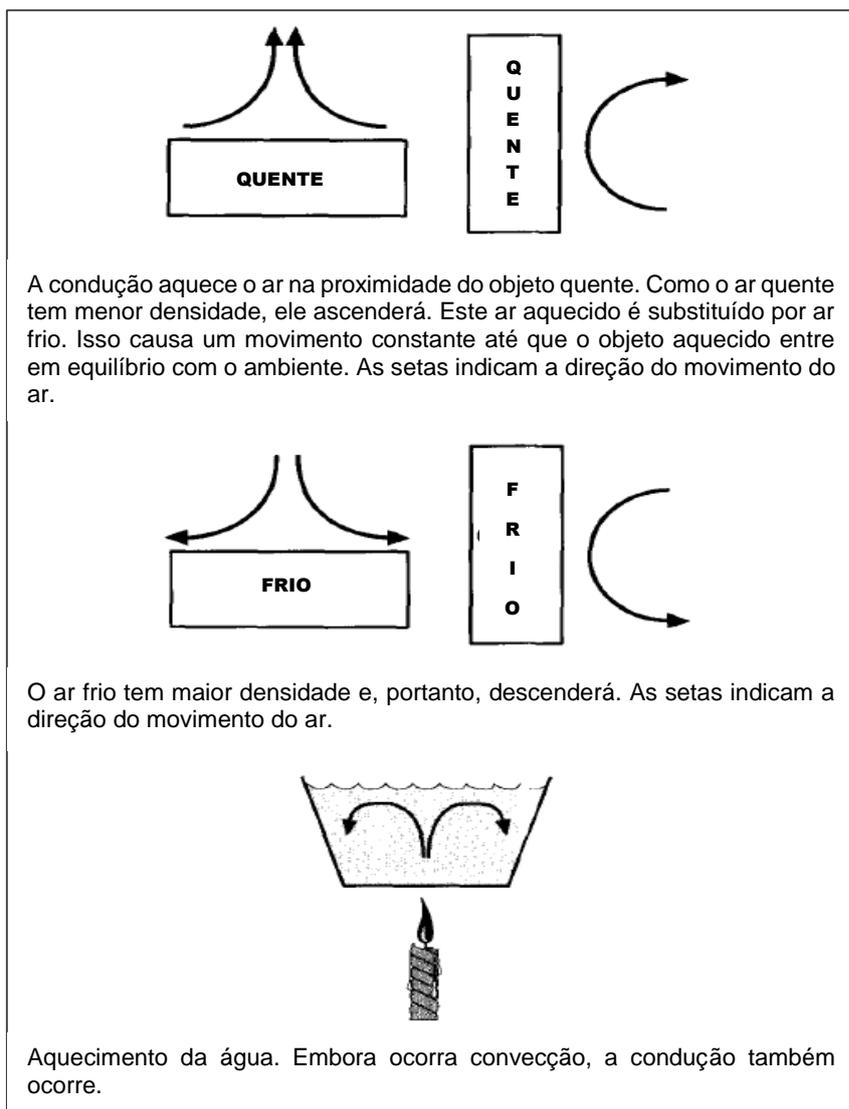
Figura 3 - Transferência de energia por Condução (Adaptado de Holst, 2000)



4.2.1.2 Convecção

Holst (2000) define convecção como a transferência de calor de um lugar para outro pelo movimento de um fluido. Incropera *et al.* (2008), por sua vez, elucida que a transferência de energia pode se dar à nível molecular aleatório (difusão), como também ocorre por meio de movimento global/macrosscópico do fluido. Desse modo, o movimento das moléculas, na presença de diferença de temperatura, contribui para a transferência de calor que ocorre com o contato do fluido em movimento com uma superfície (Figura 4).

Figura 4 -- Movimento do fluido em contato com a superfície (Adaptado de Holst, 2000)



Wyllen (1997), também traduz este mecanismo por meio do movimento de uma substância, com certo nível energético, sobre uma superfície que apresenta temperatura diferente do meio em que escoa, sendo o calor por condução influenciado pela natureza do escoamento, fazendo com que a taxa de convecção dependa da maneira que é realizado o contato entre a superfície e o meio que escoa. Tendo-se como exemplo o vento soprando sobre um edifício. Por fim apresenta-se a Lei do resfriamento de Newton (equação 3) como função representante da convecção.

$$Q = h A \Delta T \quad (3)$$

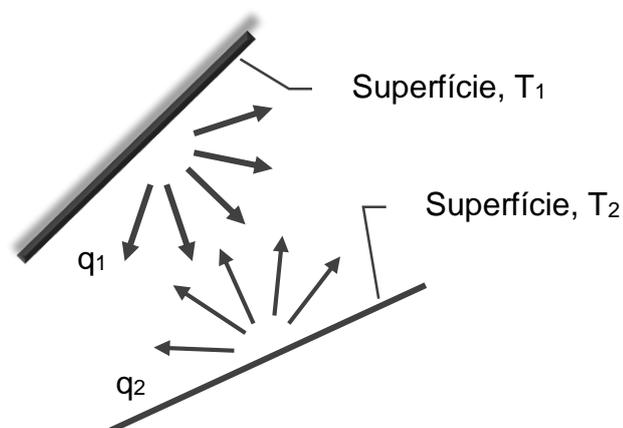
Em que h é o coeficiente de transferência de calor por convecção, o qual é função das propriedades físicas do meio que escoar, do escoamento e da geometria (WYLEN, 1997).

4.2.1.3 Radiação térmica

O terceiro e último modo de transferência de calor é a radiação térmica. Segundo Incropera *et al.* (2008) a radiação térmica está associada a taxa de energia emitida pela matéria como resultado de sua temperatura não nula, sendo esta emissão vinculada as mudanças das configurações eletrônicas dos átomos ou moléculas deste objeto.

A energia é transmitida por meio de ondas eletromagnéticas, fato que a torna capaz de ocorrer no vácuo, contudo se faz necessário um meio material para emissão e absorção da energia (WYLEN, 1997). Incropera *et al.* (2008), complementa afirmando que o meio mais eficiente para ocorrência de transferência por radiação é o vácuo.

Figura 5 - Troca de calor por radiação (Adaptado de Incropera *et al.*, 2008)

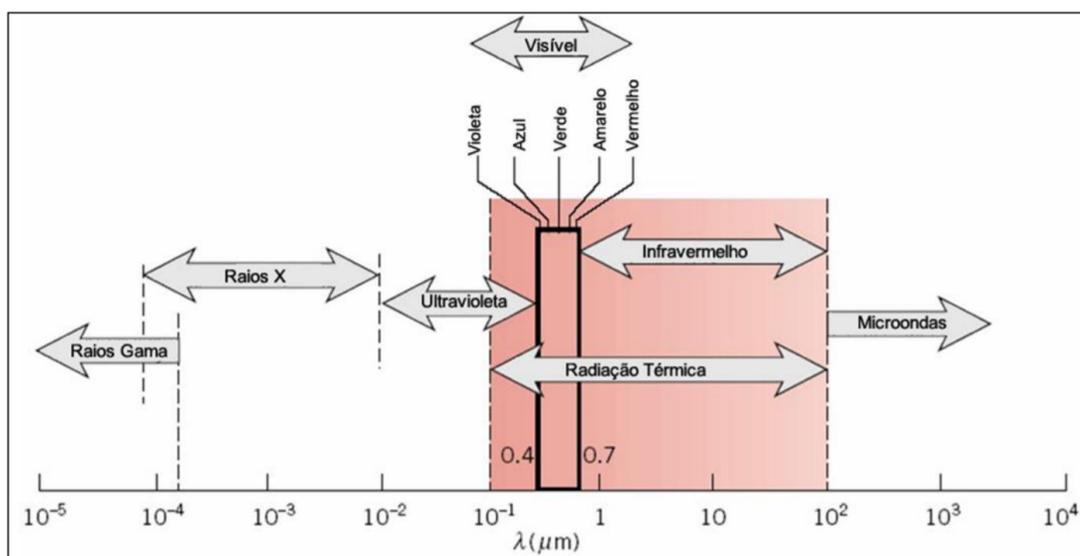


Confere-se a radiação térmica as propriedades de onda padrões, como frequência, comprimento de onda e velocidade, atribuindo a estas ondas velocidade equivalente à da luz em detrimento do meio de propagação (INCROPERA *et al.*, 2008).

Dessa forma, estrutura-se o espectro eletromagnético, de acordo com o comprimento das ondas. Em uma ponta encontra-se as ondas de pequeno comprimento, como

raios gama, raios x e ultravioleta. O intervalo intermediário do espectro é definido como radiação térmica, o qual inclui fração das ondas ultravioletas, todo o espectro visível e o infravermelho. Por fim, compondo a outra extremidade, as ondas com maior comprimento competem as micro-ondas e ondas de rádio, como apresentado na Figura 6 (INCROPERA *et al.*, 2008).

Figura 6 - Espectro eletromagnético (Incropera *et al.*, 2008)



Incropera *et al.* (2008) acrescenta que o estado térmico ou a temperatura da matéria ocasionam e afetam a radiação térmica, sendo que a magnitude desta está vinculada ao comprimento da onda. Segundo Halliday *et al.* (2004), tem-se, portanto, duas propriedades importantes da radiação térmica:

- A medida que a temperatura de um corpo aumenta, a intensidade da radiação térmica emitida cresce rapidamente;
- Quanto maior a temperatura, menor o comprimento de onda da parte mais intensa do espectro de radiação.

Holst (2000) ressalta que, além da temperatura, a quantidade de calor também é influenciada pela condição da superfície deste objeto.

Chrzanowski (2001) elucida que devido as temperaturas presentes na Terra, quase toda radiação térmica é emitida dentro da faixa do infravermelho e por este fato radiação térmica é frequentemente chamada de radiação infravermelha.

4.2.2 Corpo Negro, Emissividade (ϵ) e Poder emissivo (M)

De acordo com Maldague (2001), as leis básicas da radiação térmica são descritas em função da emissão proveniente de um corpo negro, o qual é definido como emissor ideal, representando o absorvedor perfeito, bem como o melhor emissor no equilíbrio térmico local. Isto posto, a radiação espectral de um corpo negro ideal é descrita pela Lei de Planck (HOLST, 2000).

Por conseguinte, define-se Emissividade (ϵ) como o resultado da comparação da energia radiante de um material real com um corpo negro na mesma temperatura (MALDAGUE, 2001). Deste modo, Incropera *et al.* (2008), evidencia que esta propriedade atinge valores entre 0 e 1, fornecendo uma mensuração da eficiência da superfície quanto a emissão de energia em comparação ao corpo negro.

Segundo Wylen (1997), as superfícies não metálicas apresentam emissividade próximas de 0,92, enquanto as superfícies metálicas não polidas possuem emissividades no intervalo de 0,6 a 0,9.

A Lei de Stefan-Boltzmann, por sua vez, descreve a taxa total de emissão de energia por unidade de área da superfície, conforme descrito na equação 4 (HOLST, 2000). Esta taxa, segundo Incropera *et al.* (2008) também é conhecida como Poder emissivo.

$$M = \sigma T^4 \quad (4)$$

Em que σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8}$) e T corresponde a temperatura absoluta, apresentando, por fim, o resultado em W/m^2 (HOLST, 2000).

4.2.3 Condutibilidade (K)

De acordo com Ramalho (2009), esta propriedade também está relacionada com a natureza do material e se faz necessária para identificar se o corpo é um bom condutor ou isolante. Para tanto, valores elevados de K são designados aos bons condutores como metal (a prata como exemplo apresenta $K=0,99 \text{ cal/s.cm.}^\circ\text{C}$), em contrapartida os isolantes apresentam valores pequenos (o Ar seco possui $K=0,000061 \text{ cal/s.cm.}^\circ\text{C}$).

4.2.4 Câmera Termográfica

Em que pese a radiação infravermelha não ser visível, as câmeras termográficas têm a função de identificar a radiação térmica no ambiente e transforma-la em imagem visível.

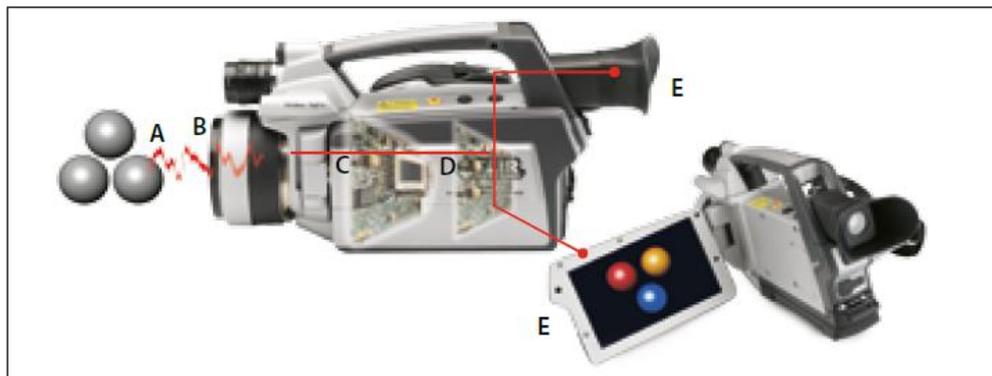
O Guidebook da FLIR (2011) elucida que cada pixel da imagem é uma temperatura medida pelo equipamento. Para tanto, são introduzidos algoritmos complexos na câmera térmica, permitindo a leitura da temperatura do objeto a partir de uma imagem.

As câmeras térmicas são normalmente sensíveis a duas regiões do espectro da radiação térmica³, as intermediárias (MIR) e as distantes (FIR). Historicamente, tem-se que a maioria dos equipamentos de medição civil operou na região MIR. Por outro lado, para uso militar usou-se a região FIR, porém esta vem se tornando popular com o avanço da tecnologia (HART, 1991).

Em resumo, a câmera infravermelha, detecta a radiação térmica, converte-a em sinal elétrico, exibindo, por fim, a imagem térmica no visor do equipamento (HART, 1991). A Figura 7 ilustra a maneira como é gerada a imagem térmica.

³ A radiação térmica é compreendida no intervalo de 0,7 a 1000 μm , sendo subdivida em quatro regiões: a região próxima (NIR) que abrange a faixa de 0,7 a 3,0 μm ; a região intermediária (MIR) com comprimentos de onda entre 3,0 e 6,0 μm ; a região distante (FIR) contendo as ondas na faixa de 6,0 a 15,0 μm ; e por fim, a região extrema com ondas de 15,0 a 1000 μm .

Figura 7 - mecanismo de funcionamento da câmera térmica (FLIR, 2011)



A energia infravermelha emitida pelo objeto (A) é interceptada pelo foco óptico (B) e transmitida ao detector de infravermelho (C). Por sua vez, o detector envia as informações para os sensores eletrônicos (D) que irão traduzir os dados e gerar a imagem no visor do equipamento (E).

Hart (1991) pontua que o sistema tem concepção similar ao sistema de vídeo, a diferença encontra-se no comprimento de onda, uma vez que imagem normal de vídeo é produzida a partir da reflexão da radiação sobre o intervalo do comprimento de onda visível (0,4 a 0,7 μm) e a imagem térmica é uma reprodução visível da radiação da superfície do objeto que apresenta comprimento de onda entre 3,0 a 5,6 μm . Para tanto, a sensibilidade ótica da câmera térmica é diferente de uma câmera comum.

A qualidade da imagem é variável de acordo com a fabricante e o modelo do equipamento. Segundo o Guidebook da FLIR (2011), os modelos de entrada costumam apresentar resoluções mais baixas como 60 x 60 pixels, enquanto modelos mais avançados chegam a resoluções de 640 x 480 pixels.

Equipamentos com resolução de 640 x 480 pixels contém 307.200 pontos medidos, enquanto uma câmera com 320 x 240 pixels apresenta 76.800 pontos de medição. Nesse sentido tanto a precisão quanto a qualidade da imagem são diretamente proporcionais a resolução. Da mesma forma, a distância do equipamento ao objeto pode aumentar a medida que a resolução do equipamento aumenta (FLIR, 2011).

4.2.5 Interpretação das imagens térmicas

A interpretação dos resultados de uma investigação termográfica depende das decisões tomadas pelo instrumentador, portanto, presume-se que o operador do equipamento seja qualificado. Para tanto, o treinamento não é um evento único, deve ser contínuo de modo que mantenha-se as habilidades, aprenda-se novas técnicas e desenvolva-se novas aplicações (HOLST, 2000).

O processo de transformação da energia térmica invisível para imagem visível e sua posterior interpretação dependem de quatro principais fatores: 4.2.5.1 Características térmicas da superfície do objeto; 4.2.5.2 Características da câmera infravermelha; 4.2.5.3 Influência do microclima; e por fim, 4.2.5.4 Atenuação térmica da atmosfera entre a câmera e o objeto (HART, 1991).

4.2.5.1 Características térmicas da superfície do objeto

Para a realização do levantamento termográfico de um objeto, devem ser observados alguns parâmetros do corpo em estudo para obtenção de uma interpretação aderente com a realidade, sendo os principais: emissividade, reflexão, Ângulo de Observação, geometria do alvo e condutibilidade térmica.

4.2.5.1.1 Emissividade

A emissividade térmica de um objeto é uma propriedade altamente dependente da natureza do material. Dessa forma, é possível observar na imagem termográfica a variação da emissividade de materiais que compõem o corpo, mesmo que estejam na mesma temperatura (FLIR, 2011).

A Figura 8 ilustra este fenômeno, nesse exemplo o objeto (caneca) está todo na mesma temperatura, mas a imagem térmica apresenta variações colorimétricas que na verdade representam a distinção da emissividade da tinta dourada e da superfície da caneca (FLIR, 2011).

Figura 8 - Objeto a mesma temperatura contendo materiais com emissividade distinta (FLIR, 2011)



Outro exemplo trazido por Maldague (2001) são os objetos metálicos pintados que ao serem arranhados expõe o metal puro que apresenta emissividade distinta da tinta. Dessa forma, mesmo o objeto apresentando equilíbrio térmico, é possível identificar na imagem térmica a intensidade diferente das radiações térmicas emitidas na superfície do corpo e nos pontos com metal exposto.

O estado da superfície também influencia na emissividade do objeto. Um acabamento polido apresenta emissividade mais baixa. Em contrapartida, como exemplo, ao aumentar o nível de oxidação de um metal, sua emissividade também aumenta, sendo o contrário também válido (MALDAGUE 2001; SANTOS, 2014).

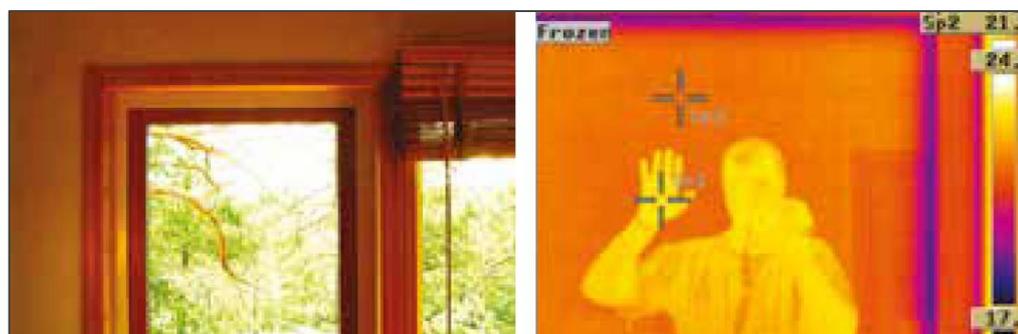
4.2.5.1.2 Reflexão

Caso o material da superfície do objeto em análise apresente baixa emissividade e haja grande diferença de temperatura entre o objeto e o ambiente, o reflexo da radiação incidente influenciará as leituras de temperatura da câmera térmica (FLIR,2011).

A Figura 9 representa a situação em que o vidro (a) reflete a radiação do ambiente, impedindo a leitura correta da temperatura deste material.

Hart (1991) acrescenta que quanto menor a emissividade do objeto, maior é seu componente reflexivo, portanto, maior será a chance de observar um reflexo térmico.

Figura 9 - Vidro refletindo as radiações do ambiente alterando a leitura da temperatura do mesmo. (a) imagem digital; (b) imagem térmica (FLIR,2011)



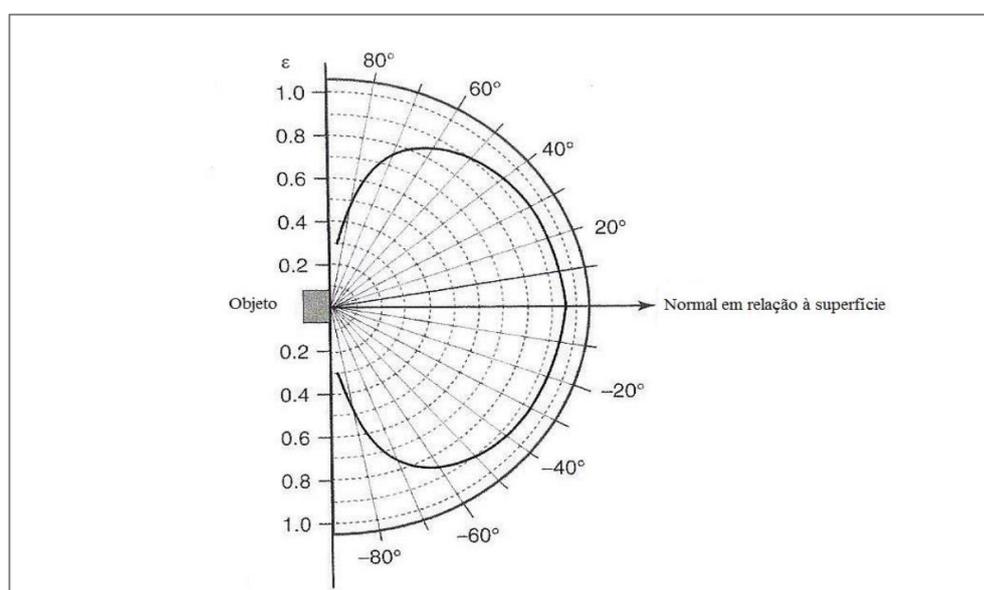
(a)

(b)

4.2.5.1.3 Ângulo de observação

A emissividade diminui com o aumento do ângulo de observação em relação a perpendicular da superfície do objeto. Ademais, ângulos superiores a 45° a emissividade começa a diminuir bruscamente, conforme observa-se na Figura 10 (Meola, 2012 apud Santos, 2014).

Figura 10 - Variação da emissividade em relação ao ângulo de observação (adaptado de Meola, 2012, apud Santos, 2017)



De acordo com FLIR (2011), um bom ângulo de visada para mitigar a influência de eventual reflexão estaria compreendido entre 5° e 60° , em que 0° é a perpendicular.

4.2.5.1.4 Geometria do objeto

De acordo com a geometria do objeto pode haver alteração da emissividade, por meio de reflexões, de modo que a emissividade aumenta em formas côncavas e diminuem quando em geometrias convexas (MALDAGUE 2001; SANTOS, 2014).

4.2.5.1.5 Condutibilidade térmica

Mendonça (2005) relata que o calor que flui das áreas mais quentes para as mais frias não pode ser impedido, mas pode mover-se em velocidades diferentes, isso devido a condutividade térmica dos materiais pelos quais o calor está atravessando.

Os materiais isolantes tendem a aquecer mais lentamente que os condutores. Dessa forma, a diferença de condutibilidade entre dois materiais distintos pode levar a representativas diferenças de temperatura em certas situações, a exemplo tem-se o tijolo e a madeira, o primeiro material muda de temperatura muito mais devagar que o segundo, podendo causar então diferenças nos padrões térmicos (FLIR, 2011).

Esta propriedade é empregue para localizar uma região de interesse durante um ciclo de resfriamento ou aquecimento, sendo útil por exemplo para encontrar umidade em telhado, de modo a ser o principal mecanismo responsável pelas assinaturas térmicas externas (HOLST, 2000).

4.2.5.2 Características da câmera infravermelha

Para seleção de um sistema que atenda aos critérios de desempenho apropriados à aplicação, deve-se levar em consideração alguns parâmetros do meio, como temperatura, emissividade e tamanho do alvo, bem como temperatura ambiente, influencias atmosféricas, entre outros (HOLST, 2000).

O guidebook da FLUKE (2011) faz alusão a quatro pontos de atenção para escolher o equipamento adequado para uma inspeção em edifícios: a performance do equipamento, a ergonomia e a durabilidade da câmera, bem como aos recursos oferecidos e o Software utilizado pelo dispositivo.

Além disso, de modo mais detalhado, é oportuno observar as especificações da câmera térmica quanto a qualidade da imagem, a sensibilidade térmica e a sua acurácia (FLIR, 2011).

4.2.5.3 Influência do microclima

Fatores que influenciam a leitura térmica por vezes podem ser detectados e eliminados antes do início da pesquisa. A seguir serão apresentadas algumas fontes de interferência comuns.

4.2.5.3.1 Reflexão

As reflexões térmicas são uma influência comum, contudo são facilmente identificadas no momento da investigação, isto é, durante a captura das imagens térmicas os reflexos mudam sua posição relativa dependendo do ângulo da câmera (HART, 1991).

As reflexões podem gerar dados incorretos na imagem térmica, portanto, ao realizar tomada de imagem térmica em objetos reflexivos, o Guidebook da Flir (2011) recomenda que seja alterado o ângulo para minimizar o reflexo, uma vez que a fonte de calor refletido pode ser o corpo do operador ou uma lâmpada acesa no ambiente.

Para o segundo caso, Hart (1991) esclarece que a lâmpada pode ser temporariamente desligada um pouco antes de realizar as medições, mas ressalta que esse procedimento não deve ter o condão de afetar a temperatura do ambiente, implicando na alteração da temperatura da superfície do objeto. Para os metais, uma das soluções para mitigar a reflexão é alterar a característica da superfície pintando-a, envernizando-a ou envolvendo-a com outro material de alta emissividade, contudo esta alternativa pode ser totalmente impraticável em edificações reais.

O céu por vezes também pode ser refletido nas superfícies, exibindo baixos valores de temperatura na área em análise (Fox *et al.*, 2016; Iborra *et al.*, 2014; e Álvarez-Tey *et al.*, 2017). FOX *et al.* (2016), reitera que pode haver grande diferença de temperatura comparando o céu nublado e o céu claro, sendo a última condição com temperaturas menores.

4.2.5.3.2 Incidência solar

A incidência direta da luz solar na superfície do objeto pode alterar a leitura térmica, podendo apresentar efeitos duradouros. Nesse sentido a luz solar direta, bem como a sombra podem influenciar no padrão térmico de uma superfície muitas horas após o término da exposição solar (FLIR, 2011).

Portanto, é recomendado por Hart (1991), ao tratar-se de um objeto interno da edificação, que existindo o risco da incidência, as persianas ou cortinas sejam fechadas previamente.

Por outro lado, as nuvens também alteram o resultado térmico do alvo, visto que as mesmas bloqueiam a radiação solar e impedem a transferências de calor para o céu, se tratando de dias de céu encoberto, pode ocorrer a mudança integral da assinatura térmica da superfície do alvo (HOLST, 2000).

4.2.5.3.3 Correntes de ar

Segundo Holst (2000) o vento é equivalente a um resfriamento forçado por convecção. Portanto, correntes de ar podem alterar a superfície em investigação. Em um ambiente interno o ar fluindo de ventiladores ou ar-condicionado podem resfriar a superfície do objeto (HART, 1991; FLIR, 2011).

4.2.5.3.4 Umidade

A umidade da superfície, a exemplo da condensação, aplicará efeito a temperatura da superfície do corpo em análise, uma vez que alterará a transmissão de calor da superfície causando o resfriamento por evaporação (HART, 1991).

Outro exemplo são as chuvas, que alteraram a temperatura superficial do corpo durante e depois da precipitação com a evaporação da água na superfície (FLIR, 2011).

Segundo Kylili (2014), a detecção de umidade é imediata, uma vez que estas áreas aparecem mais frias na imagem térmica, isto porque a água em materiais porosos aumenta a condutividade térmica do mesmo, gerando um tipo de ponte térmica.

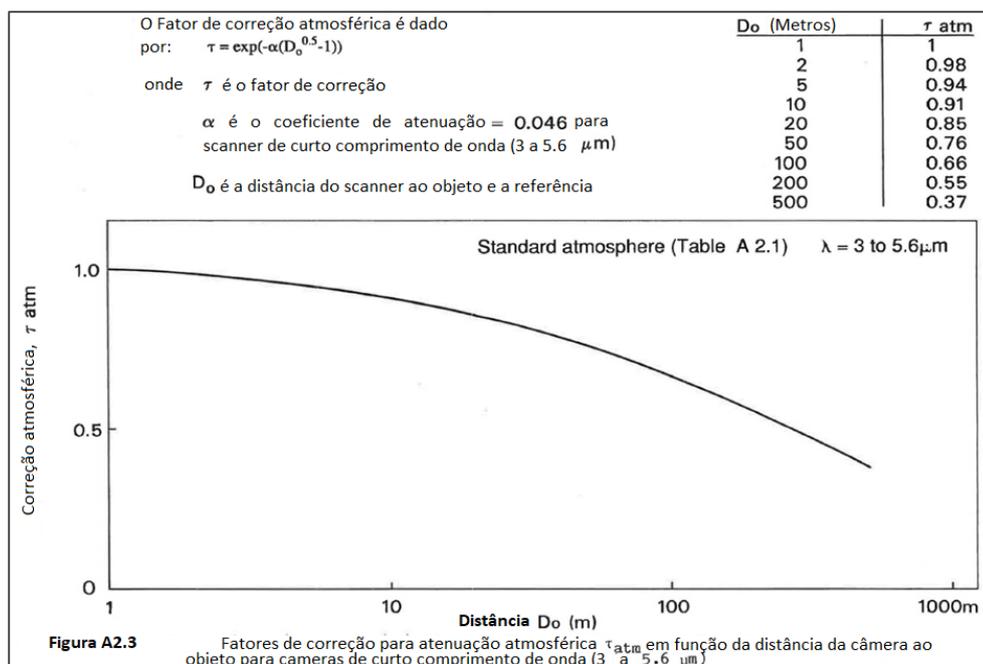
4.2.5.3.5 Móveis e adornos

Móveis como estantes de livros e armários, bem como adornos, a exemplo de quadros pendurados, podem alterar o padrão térmico da parede que estão localizados, pois apresentam um efeito isolante. Isto é, ao retirar-los da parede, a área que o objeto ocupava poderá aparecer na imagem térmica como sendo uma região mais fria. Para tanto é recomendado a retirada dos mesmos pelo menos seis horas antes da realização da inspeção (FLIR, 2011).

4.2.5.4 Atenuação térmica da atmosfera entre a câmera e o objeto

Hart (1998), elucida que a atmosfera não é inerte às medições térmicas de um objeto, uma vez que uma certa quantidade da radiação emitida pela superfície do objeto é atenuada pela atmosfera e esta também emite radiação infravermelha. Contudo, salienta que para distâncias inferiores a 5 metros entre o equipamento e o objeto, a interferência é muito pequena e pode ser desconsiderada, conforme infere-se da Figura 11.

Figura 11 -Relação distância versus correção atmosférica na leitura da imagem termográfica (Adaptado de HART, 1998)



4.3 Tipos de ensaios termográficos

Caracterizado por ser um ensaio não destrutivo, a termografia pode ser abordada de duas maneiras: passiva ou ativa. Maldague (2001) entende que a termografia ativa é definida pela promoção de aquecimento ou resfriamento do alvo, a partir de uma fonte externa gerando fluxos de calor que possibilitarão a identificação de falhas. Em contrapartida, a técnica de ensaio passivo é caracterizada por não haver aplicação de estímulo externo, desse modo diferenças de temperatura dentro da estrutura ou em seu arredor estabelecem os padrões necessários de temperatura para a avaliação termográfica.

Cortizo (2007), esclarece que no ensaio passivo há estímulo de carga solar ambiental sobre o corpo em investigação, entendendo não haver, nesta técnica, estímulo externo por energia “artificial”. Kyllili *et al.* (2014) complementa que a termografia passiva ocorre em condições normais, apresentando-se normalmente como um teste qualitativo com objetivo de identificar anomalias térmicas.

Por outro lado, havendo a necessidade de estímulo térmico artificial externo, aplica-se a termografia ativa. Em Nunes (2016) é compilado e apresentado as subdivisões desta técnica de ensaio, sendo elas: a termografia pulsada (PT), em que aplica-se um pulso de calor de curta duração; a termografia *Lock in* (LT), ou modulada, a qual utiliza-se de uma onda de calor senoidal; a termografia pulsada por fase, caracterizada por ser uma combinação das técnicas PT e LT; a termografia por aquecimento contínuo, ou *step heating* (SH), em que há aplicação de um pulso de calor de longa duração; e por fim, a vibrotermografia, nesse caso o calor é gerado por excitação proveniente da aplicação de ultrassom.

A Figura 12 e Figura 13 ilustram a diferença entre as abordagens da termografia ativa e passiva.

Figura 12 - ilustração de uma termografia passiva, indução natural pela radiação solar (ANDRADE *et al.*, 2019)

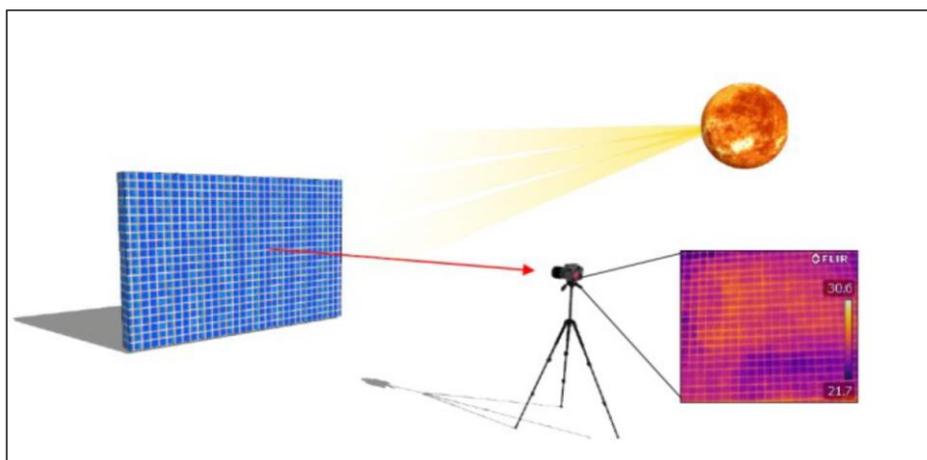
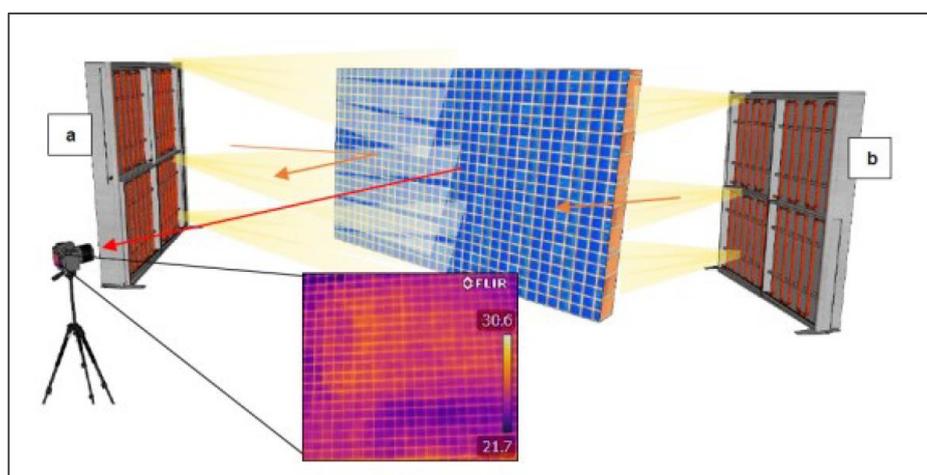


Figura 13 - ilustração de termografia ativa, indução artificial por painéis radiantes posicionados na frente (a) e atrás (b) da superfície em análise (ANDRADE *et al.*, 2019)



4.3.1 Investigações qualitativas e quantitativas

As investigações termográficas podem ser executadas de modo qualitativo e/ou quantitativo. No primeiro é realizado a investigação com base nas variações das assinaturas térmicas de corpos semelhantes, sem atribuir valores de temperatura aos mesmos. Dessa forma, são empregadas quando não há necessidade de identificar a temperatura precisa da superfície, como vigilância, inspeções de construção, localização de vazamento de ar, nível de fluido em um tanque, entre outras (HOLST, 2000).

Já as medições quantitativas, apresentam a verdadeira temperatura do objeto, utilizada, portanto, em atividades de monitoramento e manutenção preditiva, uma vez que há identificação de uma temperatura fora da faixa predefinida, há o indicativo de reparo ou substituição do sistema (HOLST, 2000).

Kylili (2014) expõe que a termografia passiva normalmente é um teste qualitativo, uma vez que o objetivo é a identificação das anomalias térmicas. Complementa informando que uma das vantagens desta técnica está na detecção precoce de anomalias em pinturas e alvenarias que estão normalmente associadas ao acúmulo de umidade e mofo. Saliencia ainda que a detecção precoce desses defeitos pode evitar danos irreversíveis, bem como fornecer informações importantes para restauração e conservação de monumentos.

Por fim, Hart (1991), exprime que em uma inspeção, a primeira etapa é a abordagem qualitativa, para identificar detalhes ocultos, sendo seguida da etapa quantitativa.

4.3.2 Identificação de anomalias

Holst (2000) apresenta que a identificação de anomalia térmica pode ser realizada por comparação com objetos conhecidos ou por simetria. Dessa forma, o teste por comparação, a fim de localizar irregularidades, deve ser realizado comparando o objeto com um semelhante (referência), de modo que ambos estejam sujeitos a condições idênticas. Por sua vez, a simetria pode ser usada em objetos que exibem padrões simétricos, de modo que a observação de alguma alteração entre os lados simétricos pode indicar alguma anomalia.

Maldague (2001), acrescenta que em inspeções passivas a variação de 1 a 2 °C na região em análise pode geralmente ser considerada suspeita de anomalia. Da mesma forma, indica que variações de 4 °C podem ser uma forte evidência de comportamento anormal.

4.4 Aplicações da termografia

As demandas para utilização da termografia infravermelha tem crescido rapidamente, devido as suas aplicações eficazes. Tradicionalmente esta tecnologia está relacionada às funções de controle e visão noturna, fato é que a maior parte de seu desenvolvimento foi financiado para atender funções militares, contudo suas aplicações na área da medicina, industrial, ambiental e de conservação de energia vem aumentando continuamente (ROGALSKI e CHRZANOWSKI, 2014).

Bagavathiappan *et al.* (2013), complementando, expõe que a termografia infravermelha foi aplicada com sucesso na monitoração de estruturas civis; inspeções de equipamentos elétricos; inspeção de maquinários; inspeção de soldas; monitoramento de Placas de Circuito Impresso (PCI - no inglês PCB); bem como na avaliação do processo de deposição de vapor químico; sendo também utilizada na indústria nuclear, aeroespacial, alimentícia, madeireira, de papel, entre outras aplicações.

Holst (2000), por sua vez, dando mais exemplos de utilização da técnica, evidencia que esta apresenta duas categorias principais de aplicação, a militar e comercial. De modo que comercialmente pode ser subdividida nas seguintes utilizações: civil, quanto a integridade das edificações, combate a incêndio e aplicação da Lei; ambiental, referentes aos recursos ambientais, controle de poluição e conservação de energia; industrial, relacionado as manutenções preventivas, fabricação e testes não destrutivos; e por fim, medicinal, com uso em mamografias, lesões em tecidos moles e constrição arterial.

4.4.1 Aplicações da termografia na construção civil

Na indústria da construção civil inúmeras são as aplicações da termografia, podendo ser avaliado o desempenho da construção, de seus componentes e dos serviços (HART, 1991). A técnica permite a identificação de problemas precocemente,

possibilitando sua correção antes do agravamento do mesmo, o qual, por consequência, aumentaria o custo do reparo (FLIR, 2011).

Dessa forma, é possível avaliar defeitos em isolamentos, perdas de energia, vazamento de ar, bem como detectar umidade e infiltração em telhados e paredes tanto na estrutura interna quanto externa, localizar pontes térmicas, identificar falhas na construção, analisar “detalhes ocultos”, como dutos e tubos subterrâneos, além disso pode auxiliar em manutenções preventivas e detecção de anomalias elétricas (HART, 1991; FLIR, 2011)

Resumidamente, Bauer e Pavón (2015), exprimem que na engenharia civil os principais estudos desenvolvidos com aplicação da termografia estão voltados a avaliação das características térmicas da envolvente de edifícios, a eficiência energética, bem como anomalias e manifestações patológicas em edificações.

Todavia, a termografia é capaz de detectar apenas anomalias superficiais ou que estejam próximas a superfícies e provoquem alterações térmicas mensuráveis, como os destacamentos, umidades e fissuras (BAUER E PAVÓN, 2015).

4.4.1.1 Estudos realizados para identificação de anomalias na construção civil

Primeiramente, apresenta-se uma contextualização do cenário mundial na pesquisa da técnica da termografia aplicada a construção civil, mais precisamente às fachadas. Portanto, Erba *et al.* (2020), em pesquisa que compilou os artigos relativos ao tema publicados entre 2013 e 2020, identificaram que o Brasil está em quarto lugar entre os países com maior número de estudos, precedido apenas de Portugal que encabeça o ranking além de Espanha e Itália. Nesta investigação, constataram que a técnica está sendo amplamente avaliada com relação ao controle da eficiência energética em edifícios e que as publicações apresentam tendência de crescimento para os próximos anos.

Portanto, com essa tecnologia é possível identificar falhas de aderência ou ausência de argamassa (Bauer *et al.*, 2015), presença de umidade confinada em revestimentos

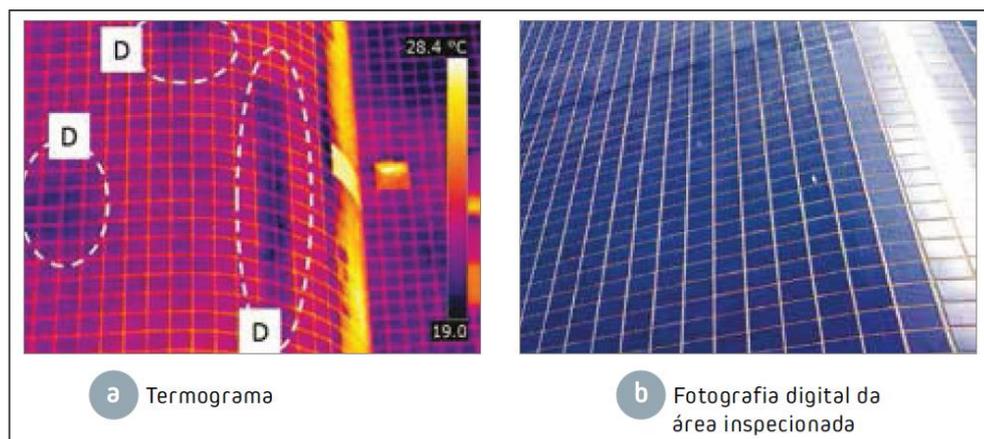
cerâmicos (Edis *et al.*, 2014; Bauer e Pavón, 2015), além da existência de fissuras, problemas de descolamento, e infiltrações, visto o gradiente térmico verificado no termograma. (Freitas *et al.*, 2014; Viégas, 2015; Rocha e Póvoas, 2017; Takeda e Mazer, 2018; Batista, 2019).

Estudo realizado por Lourenço *et al.* (2017) utilizando a técnica em ensaio passivo constatou que, em fachadas revestidas em cerâmica, é possível identificar o descolamento de revestimento e a presença de umidade. Em contrapartida, evidenciam não ter sido possível avaliar a gravidade do descolamento quanto a tensão de adesão e profundidade do espaço vazio. Após os ensaios foi possível identificar que, quanto a cor do revestimento, as áreas anômalas são mais facilmente observadas quando estes possuem maior absorvância. Por fim, verificaram que para investigação de manifestações patológicas é desejável realiza-la 1:30h após o início da incidência solar, ou 1:00h após o início do sombreamento da fachada. Reforçaram a necessidade de realizar a inspeção em diferentes condições (após dias chuvosos e sob condições secas) para identificar áreas com presença de umidade e destacamento, uma vez que estas duas anomalias podem resultar em um diferencial térmico nulo.

Brique (2016), por meio de painéis de alvenaria revestidos em cerâmica (preta e branca) e com falhas propositalmente inseridas representando destacamentos, os quais variou-se profundidade, dimensão e tempo de aquecimento, executou a investigação empregando a termografia passiva. Os ensaios permitiram concluir que há influência da cor no exame quando as peças estão em aquecimento, porém ao entrarem em equilíbrio térmico com o ambiente e na fase de resfriamento, as cores não apresentaram tal influencia, apresentando resultados semelhantes em ambos os painéis. Quanto a profundidade, a técnica permitiu detectar as anomalias (a 6 e 9 mm de profundidade), mas não foi possível diferencia-las, além disso, os defeitos de 3 cm não foram constatados em alguns horários do estudo. Ainda, verificaram que entre as 10h da manhã e as 16h da tarde os ensaios não trouxeram resultados satisfatórios, e ressaltaram que a variação das condições do entorno é importante para identificação dos defeitos, sendo complexa as investigações de campo devido as variabilidades das condições climáticas.

Bauer e Pavón (2015) apresentam ensaio em fachada realizado a noite no período do fluxo reverso de calor. Nesse cenário o deslocamento de revestimento cerâmico foi identificado apenas no registro realizado por câmera termográfica, não sendo possível observar tal anomalia na fotografia convencional (Figura 14).

Figura 14 - Identificação de regiões com deslocamento de revestimento cerâmico pela (a) imagem termográfica, sem condição de identificação pela (b) fotografia convencional

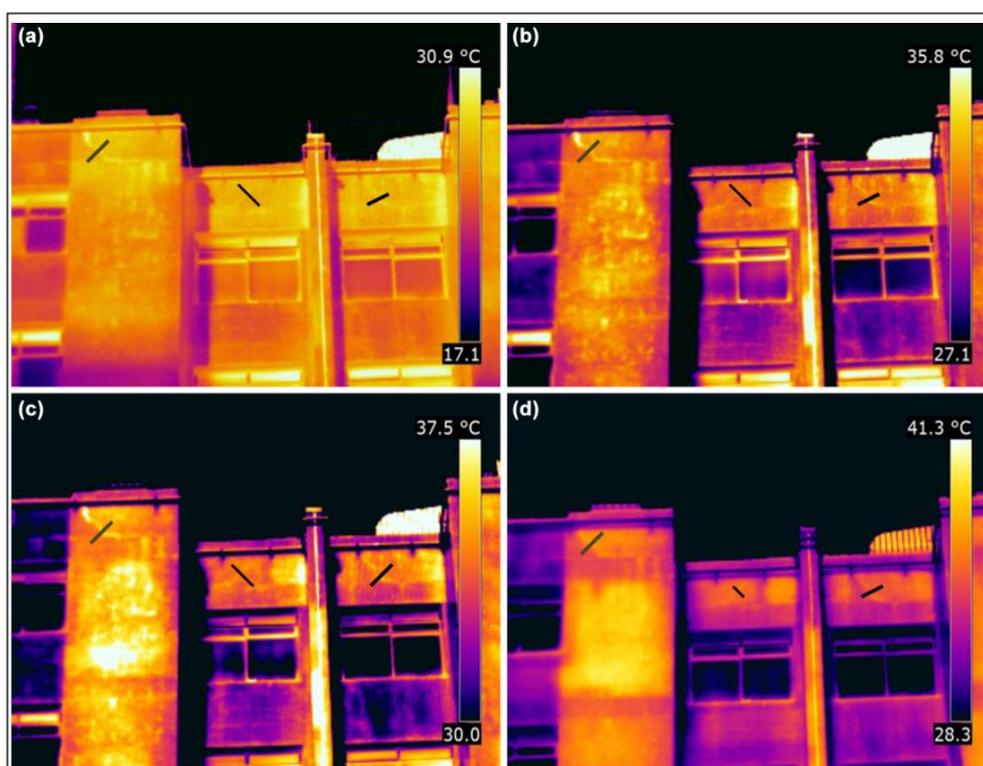


Santos *et al.* (2018), apresentam pesquisa em que se aplicou a termografia passiva para detecção de infiltração em paredes internas com vários tipos de revestimento. Concluíram que fatores como secagem do material e uso de revestimento impermeável afetam a formação de contrastes térmicos entre a área seca e a úmida, o que por consequência, limita a eficiência da técnica, entretanto, foi possível constatar em outros momentos a ação da água nitidamente no interior da parede, enquanto a fotografia convencional não registrou alteração na superfície, indicando a potencialidade do método para problemas ocultos relacionados a umidade acidental em edificações, principalmente em fase inicial.

Bauer *et al.* (2018) elucidam que o monitoramento para identificação do grau de dano de uma fissura é diferente do realizado para destacamentos, mas é possível identificar variações no termograma que permitem classificar as fissuras quanto à profundidade e largura. Em continuidade, esclarece que a largura da fissura é diferente da largura do dano, entendendo que a largura da fissura é a medida da abertura da mesma e a do dano geralmente é uma área maior que apresenta danos mais graves resultantes

da fissura. Dessa forma, o estudo de campo realizado com termografia passiva, objetivou medir as alterações comportamentais nos termogramas para definir o grau de dano nas fissuras. À vista disso, expuseram que as conclusões foram obtidas a partir do monitoramento dos 40 minutos iniciais, quando houve diferenciação dos intervalos de temperatura (Figura 15), propiciando a avaliação da profundidade e permitindo determinar a largura do dano. Por fim, ressaltou que a investigação no período de resfriamento tem o mesmo potencial de identificação.

Figura 15 - Monitoramento da trincas em (a) 0 min; (b) 20 min; (c) 40 min; (d) 150 min, identificando maior nitidez nas imagens até 40 min. (BAUER *et al.*, 2018)



Freitas *et al.* (2014) apresentam pesquisa para detecção de descolamentos de reboco em fachada com uso do ensaio ativo e passivo, realizados em laboratório e in situ, respectivamente. Para o ensaio laboratorial criaram artificialmente descolamento no revestimento e simularam o efeito da radiação solar na fachada, avaliando a variação de temperatura ao longo do tempo. Nesse teste constataram que o defeito criado ficou claramente visível através da termografia durante as fases de aquecimento e resfriamento. A fim de validar o método para detecção de descolamentos de reboco,

realizaram ensaio na fachada sul de um edifício. Para tanto, tomaram termogramas a partir dos ganhos solares ao longo do dia e em dias ensolarados e nublados. Dessa forma, verificaram que os resultados foram semelhantes nos dias ensolarados e nublados, contudo em dias nublados houve menor contraste e maior dificuldade na detecção. Concluíram que a técnica demonstrou com sucesso o potencial da termografia infravermelha para diagnóstico de descolamento de reboco em fachadas, de modo que o melhor momento para inspeção foi durante as horas de exposição solar e após o pôr do sol. Por fim, consideraram a análise qualitativa suficiente para detectar defeitos.

4.4.1.2 Termografia associada a outras técnicas de investigação para identificação de anomalias em construções

Embora a termografia possa ser usada como uma técnica autônoma, há circunstâncias que a eficácia da investigação pode ser ampliada combinando a técnica com outros ensaios destrutivos ou não (TITMAN, 2001).

Desse modo, Garrido *et al.* (2018) esclarece que a inspeção infravermelha pode ser combinada com outros métodos não destrutivos, aumentando a confiança dos resultados, aprofundando a análise e conseqüentemente tornando a validação dos resultados mais robusto. A exemplo, apontaram o uso associado de radar de penetração no solo (GPR), técnicas óticas e ultrassônicas à termografia, para detectar rachaduras em pavimento asfáltico, caracterizando suas origens.

Takeda e Mazer (2018), para confirmação de regiões com suspeita de descolamento de revestimento identificadas pelo ensaio termográfico, associaram o ensaio de percussão e a inspeção termografia confirmatória realizada durante o fluxo negativo de calor. Desse modo, ambas as técnicas confirmaram a eficiência da termografia para identificação de descolamentos de revestimentos em fachadas. Podendo concluir ainda, que a técnica apresenta vantagens quanto a agilidade de inspeção de fachadas, a diminuição da subjetividade das inspeções exclusivamente fotográficas e

a eliminação dos riscos de segurança para trabalhos em altura, viabilizando a manutenção preditiva e preventiva dos sistemas de revestimento de fachadas.

Silva *et al.* (2021) realizaram estudo documental relativo a associação da termografia à Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), compilando uma série de vantagens e desvantagens do uso deste método. Dentre as vantagens, tem-se a capacidade de alcançar áreas de difícil acesso, reduzir riscos operacionais, reduzir tempo de inspeção e trazer maior confiabilidade frente aos métodos convencionais. Em contrapartida, as limitações estão relacionadas à autonomia de voo, às condições climáticas (que influenciam no voo como na termografia) e às regulamentações de voo da localidade. Ressaltam que um dos fatores preponderantes para o uso da termografia acoplada a VANTs é o custo da operação e dos equipamentos, entretanto, elucidam que os benefícios da técnica, frente aos métodos convencionais apresentam potencial, uma vez que considerada a velocidade de obtenção dos dados e a segurança do inspetor. Por fim, concluíram que o mecanismo otimiza processos de inspeção predial, visto que possibilita a caracterização de áreas de difícil acesso sem colocar em risco a segurança dos profissionais. Ainda, verificaram que a técnica associada ao VANT, fornece dados com maior rapidez e precisão, que auxiliarão nos ensaios de inspeção e recuperação das estruturas, embora apresente algumas limitações.

4.5 Manifestações patológicas de fachada

As manifestações patológicas podem estar associadas a falhas de projeto, material, execução e ou manutenção (SILVA, 2007). Ainda, a durabilidade dos revestimentos de fachada também está associada ao microclima a qual está inserida a edificação, ou seja, chuvas, vento, insolação e materiais em suspensão no ar, pois são agentes agressivos que reduzem a vida útil da edificação (FREITAS *et al.*, 2014).

Dessa forma, por estarem diretamente expostos aos agentes ambientais, os componentes da fachada podem apresentar degradação mais acelerada em relação aos ambientes internos e protegidos da edificação (TONDELO e BARTH, 2019).

As manifestações patológicas presentes em fachadas, sejam elas revestidas com cerâmica, pedras naturais ou textura, são apresentadas por diversos autores. As principais anomalias são deslocamento do revestimento, fissuras/trincas, eflorescências, bem como manchamentos e sujeiras (PACHECO, 2017; MAIA NETO *et al.*, 1999; FREITAS *et al.*, 2014; BAUER *et al.*, 2021).

Tais anomalias quando manifestadas de forma leve podem comprometer a estética, ou, caso contrário, quando agravadas, podem gerar risco a estrutura e até mesmo a transeuntes (PACHECO, 2017; MAIA NETO *et al.*, 1999).

As causas prováveis de falhas em revestimentos estão associadas a deficiência de projeto, a erros de execução e a problemas de manutenção (BAUER, 2008).

4.5.1 Deslocamento de revestimento

Os descolamentos/deslocamentos podem ocorrer tanto nas fachadas compostas de revestimentos argamassados, quanto naquelas revestidas com cerâmicas.

Segundo Maia Neto *et al.* (1999), nos revestimentos argamassados os descolamentos costumam se apresentar de três formas: por empolamento, quando há formação bolhas; por placas quando ocorre ruptura do reboco e do emboço; e por pulverulência, isto é, desagregação e esfarelamento da argamassa.

As principais causas destes descolamentos estão associadas a presença de produtos não hidratados devidamente, a hidratação incompleta da cal, a má qualidade do material, e ao preparo inadequado (BAUER, 2008).

Por sua vez, os deslocamentos de revestimentos cerâmicos apresentam como causas mais comuns: a inexistência de juntas de movimentação, a deficiência na execução do assentamento das peças, a dilatação higroscópica excessiva do revestimento cerâmico e a falhas ou falta de rejuntamento (BAUER, 2008; MAIA NETO *et al.*, 1999).

4.5.2 Fissuras e trincas

Diversas são as causas de fissuração. Em revestimentos argamassados, de acordo com Bauer (2008), a ocorrência desta anomalia pode estar relacionada⁴ a execução, a solicitações higrotérmicas e principalmente a retração hidráulica da argamassa.

Outro fator de fissuração em revestimentos está relacionado ao cobrimento deficiente do concreto, favorecendo o processo de oxidação de armaduras e consequente aumento de tensões na região que provocam as fissuras (BAUER, 2008).

Além destes, também são causas de fissuração, a deficiência de encunhamento da alvenaria, a deformação lenta do concreto, a ausência de verga e contraverga, entre outras falhas relacionadas a procedimentos construtivos (BAUER, 2008).

4.5.3 Eflorescências

Comuns em fachadas com revestimento em peças cerâmicas ou pedras naturais, a eflorescência se manifesta na superfície do revestimento por meio do escorrimento e depósito de um líquido esbranquiçado (MAIA NETO *et al.*, 1999).

Para ocorrência da eflorescência é necessário o atendimento a três condições: teor de sais solúveis nos materiais ou componentes; presença de água; e pressão hidrostática para que a solução migre para superfície. Sem a existência concomitante das três, não há ocorrência do fenômeno (BAUER, 2008).

⁴ Excluindo-se aquelas provenientes de movimentação e/ou fissuração da base (concreto e/ou alvenaria).

4.5.4 Manchamentos e sujeiras

De modo geral os manchamentos estão associados a infiltrações, se manifestando por meio de eflorescências, bolores ou mudanças de tonalidade de revestimento (MAIA NETO *et al.*,1999).

A poluição atmosférica também é um fator que permite o aparecimento de manchas na fachada. Essas sujeiras, provenientes da poluição atmosférica podem ser classificadas como poluentes naturais ou biológicos e de resíduos proveniente de indústrias (BAUER, 2008).

Segundo Bauer (2008), alguns fatores influenciam o manchamento das fachadas, como o vento, a chuva direta e aquela escorrida, a temperatura, a porosidade dos materiais, e a própria forma da fachada corroboram para o grau de manchamento da superfície.

4.5.5 Ocorrência das manifestações patológicas

Bauer *et al.* (2021), em seu estudo de fachadas revestidas em argamassa, indicou que das anomalias quantificadas a fissura foi aquela que apresentou maior incidência (52%), em oposição ao descolamento (1%).

Contudo, o estudo desenvolvido por Silva *et al.* (2019) em fachadas revestidas em cerâmica indicou o contrário, isto é, a anomalia mais recorrente foi o descolamento de cerâmica (74%), seguido da fissuração (17%).

Por sua vez, as eflorescências são manifestações comuns em fachadas revestidas em cerâmicas ou em rochas ornamentais, podendo alterar a aparência da superfície e/ou até mesmo gerar desagregação do revestimento ou falta de aderência (MAIA NETO *et al.*,1999).

Estudos de Bauer *et al.* (2021), Silva *et al.* (2019) e Pacheco *et al.* (2017), apontaram que as eflorescências são anomalias com baixa ocorrência na fachada quando comparada as demais manifestações patológicas principais.

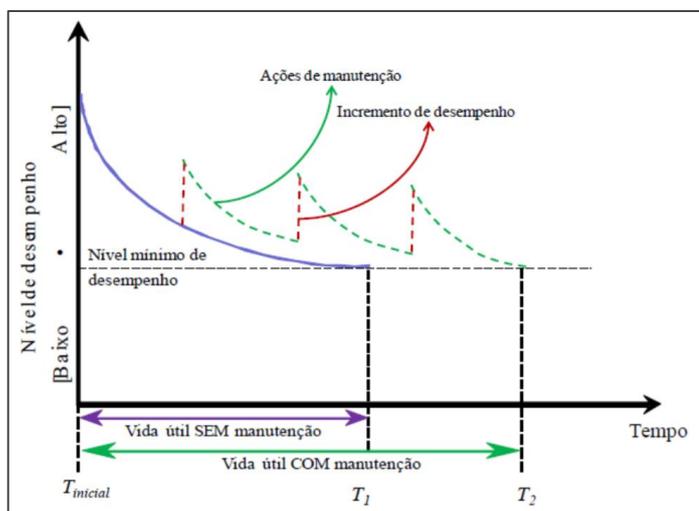
Segundo Pacheco *et al.* (2017), manchas e sujeiras possuem baixo nível de degradação do sistema e são geralmente ocasionadas pela poluição atmosférica. Dessa forma, podem ser solucionadas com manutenção periódica, qual seja, limpeza de fachada. Em seu estudo, realizado em cidade costeira, estas anomalias foram as mais recorrentes.

4.6 Manutenção dos sistemas construtivos

Ferreira e Lobão (2018) afirmam que as manifestações patológicas são cada vez mais frequentes, devido às deficiências de projeto, irregularidades na execução, erros profissionais, mão de obra despreparada e má qualidade ou emprego inadequado de materiais. Acrescentam que mesmo havendo os avanços tecnológicos na construção civil, as anomalias ainda se manifestarão, tendo em vista que uma construção não é eterna e está sempre precisando de reparos e manutenções. Portanto, Bagavathiappan *et al.* (2013) aduzem que o monitoramento das condições de serviço de estruturas civis é essencial para garantir a segurança pública.

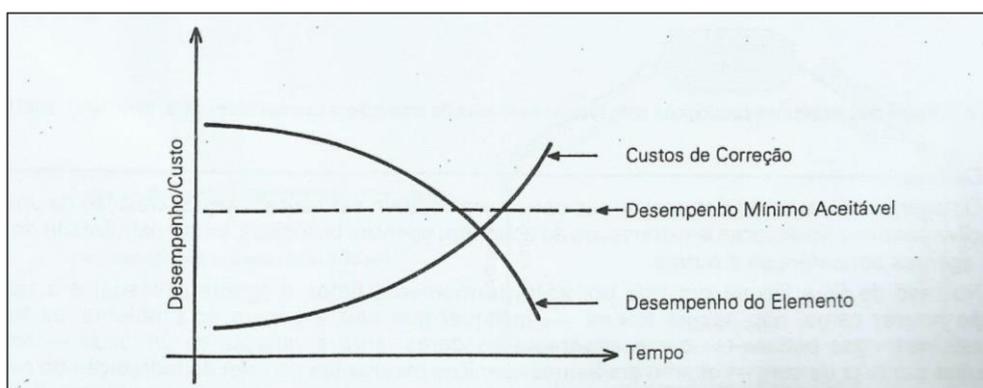
Este cenário é muito bem representado pelo reconhecido gráfico de desempenho da edificação *versus* vida útil, frente as manutenções e reparos realizados no sistema para garantir ou prologar o tempo de vida útil da construção, conforme Figura 16 (POSSAN E DEMOLINER, 2013).

Figura 16 - Gráfico de desempenho da edificação *versus* sua vida útil em vista das manutenções (POSSAN E DEMOLINER, 2013)



Ainda, sobre as manifestações patológicas, Helene (1988 e 1992), reitera que estas são evolutivas e tendem a se agravar com o passar do tempo, ao passo que as correções das mesmas “serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis de executar e muito mais baratas quanto mais cedo forem executadas”, conforme expressa o gráfico da Figura 17.

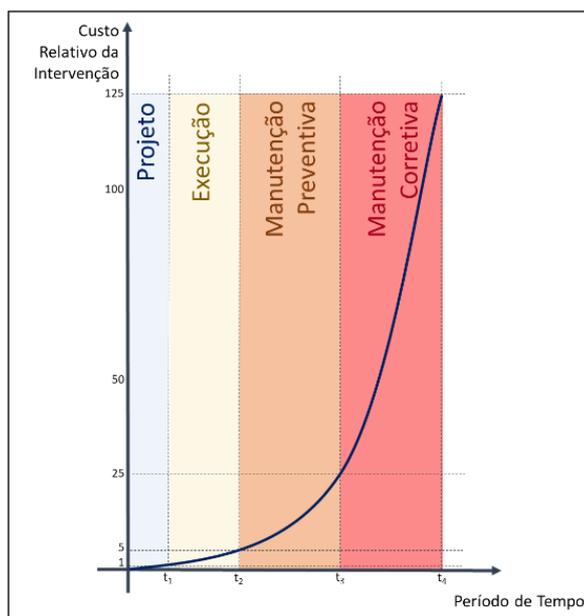
Figura 17 - Gráfico da evolução dos custos de correção das manifestações patológicas no tempo (HELENE, 1988)



De maneira mais detalhada, a “lei de Sitter” projeta os custos relativos a intervenção crescendo segundo uma progressão geométrica de razão cinco em relação ao tempo, dividindo-os nas etapas construtivas e de uso, quais sejam; projeto; execução,

manutenção preventiva; e por fim, manutenção corretiva, aquela efetuada após o surgimento dos problemas, como apresentado na Figura 18.

Figura 18 - Gráfico da Lei de evolução de custos – Lei de Sitter. (Adaptado de Sitter,1984, apud Helene 1992)



Interpreta-se, portanto, do gráfico da Figura 18, que toda medida tomada a nível de projeto com objetivo de aumentar a proteção e a durabilidade da estrutura, resulta num custo associado ao número 1 do eixo das ordenadas; em sequência, medidas tomadas durante a execução implica em custo cinco vezes maior, se a medida fosse aplicada em fase de projeto para obter o mesmo grau de proteção e durabilidade da estrutura. De modo análogo, na fase de manutenção preventiva, infere-se que as medidas tomadas com antecedência e previsão, durante o período de uso e manutenção da estrutura, podem apresentar custos cinco vezes menor que aquele gerado por uma correção de uma anomalia manifestada devido a falha na manutenção preventiva; por fim, ao realizar a manutenção corretiva, o custo se equivalerá a 125 vezes aquele necessário para prever medidas ainda em nível de projeto que implicariam no mesmo “grau” de proteção e durabilidade (HELENE, 1992).

Neste cenário de manutenção, quando há necessidade de investigar questões relativas a durabilidade e manifestações patológicas, muitas vezes faz-se uso de

técnicas não destrutivas que permitem inferir sobre as causas, comportamentos, bem como identificar e mapear regiões de danos nas estruturas (BAUER e PAVON, 2015).

Dentre um dos métodos não destrutivos, tem-se a termografia infravermelha, contribuindo com a realização de inspeções para diferentes finalidades, apresentando-se como método rápido e mais eficiente e que possibilita a identificação de problemas precocemente, permitindo a realização de reparos com menor custo enquanto não há o agravamento da anomalia (BAUER e PAVON, 2015; FLIR, 2011).

5 METODOLOGIA

A pesquisa desenvolvida, visando atingir os objetivos deste estudo, contou com inspeções de fachada utilizando a técnica tradicional de inspeção visual e a técnica contemporânea de termografia.

Dessa forma, por meio de registros fotográficos digitais e térmicos, realizou-se análises dos dados/fotografias buscando avaliar a técnica da termografia para fins de identificação de manifestações patológicas nas fachadas das edificações estudadas, em suas condições naturais de uso e de contorno.

Desse modo, o ensaio termográfico foi executado pelo método passivo, avaliando os painéis de fachada em busca de anomalias termicamente identificáveis por meio de investigação qualitativa.

Concomitantemente aos registros térmicos foram tomadas as fotografias digitais pelo próprio equipamento termográfico, permitindo o desenvolvimento de comparações e análises.

Por se tratar de um ensaio que não há controle sobre o clima e interferências externas, isto é, investigação mediante a envoltória natural do microclima da edificação, as fachadas foram testadas em dias e horários diferentes, de acordo com a demanda observada durante a primeira inspeção, com a finalidade de identificar a influência do contorno na investigação de anomalias.

Para tanto, objetivando evidenciar a eficiência da técnica quanto a identificação de anomalias de fachada, selecionou-se 4 edificações⁵, distintas entre si quanto ao seu revestimento externo e microclima. Dessa forma, ensaiou-se superfícies em revestimento cerâmico, em pedra natural, em pó de pedra, e em textura.

⁵ Não será apresentado detalhes que possam identificar as edificações a fim de manter resguardada a privacidade dos locais inspecionados.

Para desenvolvimento dos ensaios, utilizou-se a câmera termográfica FLIR E5xt, série 639083188 com certificado de calibração de 28 de abril de 2020. Este equipamento possui resolução de 160x120 pixels e boa ergonomia, atendendo as necessidades do estudo.

Para iniciar os ensaios foi observado as características de superfície e afastamento do alvo, a fim de ajustar os parâmetros da câmera quanto a emissividade e distância, respectivamente. Ressalta-se que ao longo do processo de inspeção estes ajustes foram sendo realizados de acordo com a necessidade de cada trecho de fachada vistoriado.

Durante os ensaios, foram levantadas as dificuldades intrínsecas a investigação térmica em cada edificação, bem como a existência, ou não, de riscos relativos a segurança visando identificar as vantagens e limitações do método.

Além da análise preliminar qualitativa executada durante o ensaio, posteriormente, foram analisadas qualitativamente as imagens térmicas considerando o horário da investigação, bem como verificou-se se as anomalias diagnosticadas pela termografia eram visíveis em fotografia convencional/inspeção visual.

Outrossim, com base nas análises qualitativas, também identificou-se as vantagens e limitações do ensaio e observou-se o uso da termografia conjugada a outras técnicas para ratificação do diagnóstico quando necessário, ou como auxílio a outros ensaios.

Salienta-se que os ensaios termográficos realizados em campo observaram à boa técnica apreciada em literatura, bem como as seguintes normativas quando as cabiam.

- ABNT NBR 16818:2020 – Ensaios não destrutivos – Termografia infravermelha - Procedimento para aplicações do método da termografia infravermelha;
- ABNT NBR 15424:2016 – Ensaios não destrutivos – Termografia – Terminologia;
- ABNT NBR 16969:2021 – Ensaios não destrutivos – Termografia infravermelha – Princípios gerais;

- ASTM C1060 – 11a (2015) – Standard Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings;
- ASTM E 1213 – 14 (2018) - Standard Practice for Minimum Resolvable Temperature Difference for Thermal Imaging Systems;
- ASTM E 1897 – 14 (2018) – Standard Practice for Measuring and Compensating for Transmittance of an Attenuating Medium Using Infrared Imaging Radiometers;
- ASTM E 1933 – 14 (2018) - Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers;
- ASTM E 1862 – 14 (2018) - Standard Practice for Measuring and Compensating for Reflected Temperature Using Infrared Imaging Radiometers.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões, produtos dos estudos realizados em 4 edificações, conforme a metodologia apresentada no item 5, estão descritos de modo individual por estudo de caso no subitem 6.1.

Dessa forma, para cada edifício estudado apresentou-se a tipologia do imóvel, juntamente com suas características principais de revestimento e posição geográfica. Em sequência, relatou-se as particularidades do clima de cada dia de investigação, seguidos, então, das análises dos ensaios termográficos.

Posteriormente apresenta-se a análise das vantagens e limitações da termografia (6.2).

6.1 Estudos de caso

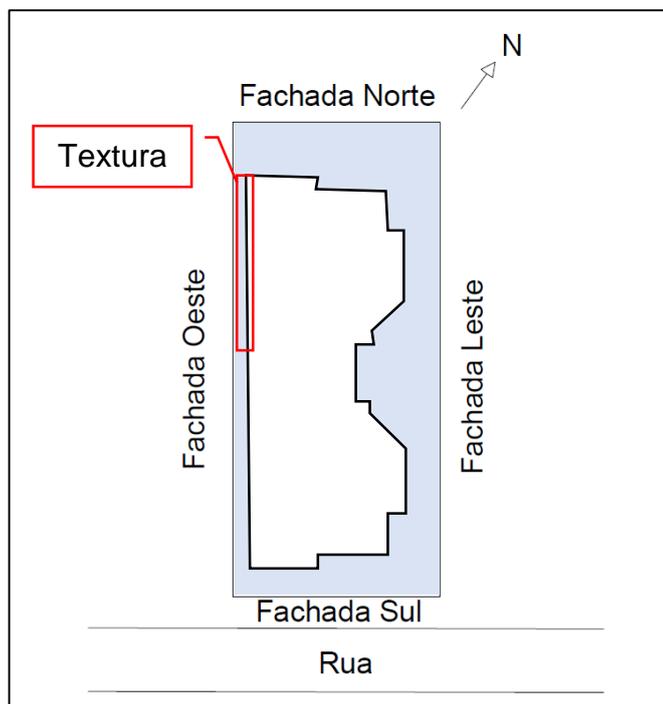
6.1.1 Edificação 01

Edifício multifamiliar com aproximadamente 25 anos, localizado em Belo Horizonte/MG. Composto por térreo e mais três pavimentos tipo com 2 unidades por andar.

A Figura 19 exibe croqui da planta da edificação juntamente com identificação das fachadas de acordo com sua posição geográfica.

As fachadas desta edificação são revestidas por cerâmica, variando em faixas de bege claro, vermelho e cinza, a exceção de pequena área da fachada sul (Figura 19) onde há textura de coloração branca que havia sido recém reparada devido a deslocamentos recorrentes na região.

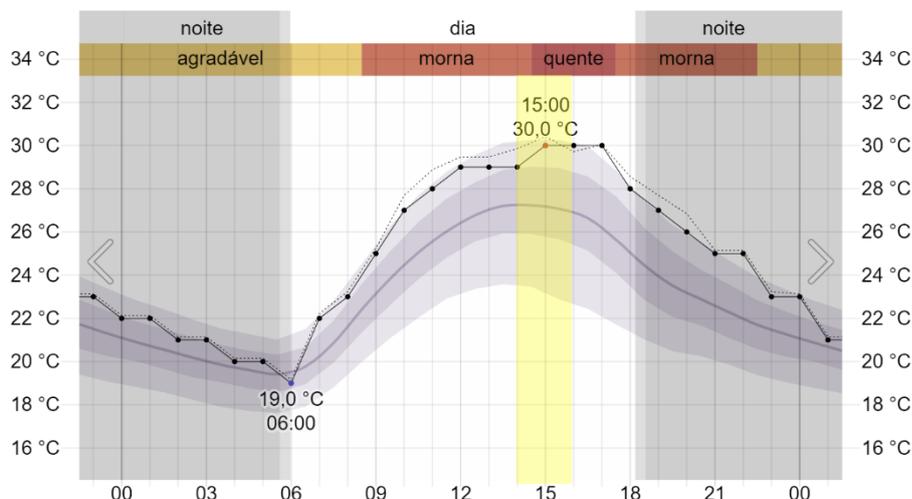
Figura 19 - Localização geográfica e da área com textura da edificação 01



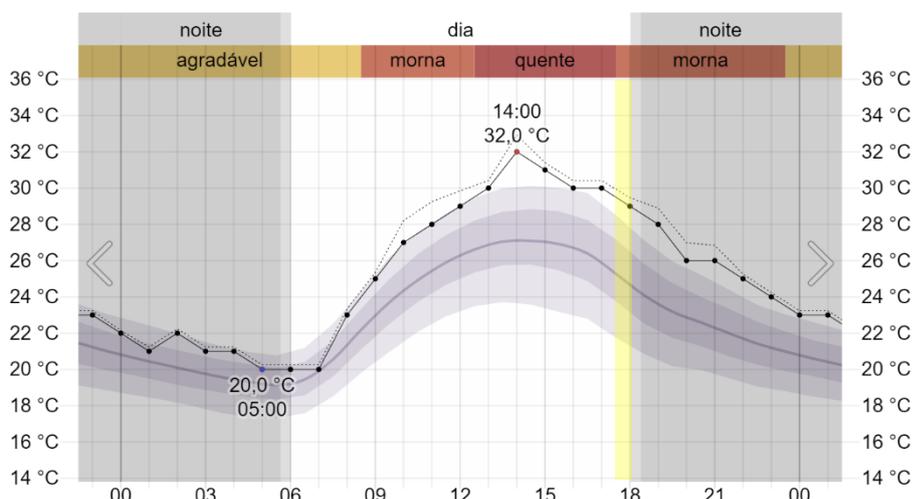
Para a inspeção das fachadas o instrumentador situou-se no térreo, área hachurada em azul (Figura 19), por ser o único ambiente que permitia visada para o alvo.

Os ensaios foram realizados em quatro momentos.

O primeiro foi realizado dia 15.03.2022, entre às 14:00 e 16:00 horas da tarde. Neste dia houve gradiente térmico de 11°C, sendo a inspeção realizada no período mais quente do dia, conforme registrado na Figura 20.

Figura 20 - Temperaturas medidas em 15 de março de 2022⁶

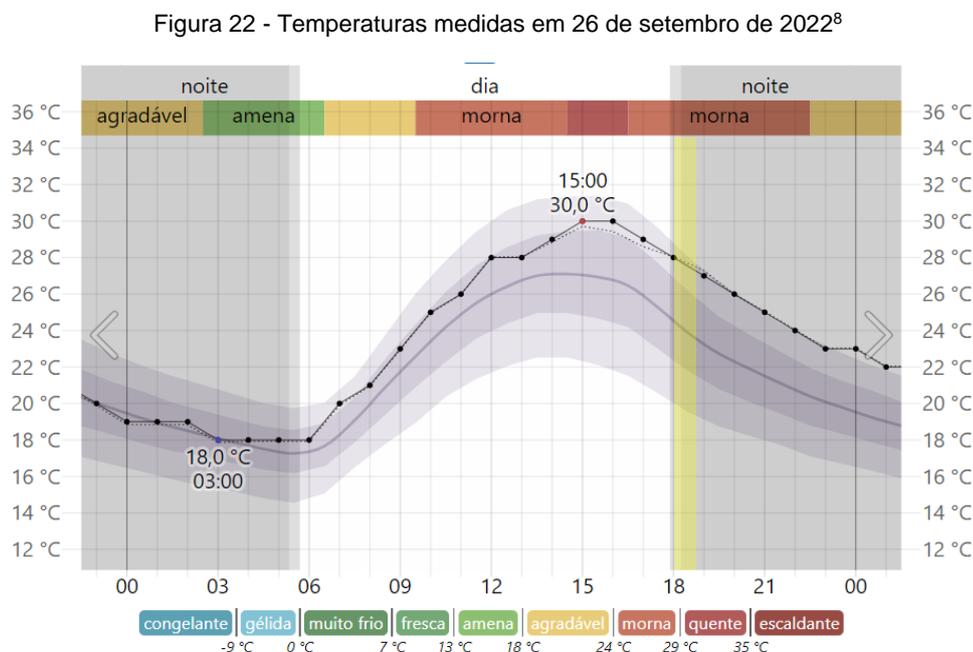
Por sua vez, a segunda e a terceira inspeção ocorreram no dia 26.03.2022 entre às 8:00 e 9:00 horas, período de aquecimento, e de 17:30 as 18:00 horas, intervalo de resfriamento (Figura 21).

Figura 21 – Temperaturas medidas em 26 de março de 2022⁷

⁶ Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/h/d/30612/2022/3/15/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-hist%C3%B3ricas-em-ter%C3%A7a-feira-15-de-mar%C3%A7o-de-2022-em-Belo-Horizonte-Brasil#Figures-Temperature>. Acesso em: 15 de maio de 2022

⁷ Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/h/d/30612/2022/3/26/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-hist%C3%B3ricas-em-s%C3%A1bado-26-de-mar%C3%A7o-de-2022-em-Belo-Horizonte-Brasil#Figures-Temperature>. Acesso em: 15 de maio de 2022

Por fim, a última inspeção ocorreu em período noturno (após o pôr do sol), em 26.09.2022, entre as 18:00 e 18:40, em período de resfriamento da fachada, de acordo com a Figura 22.



Durante os ensaios, foi necessário a presença apenas do instrumentador, não havendo necessidade da presença de ajudantes. De mesmo modo, não se identificou riscos à segurança do operador do equipamento ao longo das investigações.

Durante os ensaios nesta edificação e após análises dos termogramas:

1. Verificou-se grande dificuldade em manter o ângulo de visada adequado para tomada das fotografias termográficas, uma vez que não havia possibilidade do equipamento/instrumentador ganhar altitude para manter o ângulo de visada próximo a perpendicular.

⁸ Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/h/d/30612/2022/9/26/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-hist%C3%B3ricas-em-segunda-feira-26-de-setembro-de-2022-em-Belo-Horizonte-Brasil>. Acesso em: 10 de outubro de 2022

Como exemplo, a distância máxima para a fachada oeste era de aproximadamente 1,2 metros e para alguns pontos da fachada leste de 2,3 metros, impossibilitando ângulos próximos da perpendicular ao analisar a fachada dos pavimentos mais altos.

Conforme apresentado na Figura 10, a emissividade começa a diminuir bruscamente a partir dos 45° . Dessa forma, em trechos que o operador não pode tomar a distância adequada para diminuir este ângulo de visão a investigação torna-se prejudicada.

No estudo de caso em questão, considerando a distância entre o equipamento e o alvo de 2,3 metros na fachada leste; bem como a distância do equipamento para tomada do registro termográfico a 1,8 metros do chão; e o ângulo de visada de 45° (angulação em que a emissividade diminui bruscamente); verifica-se que a investigação sem grandes perdas de emissividade é possível apenas até metade do primeiro pavimento (altura de aproximadamente 1,6 metros acima do equipamento), conforme Figura 23.

Figura 23 - Esquema de ângulo de visão prejudicando a investigação completa da fachada



Portanto, nesta edificação a inspeção tornou-se dificultada em parte da fachada leste, bem como prejudicou a investigação da fachada oeste, uma vez que nesta fachada a vistoria é possível apenas na primeira faixa de 80 cm acima do equipamento, considerando 45° de ângulo de visão e a distância entre o equipamento e o alvo de 1,2 metros.

Ressalta-se que não era possível a tomada de fotografia a partir dos imóveis vizinhos que por vezes poderia auxiliar no ganho de distância e até mesmo de altura do equipamento.

A Figura 24 demonstra a homogeneidade da imagem térmica devido a ampla angulação de visada entre o alvo e o equipamento.

Figura 24 – Ângulo de visada superior a 45° prejudicando análise térmica, fachada oeste



Dessa forma, com a tendência de prédios cada vez mais altos, considerando o tipo do equipamento utilizado neste estudo (câmera de mão), a dificuldade em ganhar distância e altura para execução do ensaio de modo adequado nas partes mais altas da edificação pode ser recorrente, podendo assim ser um obstáculo à execução de uma investigação integral da fachada de um edifício.

2. Observou-se que a câmera termográfica possui pequeno campo de visão em relação as câmeras digitais. Dessa forma, é necessária a tomada de um maior número de fotografias para abranger a mesma área do registro digital, como demonstra a Figura 25.

Figura 25 - campo de visão limitado do equipamento dificultando análises de áreas maiores em pequenas distâncias



Portanto, principalmente quando há pouca distância entre o alvo e o instrumentador a investigação é dificultada, uma vez que o equipamento não oferece visualização global do pano da fachada, sendo necessária a tomada de diversas fotografias para análise da mesma região visualizada digitalmente.

Dessa forma, a inspeção termográfica torna-se mais longa, por precisar de mais registros fotográficos ao se comparar a técnica com a inspeção digital/visual.

3. Identificou-se reflexão nas fachadas provenientes tanto do reflexo de outros prédios (Figura 26), como da própria edificação (Figura 27), quanto da vegetação próxima (Figura 28) e de elementos da própria fachada, isto é, reflexão proveniente do fechamento de vidro da varanda (Figura 29).

Figura 26 - Interferência na imagem térmica por reflexão do prédio vizinho e do céu, na fachada leste

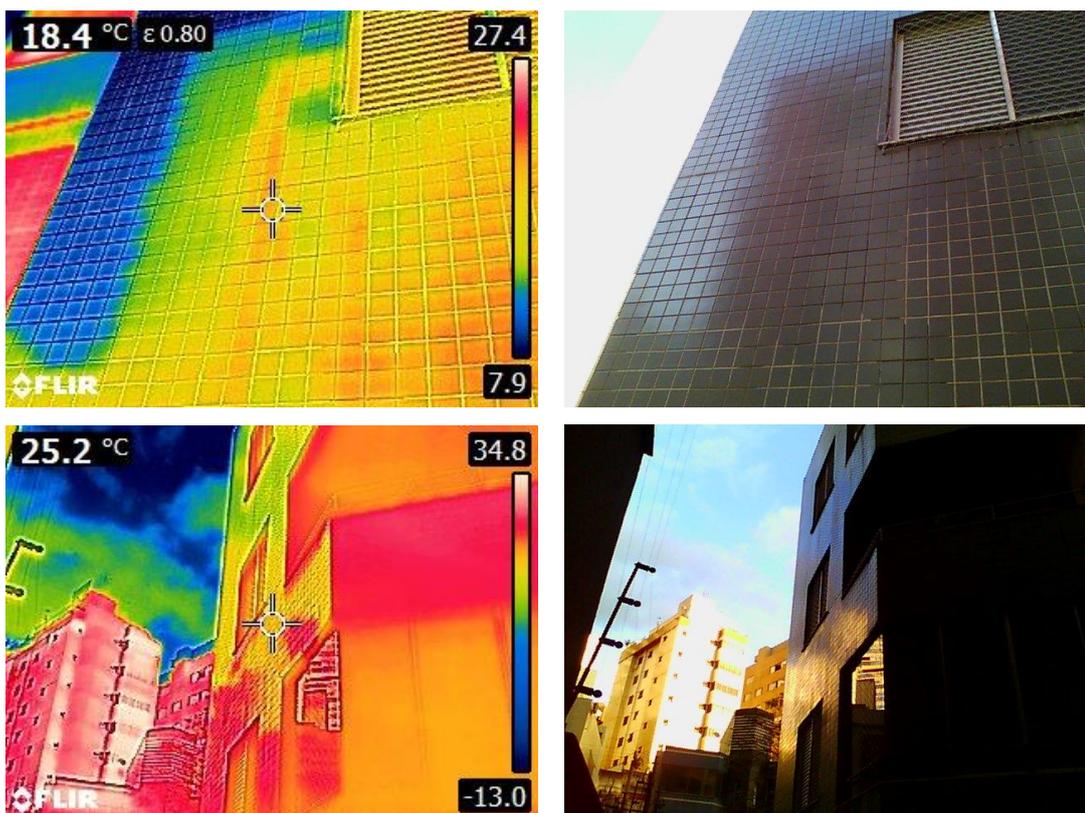


Figura 27 - Interferência na imagem térmica por reflexão do próprio prédio, na fachada leste

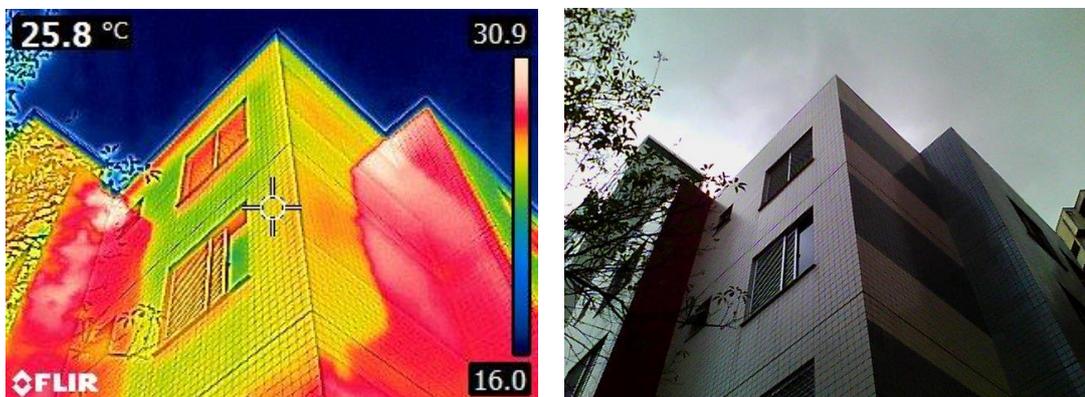


Figura 28 - Interferência na imagem térmica devido a reflexão da vegetação próxima, na fachada norte

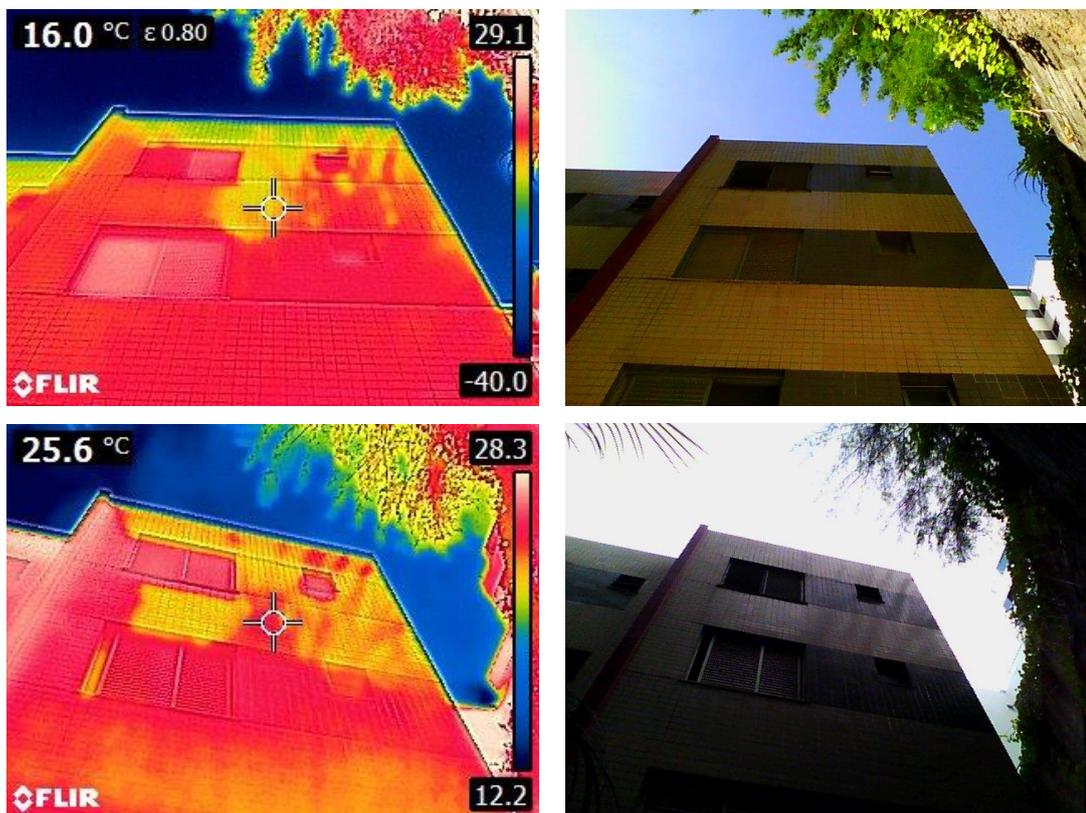
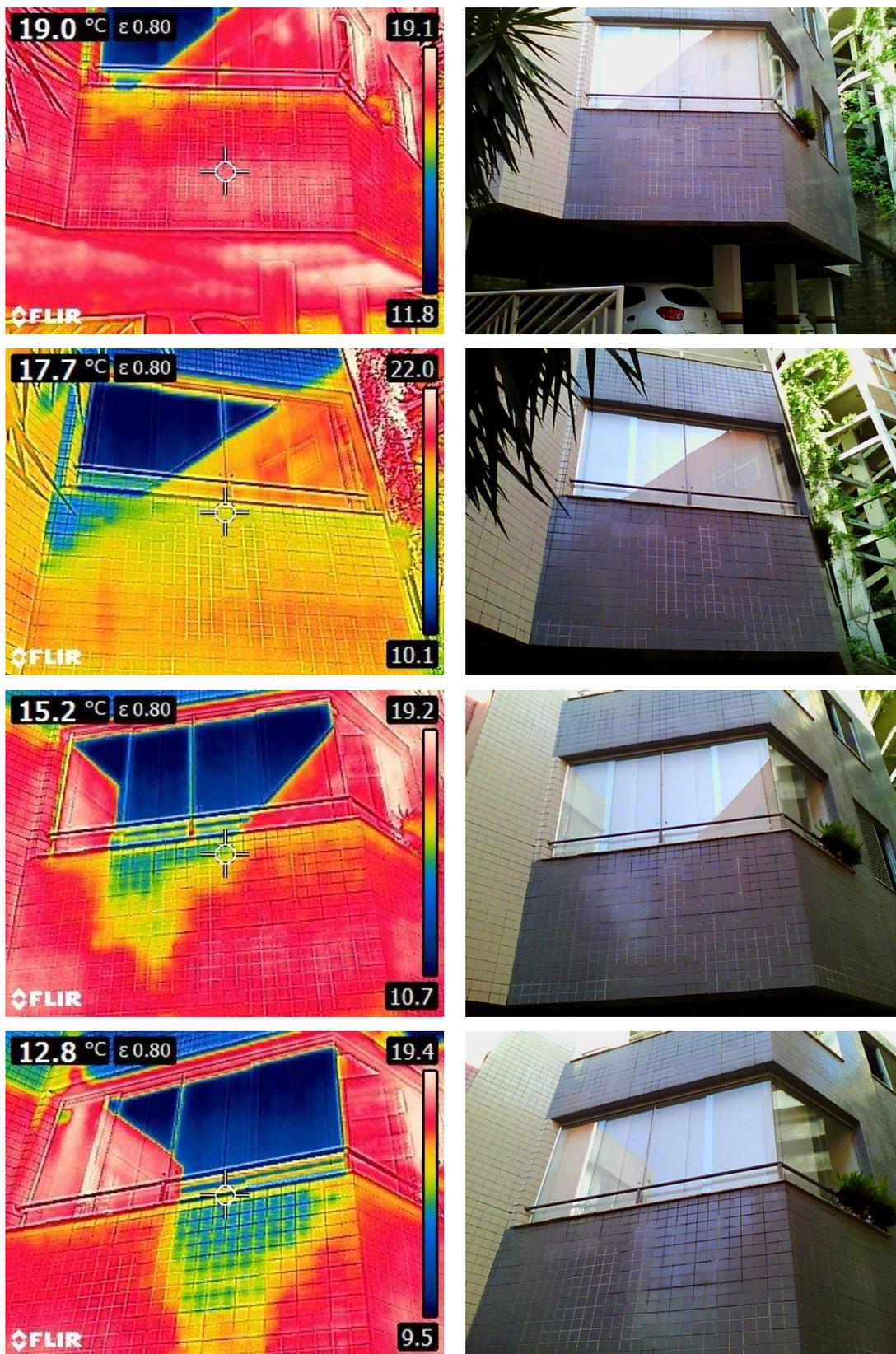


Figura 29 – Interferência na imagem térmica devido a reflexão proveniente do vidro da varanda, na fachada leste



Desse modo, verifica-se que a reflexão é um complicador nas inspeções por termografia, dificultando a identificação de manifestações patológicas ocultas.

Contudo, a Figura 29 demonstra como a alteração do ângulo de observação auxilia na identificação dos reflexos, uma vez que com a alteração do ponto de visada há o deslocamento do reflexo.

Dessa forma, verifica-se a necessidade de capacitação do instrumentador, para que o mesmo tenha a habilidade de identificar situações de reflexão e realizar a alteração do ângulo/posição de visada, evitando a interferência e mitigando os efeitos da reflexão, permitindo a análise da superfície.

4. Da sequência de fotografias da Figura 29, ao retirar os efeitos das reflexões do local por meio da alteração de ângulo de observação, identificou-se duas faixas de cores na região abaixo da janela da varanda, sendo possível verificar que a parte inferior encontrava-se mais quente.

Uma vez existindo certa variação de temperatura na mesma superfície, sem a devida justificativa, inferiu-se quanto a existência de anomalia na região. Dessa forma, passou-se a buscar elementos para determinar a razão da alteração no registro térmico.

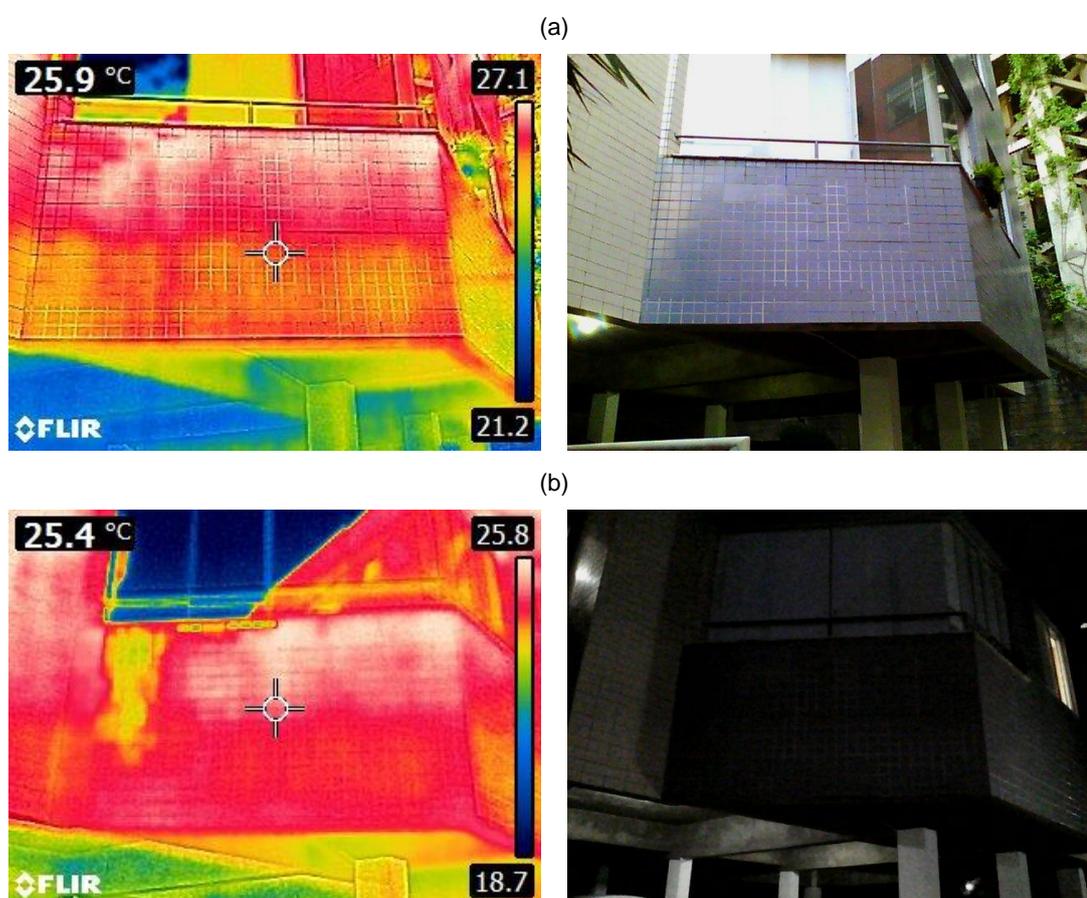
Como na ocasião não havia registro de chuvas, descartou-se a possibilidade de infiltração e analisou-se as imagens considerando ser um princípio de falha de aderência do revestimento.

Dessa forma, para identificar a região anômala, estabeleceu-se os fluxos de calor que ocorriam naquele microclima no momento do ensaio e analisou-se, em conjunto, a condutibilidade térmica dos materiais para estabelecer a região anômala.

Portanto, dado que as termografias foram realizadas no início da manhã, ou seja, período de aquecimento, bem como o vazio (ar) é um isolante térmico, depreende-se que a faixa superior está em processo inicial de deslocamento, por estar aquecendo mais devagar.

Ratificou-se tal entendimento ao realizar a termografia no período de resfriamento (Figura 30), nesse momento os pontos mais quentes se localizaram na parte superior, indicando a retenção de calor causada pelo bolsão de ar.

Figura 30 - Termografias executadas (a) no final da tarde de 26.03.2022 e (b) no início da noite de 26.09.2022



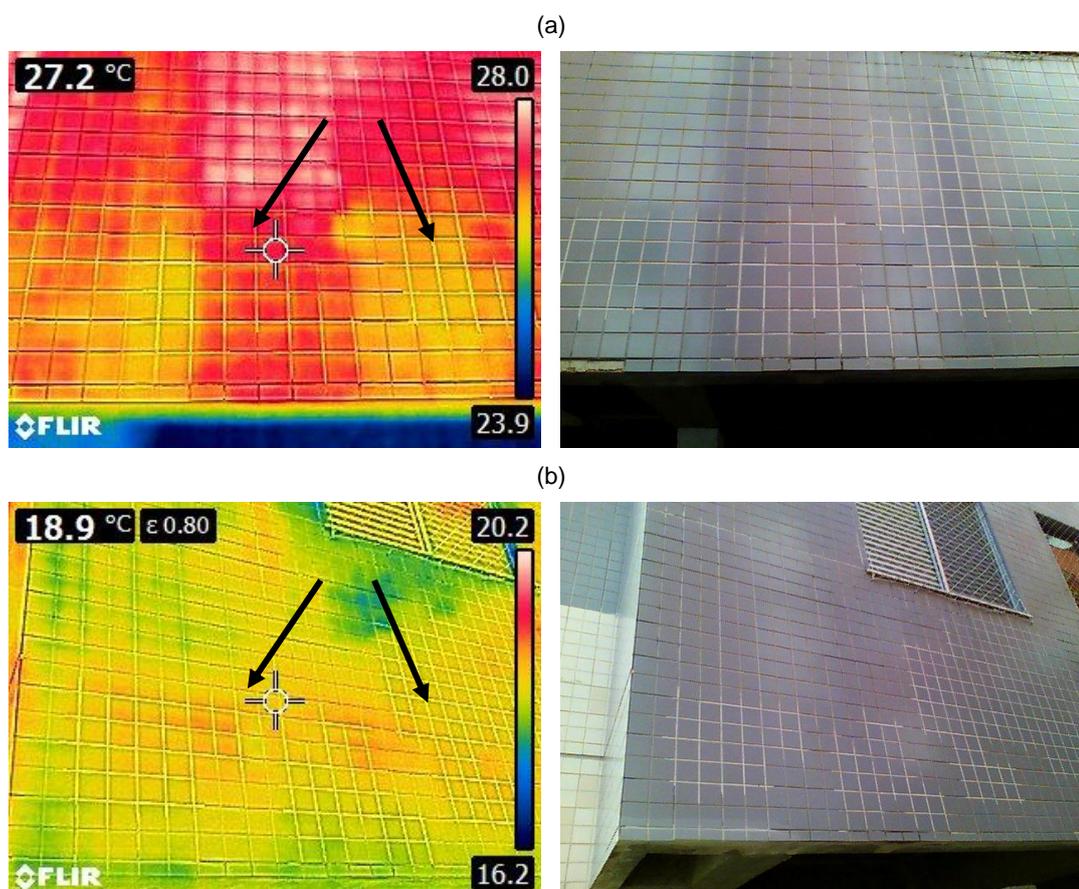
Considerando que a anomalia não era visível, constatou-se que a termografia permitiu identificar manifestações patológicas ocultas. Ademais, verificou-se que a investigação em diversos horários, somada ao estudo do fluxo de calor da região, auxilia na identificação das anomalias e ratifica os resultados das análises.

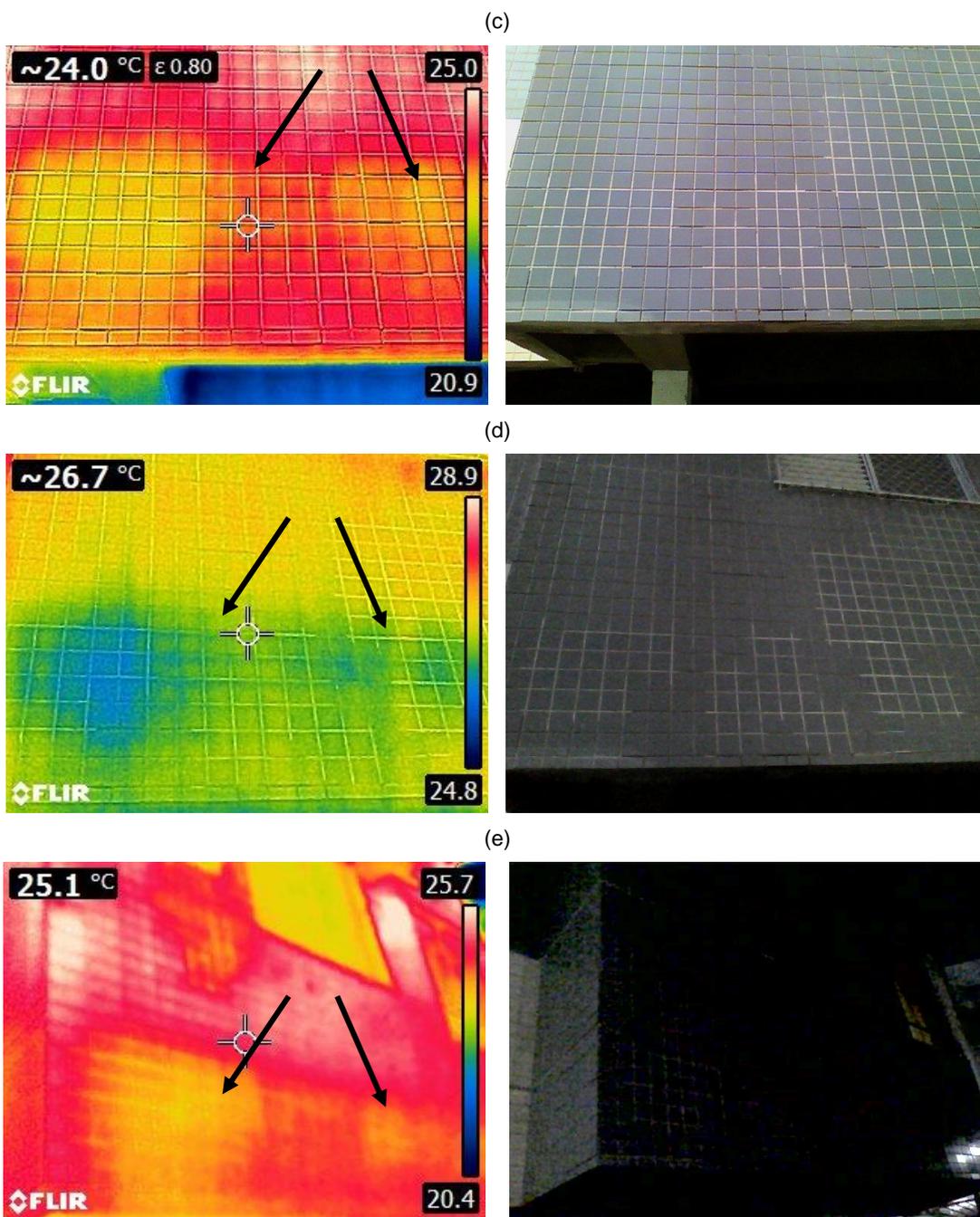
5. Constatou-se outros pontos ocultos de deslocamento de revestimento cerâmico (Figura 31 a Figura 33.) na edificação.

Para tanto, realizou-se análise qualitativa dos termogramas executados na mesma região, em momentos distintos, observando o microclima local, isto é, período de resfriamento e aquecimento do ambiente, bem como a condutibilidade térmica dos materiais.

As imagens da Figura 31 indicam duas regiões mais quentes em relação as adjacências no período de aquecimento (a e b), que tornam-se mais frias no intervalo de resfriamento (c, d e e). Desta forma, depreende-se que as áreas contíguas apresentam certo grau de isolamento térmico, proveniente do ar confinado entre as camadas de revestimento, presente no processo de deslocamento.

Figura 31 – Fotografias que permitiram identificar deslocamento do revestimento cerâmico, sendo o registro feito (a) às 14hrs; (b) às 8:00 hrs; (c) às 17:30hrs antes e (d) depois de escurecer; por fim, (e) às 18:30





Corroborando ao entendimento, é possível observar que as áreas consideradas com revestimento aderido passou por reparo recente, pois observou-se a existência de rejunte em estado mais novo que as imediações.

Mantendo-se o mesmo raciocínio, isto é, análise qualitativa em conjunto com a observação do clima e a condutibilidade térmica dos materiais, identificou-se que a região central da fachada leste apresentava diversas alterações colorimétricas (Figura 32), sendo isto um indicativo de deslocamento oculto de revestimento cerâmico.

Como analisado anteriormente, para este estudo de caso, regiões de rápido aquecimento pela manhã que tornam-se mais frias que suas adjacências durante o fim de tarde e início de noite, são consideradas normais, ou seja, locais sem manifestações patológicas.

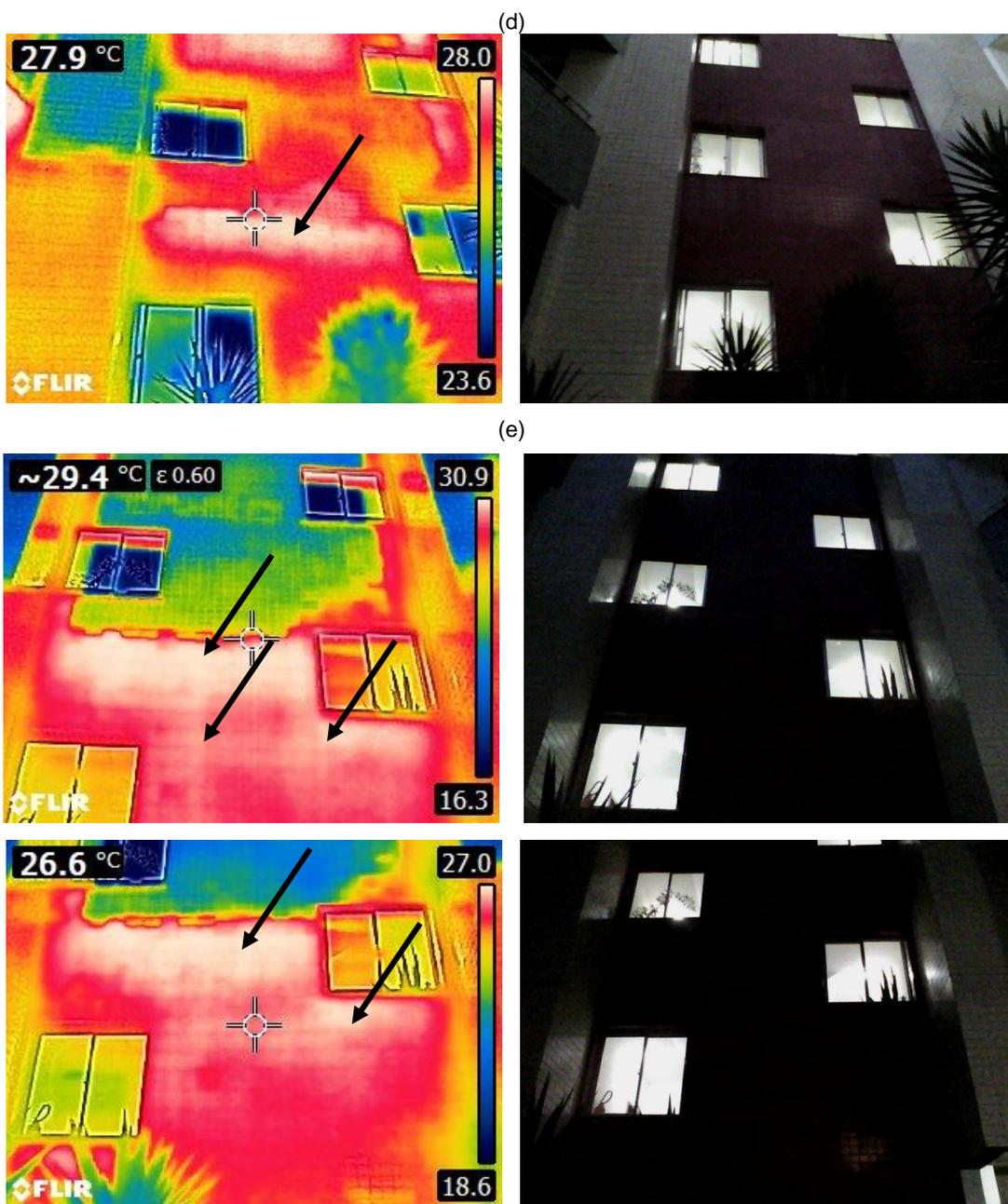
Por sua vez, regiões com dificuldade de aquecimento e resfriamento, isto é, áreas com competência isolante, por possíveis bolsões de ar, são potenciais pontos anômalos.

Dessa forma, analisou-se os termogramas do local tomados em diferentes horários e verificou-se que a região indicada pela seta preta nos termogramas da Figura 32 apresentou grau de isolamento térmico diferente das adjacências, quando deveria ser igual.

Fato é que a alteração do termograma na região foi proveniente da existência de uma camada de ar sob o revestimento cerâmico que gerou maior isolamento e conseqüentemente maior dificuldade de perder e/ou ganhar calor, caracterizando o princípio de deslocamento cerâmico.

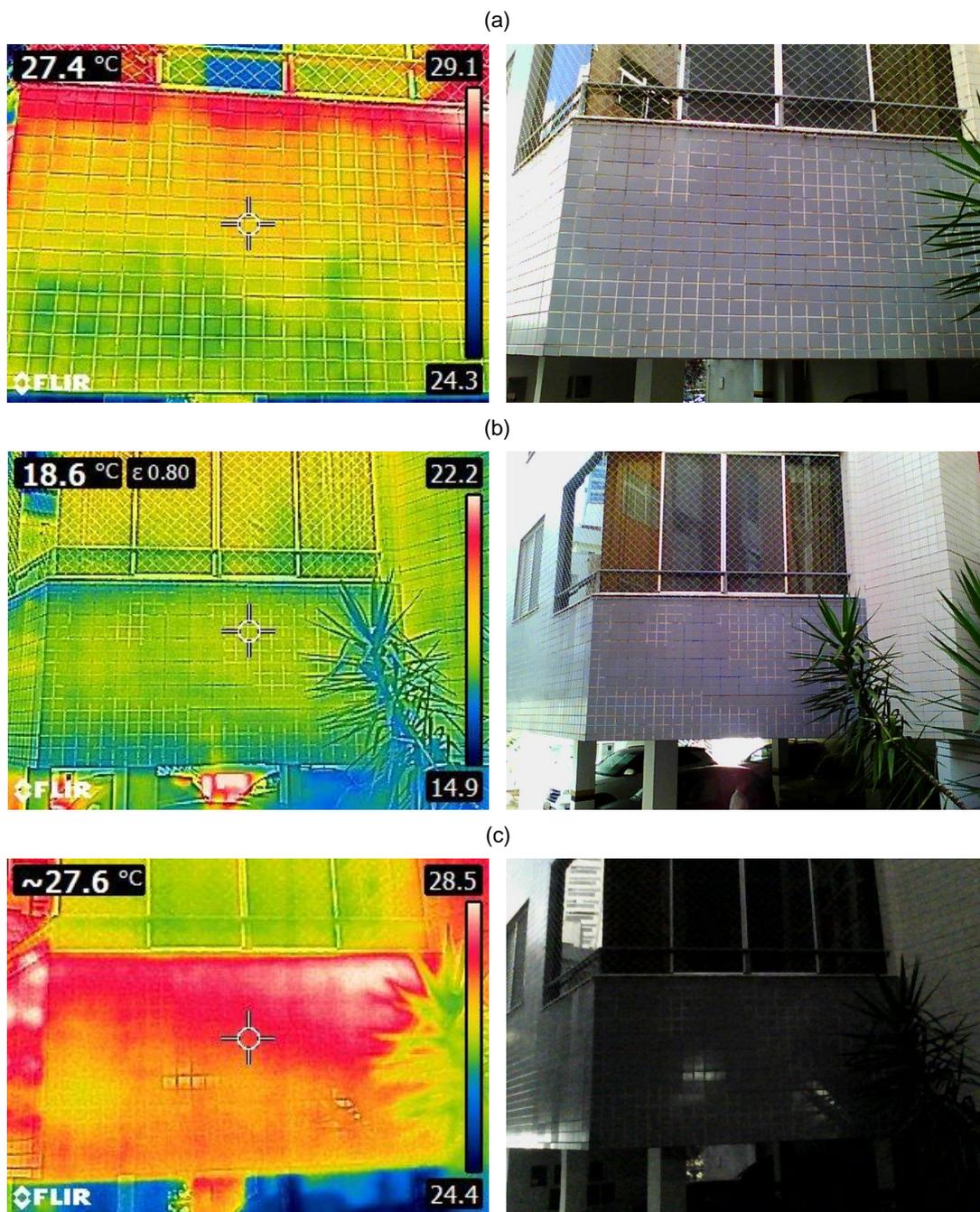
Figura 32 - Fotografias que permitiram identificar deslocamento do revestimento cerâmico, sendo o registro feito (a) às 14hrs; (b) às 8:00 hrs; (c) às 17:30hrs com iluminação e (d) sem iluminação, por fim, no início da noite (e) às 18:10



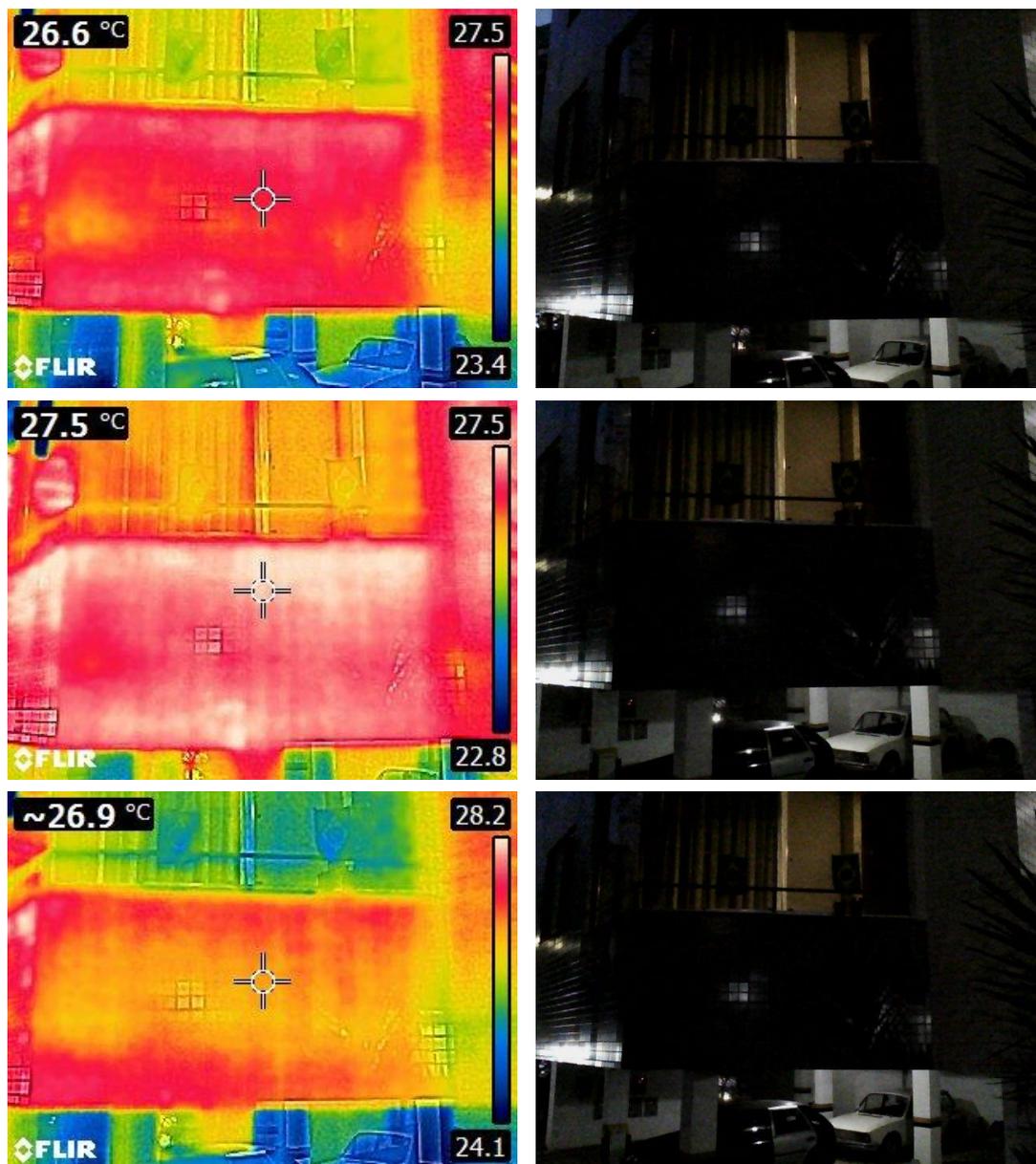


Seguindo os mesmos preceitos das análises anteriores, inferiu-se da Figura 33 que a região abaixo da janela da varanda do primeiro pavimento apresentou apenas trecho intermediário sem deslocamento, uma vez que durante o aquecimento a faixa média exibiu nuances mais quentes e durante o resfriamento este resultado foi ratificado, visto que a região tornou-se mais fria que suas adjacências.

Figura 33 - Fotografias que permitiram identificar deslocamento do revestimento cerâmico, sendo o registro feito (a) às 14hrs; (b) às 8:00 hrs; (c) às 17:30hrs sem iluminação; e (d) às 18:10 da noite



(d)



Como exposto, verificou-se que a partir da análise qualitativa dos termogramas é possível identificar anomalias precocemente, isto é, antes de serem visualmente identificáveis. De mesmo modo, constatou-se ser indispensável a análise dos termogramas considerando as investigações em diversos horários do dia, os fluxos de calor, bem como a condutibilidade térmica dos materiais para melhor avaliação e definição do estado de conservação da fachada.

6. Verificou-se pelas imagens noturnas apresentadas entre a Figura 30 e Figura 33 que a nitidez dos contornos são minimizadas quando não a iluminação.

No entanto, constatou-se não haver prejuízo na qualidade da termografia, sendo a imagem noturna uma aliada na ratificação de resultados, visto que observou-se que nestas imagens havia reduzido as reflexões presentes nos ensaios diurnos.

7. Observou-se que as sombras também geraram interferência nas imagens térmicas noturnas. Nas Figura 34 e Figura 35, constatou-se que o registro térmico das sombras se manteve após o escurecer.

Descartou-se o fator anomalia, uma vez que a região permanece mais fria que as adjacências, independente do horário de investigação.

Figura 34 - Interferência da sombra na termografia. Registros realizados às (a) 8:30; (b) 17:30 e (c) 18:15



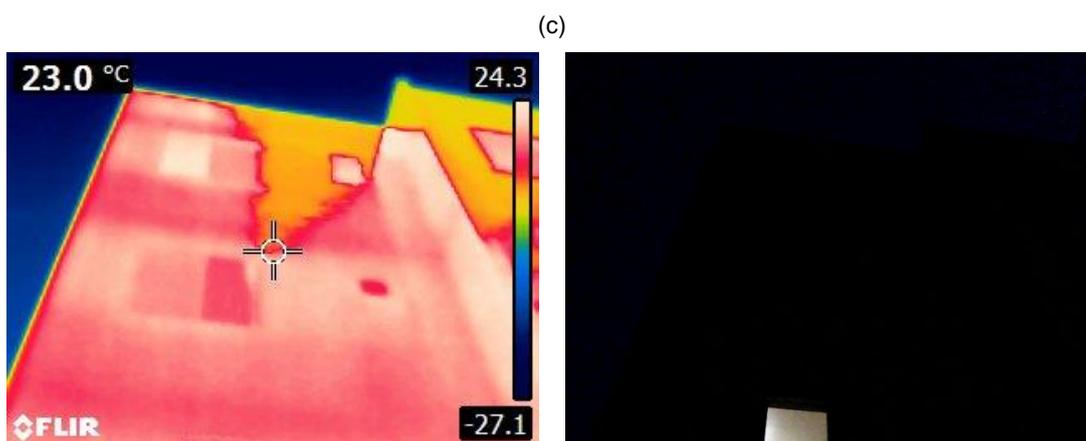
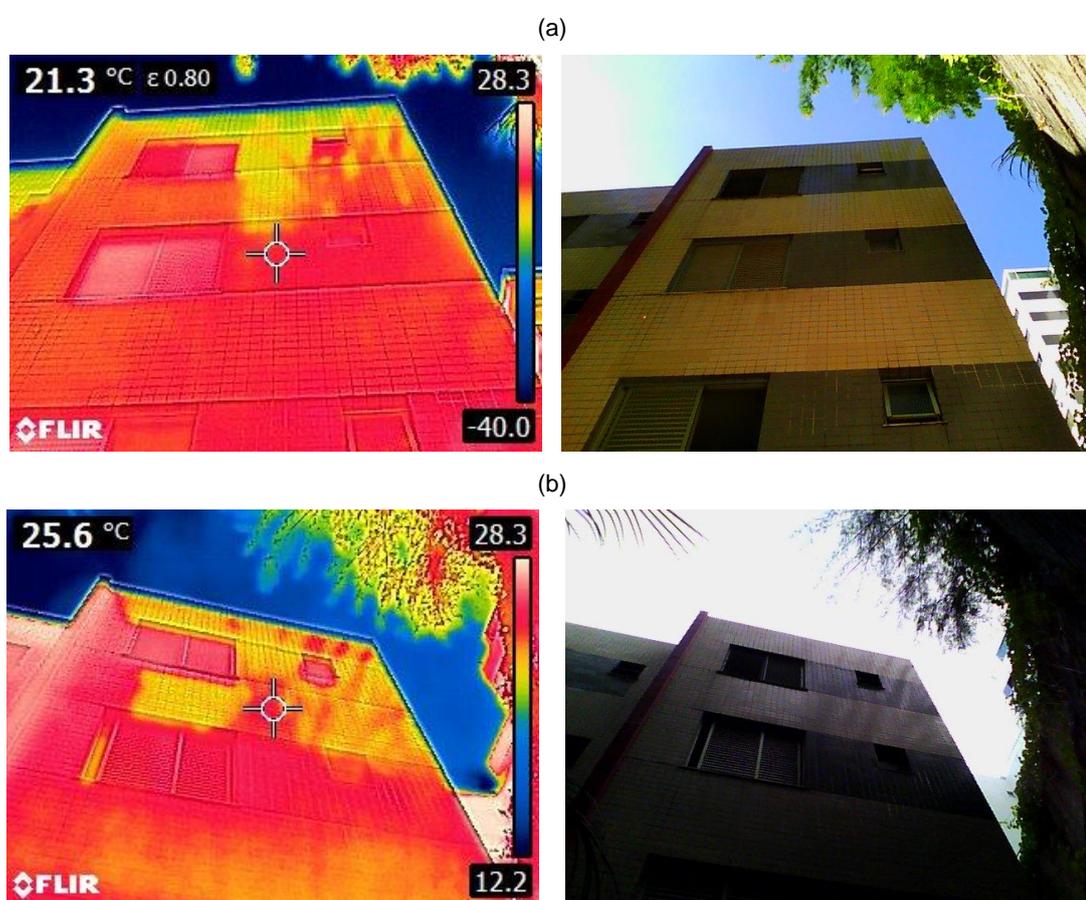
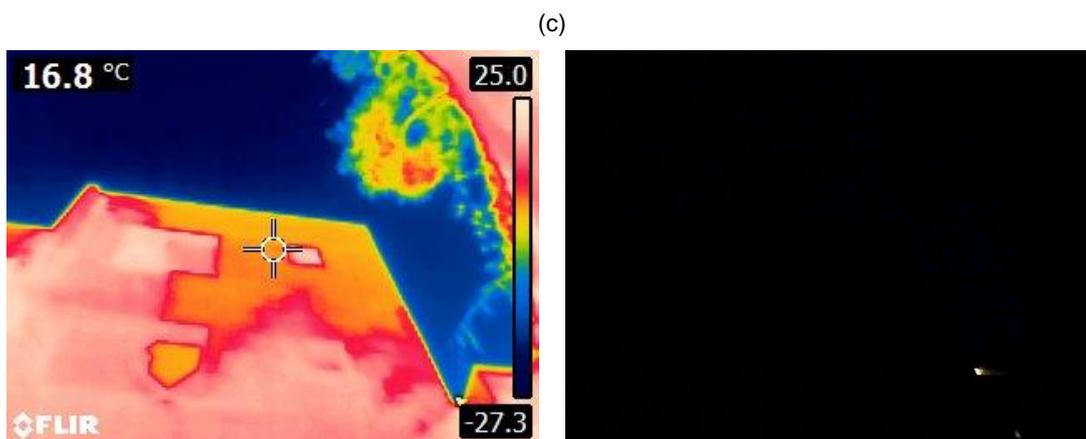


Figura 35 - Interferência da sombra na termografia. Registros realizados às (a) 8:30; (b) 17:30 e (c) 18:15



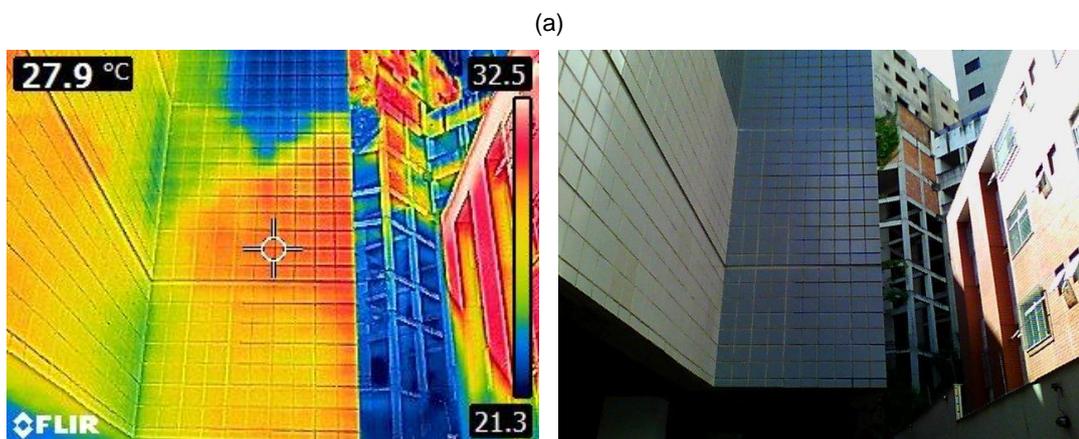


Portanto, é nítida a necessidade de capacitação do instrumentador, uma vez que, por vezes, regiões com alterações colorimétricas não são anomalias, como no caso das sombras. Para se determinar o grau de conservação da fachada é necessária uma análise detalhada de termografias, considerando as diversas variáveis e os distintos horários de investigação

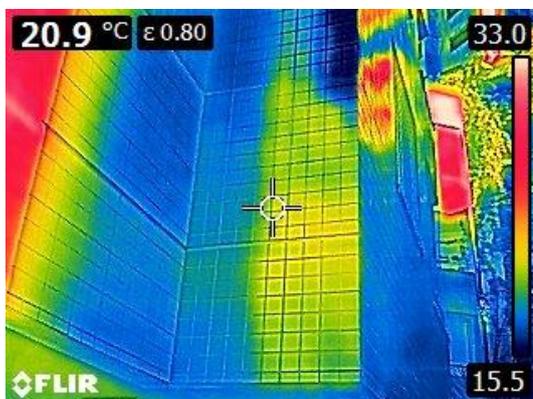
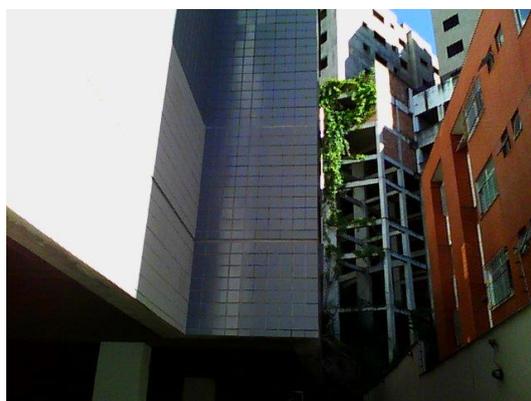
8. Verificou-se locais sobre influencia de mais de uma interferência, isto é, que sobre a superfície incide, simultaneamente, sombra e reflexão (Figura 36). Nesse contexto, observou-se que apenas a análise das imagens não permitia resultado conclusivo.

Portanto, neste caso, empregou-se o teste a percussão, o que possibilitou constatar que parte da região estava com som cavo (Figura 36-d), identificando, assim, falha de aderência do revestimento do local.

Figura 36 - Registros térmicos inconclusivos necessitando de investigação noturna. Fotografias tomadas (a) às 14:00 horas, (b) às 8:00 horas e (c) às 17:30 horas



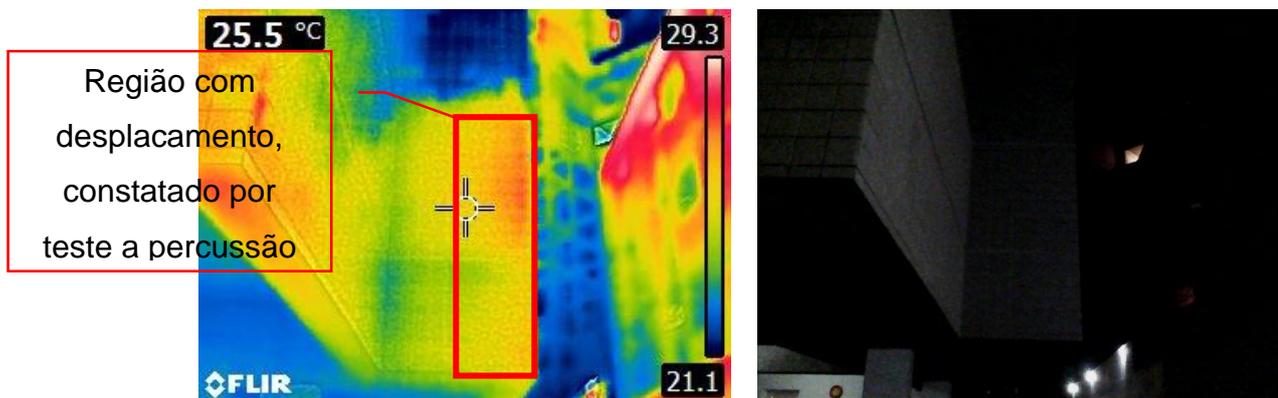
(b)



(c)



(d)



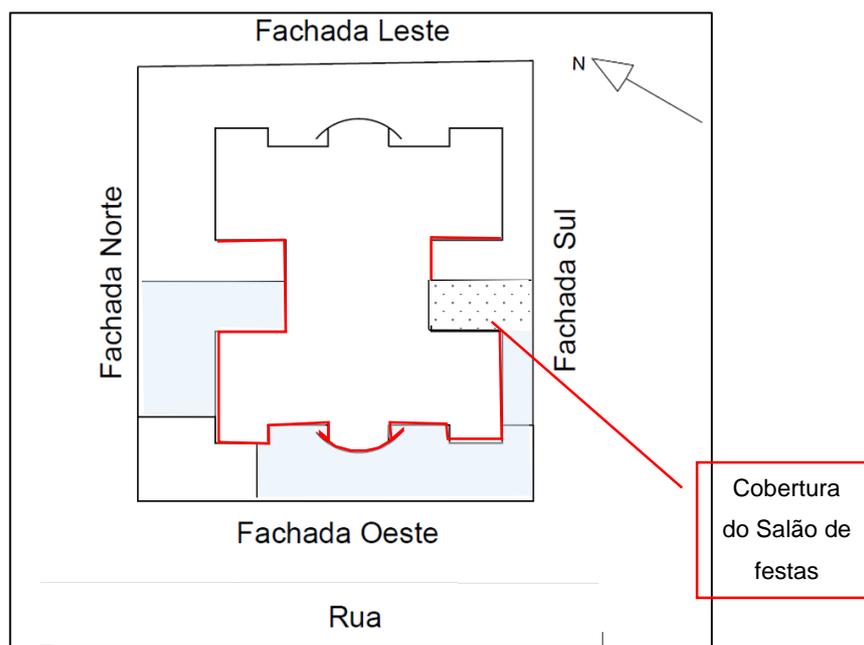
Em regiões que a análise térmica demonstra-se inconclusiva, como esta, depende-se de técnicas complementares para uma determinação assertiva do grau de conservação da região da fachada. O ensaio a percussão apresentou-se como a técnica complementar mais viável para a demanda.

6.1.2 Edificação 02

Edifício multifamiliar, com mais de 20 anos, localizado em Belo Horizonte/MG. A edificação é composta por um subsolo utilizado como garagem, um pavimento térreo com vagas de garagem, portaria, salão de festas e dois apartamentos, bem como quatro pavimentos com quatro unidades privativas cada.

As fachadas norte e sul desta edificação são revestidas por textura e a fachada oeste e leste são revestidas em material cerâmico e pedra natural. A planta da edificação, com a identificação das fachadas de acordo com a localização geográfica estão apresentadas na Figura 37.

Figura 37 - Localização geográfica da edificação 01

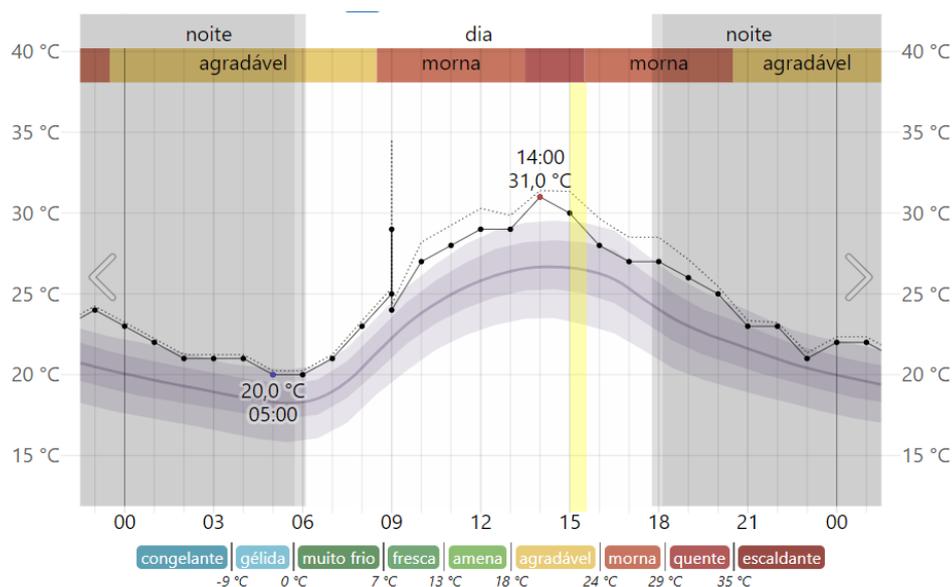


O ensaio abrangeu a fachada oeste e trechos das fachadas norte e sul (delineado em vermelho na Figura 37). Não foi possível realizar a termografia em todo o perímetro da edificação, pois nos fundos do prédio são áreas privativas das quais não foi possível o acesso. Além disso a região do salão de festas continha cobertura (hachura pontilhada, Figura 37), impossibilitando a visada de parte da fachada sul.

Foram realizados seis ensaios nesta edificação.

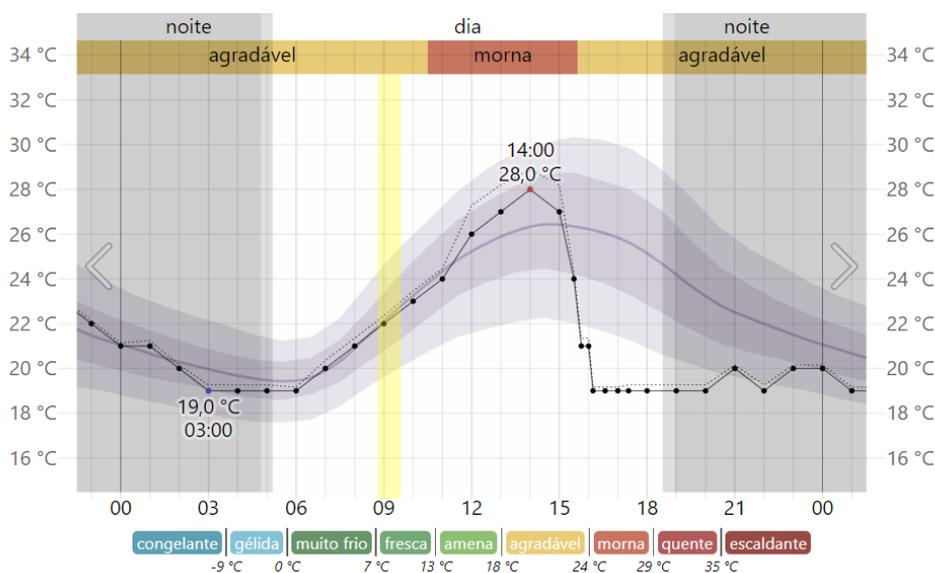
A primeira vistoria ocorreu no dia 13.04.2022, entre 15:00 e 15:30. Neste período a fachada iniciava o processo de resfriamento, após o ambiente aquecer 11° C desde o nascer do sol, conforme Figura 38.

Figura 38 - Temperaturas medidas em 13 de abril de 2022⁹



Posteriormente, realizou-se a inspeção da fachada em 17.12.2022, entre às 8:50 e 9:30, durante o intervalo de aquecimento do ambiente, isto é, de acordo com a Figura 39, a região já havia aquecido cerca de 3°C, mais de 30% da amplitude total de aquecimento daquele dia de 9°C (28°C – 19°C).

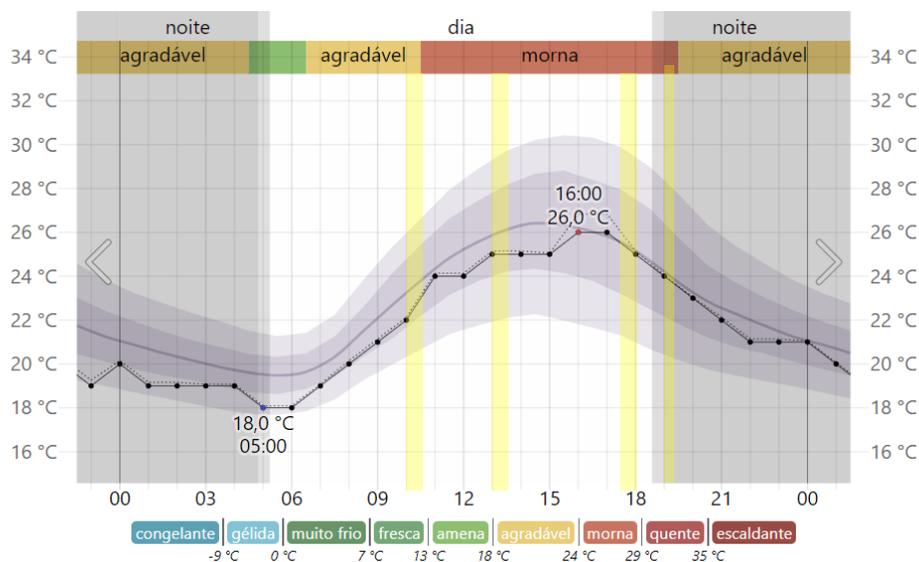
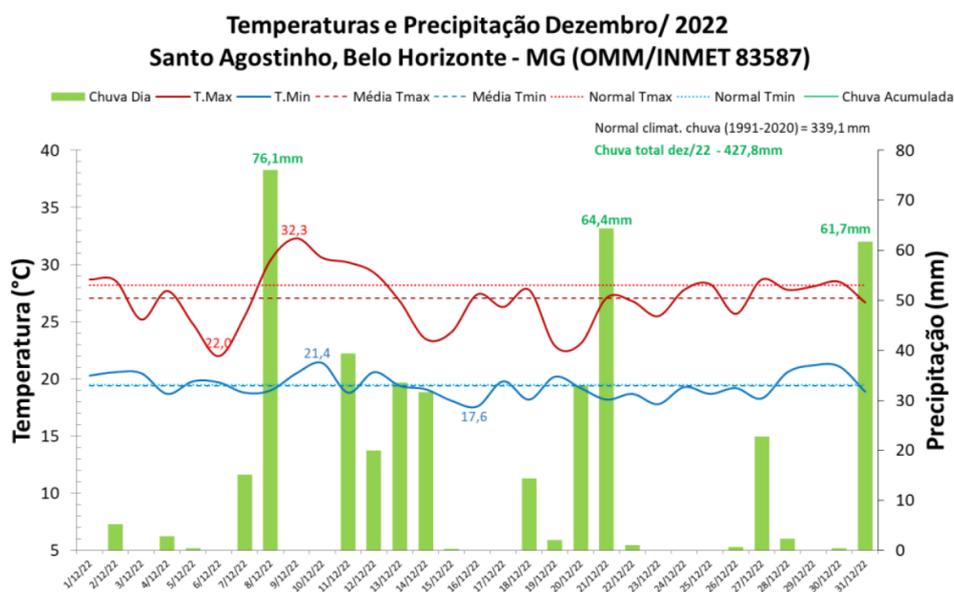
⁹ Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/h/d/30612/2022/4/13/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-hist%C3%B3ricas-em-quarta-feira-13-de-abril-de-2022-em-Belo-Horizonte-Brasil>. Acesso em: 03 de janeiro de 2023

Figura 39 - Temperaturas medidas em 17 de dezembro de 2022¹⁰

Em sequência, quatro ensaios foram desenvolvidos no dia 22.12.2022, sendo executados entre às 10:00 e 10:30, período de aquecimento, com elevação de 4°C desde o amanhecer; entre às 13:00 e 13:30 período em que houve estabilidade da temperatura após elevação de 7°C de temperatura desde o nascer do sol; entre às 17:30 e 18:00, início do período de resfriamento, com alteração de 0,5°C em relação a temperatura máxima; e, por fim, entre às 19:00 e 19:15, após o poente, em intervalo de resfriamento, já tendo esfriado 2°C (Figura 40).

Ressalta-se que os ensaios realizados em 22.12.2022 ocorreram após longo período chuvoso na cidade de Belo Horizonte (Figura 41). Neste dia, houve precipitação no final da manhã/início da tarde, de modo que o ensaio realizado as 13:00 ocorreu imediatamente após a chuva. Ao longo da tarde o clima alterou, a chuva cessou e com o surgimento do sol continuou o aquecimento do ambiente até as 16:00 (Figura 40).

¹⁰ Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/h/d/30612/2022/12/17/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-hist%C3%B3ricas-em-s%C3%A1bado-17-de-dezembro-de-2022-em-Belo-Horizonte-Brasil>. Acesso em: 03 de janeiro de 2023

Figura 40 - Temperaturas medidas em 22 de dezembro de 2022¹¹Figura 41 - Precipitação em dezembro de 2022¹²

¹¹ Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/h/d/30612/2022/12/22/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-hist%C3%B3ricas-em-quinta-feira-22-de-dezembro-de-2022-em-Belo-Horizonte-Brasil>. Acesso em: 03 de janeiro de 2023

¹² Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/BALAN%C3%87O_DEZEMBRO_BH-2022_2.pdf. Acesso em: 22 de janeiro de 2023

Durante os ensaios nesta edificação e após análises dos termogramas:

1. Observou-se por meio das imagens termográficas o contorno do sistema estrutural sob a fachada, tanto naquelas revestidas por textura, quanto naquelas com revestimento cerâmico em alguns horários de inspeção (Figura 42 a Figura 47)

Figura 42 - Identificação do sistema estrutural 13h, fachada norte

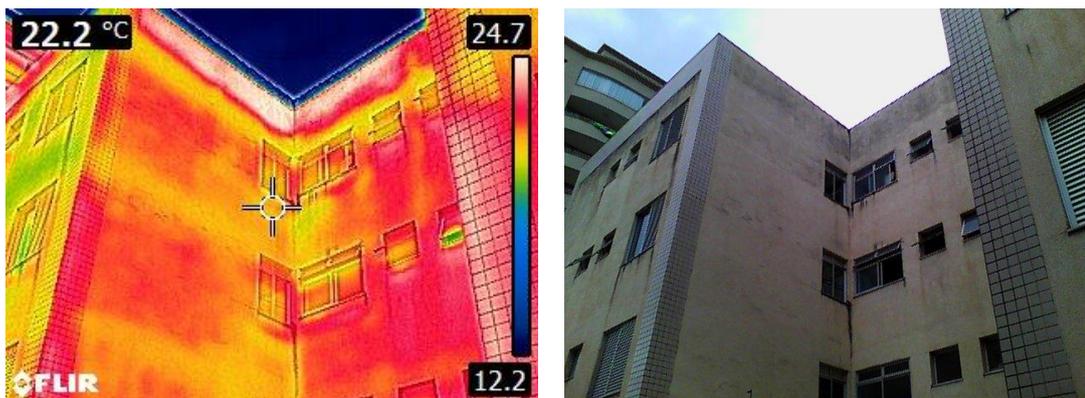


Figura 43 - Identificação do sistema estrutural 15h, fachada norte

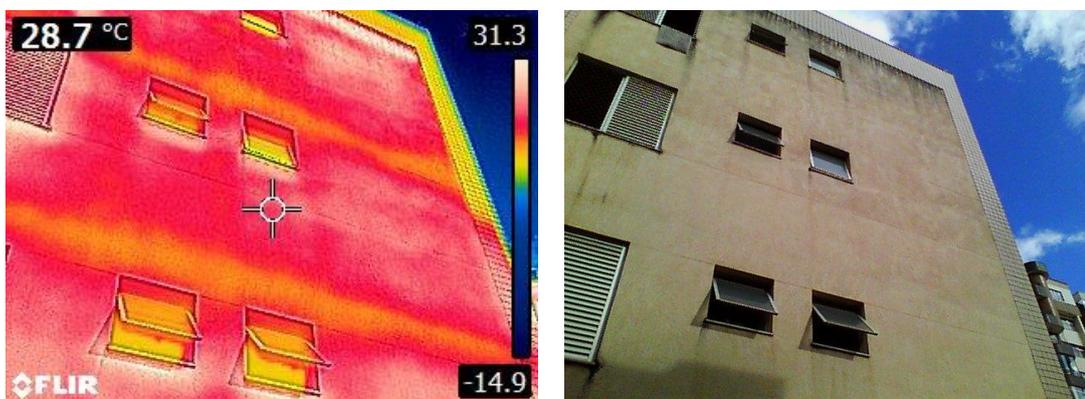


Figura 44 - Identificação do sistema estrutural 17:30h, fachada norte

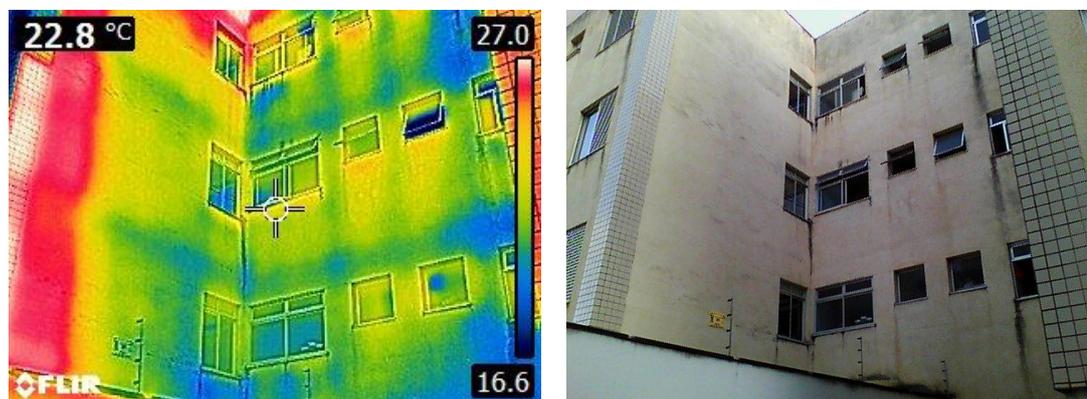


Figura 45 - Identificação do sistema estrutural 19h, fachada norte

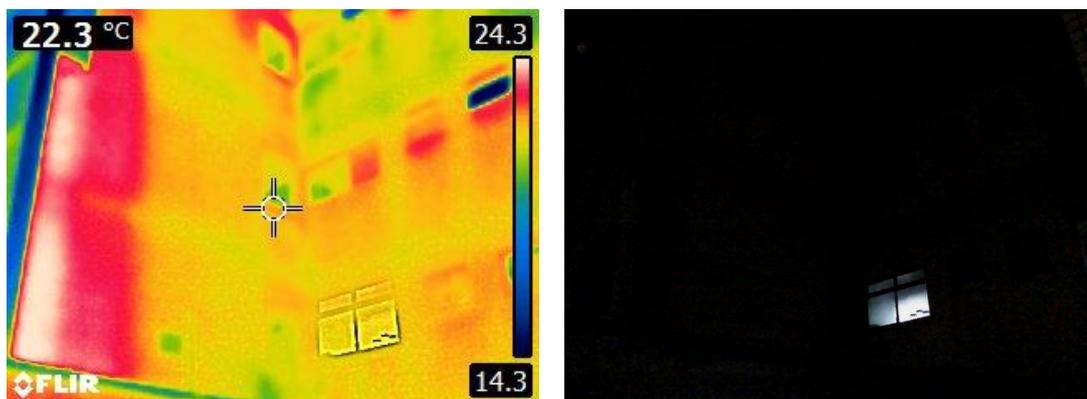


Figura 46 - Identificação do sistema estrutural 13h, fachada oeste

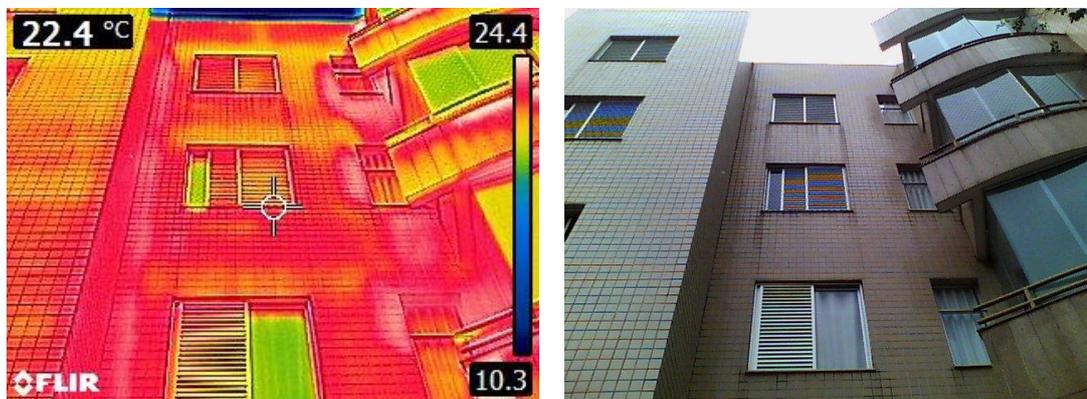


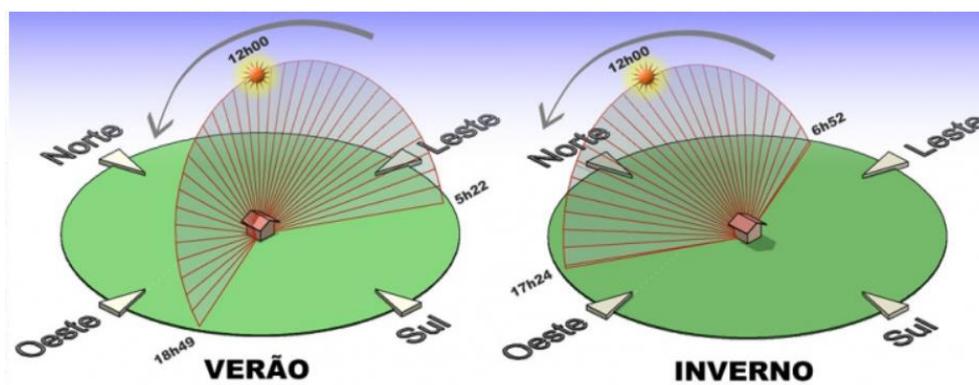
Figura 47 - Identificação do sistema estrutural 17:30h



Nesta edificação, em particular, verificou-se que o sistema estrutural tornou-se termicamente visível apenas nas vistorias realizadas na parte da tarde e anoitecer, sendo constatadas nas fachadas norte e oeste.

É certo que no hemisfério sul, as fachadas voltadas para leste, norte e oeste no verão recebem maior incidência solar, conforme ilustração da orientação solar (Figura 48).

Figura 48 - Orientação solar, hemisfério sul¹³



Portanto, constata-se que as fachadas que exibirem o contorno do sistema estrutural são exatamente aquelas que recebem maior incidência solar.

Dessa forma, como os materiais são diferentes entre o sistema estrutural e o de vedação (concreto armado e alvenaria, respectivamente), a partir da condutibilidade e da velocidade de aquecimento distintos, é possível identificar os sistemas sob a superfície da fachada.

2. Constatou-se interferências nos termogramas como sombras, reflexões do céu e registro térmico de fonte de calor artificial (lâmpada) nas fachadas.

Na fachada oeste, revestida em cerâmica e em pedra natural, foi possível observar diversas interferências por reflexão, principalmente provenientes do reflexo do céu e das árvores, que também atuam como sombras (Figura 49 a Figura 53).

¹³ Disponível em: <https://dtabach.com.br/arquitetura/artigo/face-norte-mitos-verdades>. Acesso em: 03 de março de 2023

Figura 49 - Reflexão das árvores e do céu na vistoria da fachada oeste as 8:50

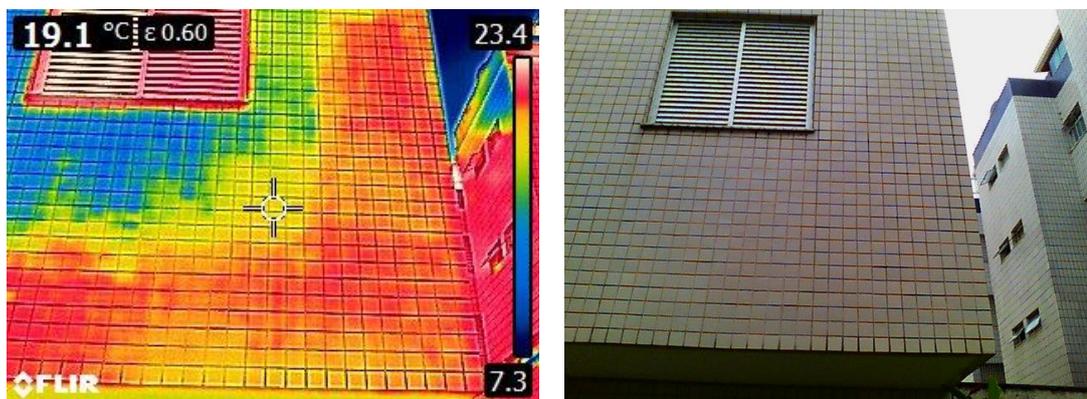


Figura 50 - Reflexão das árvores e do céu na vistoria da fachada oeste as 8:50

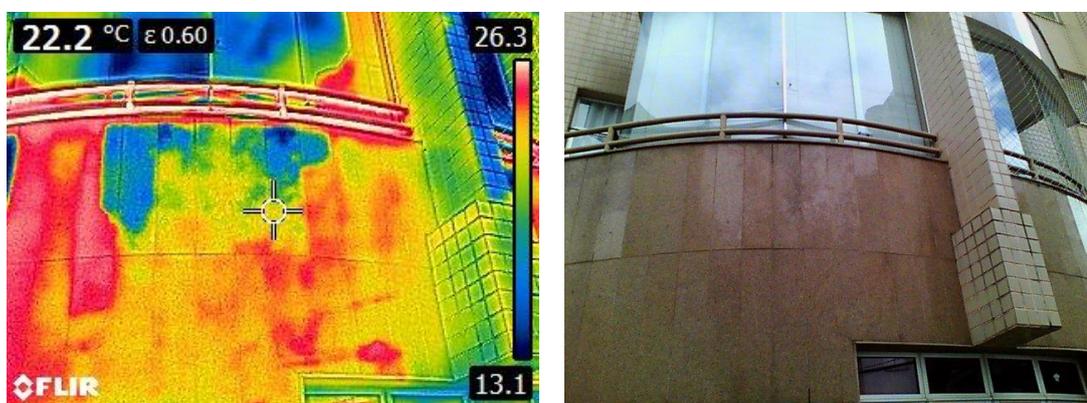


Figura 51 - Reflexão das árvores e do céu na vistoria da fachada oeste as 10:00

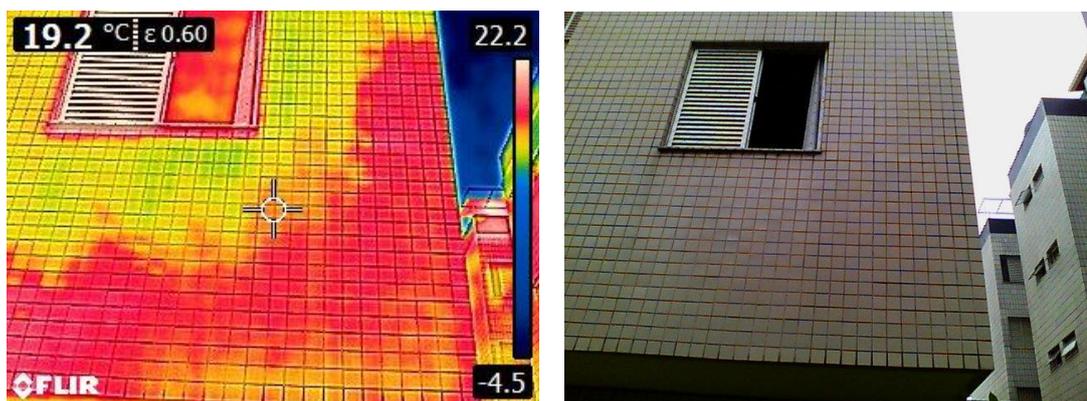


Figura 52 - Reflexão das árvores e do céu na vistoria da fachada oeste as 17:30

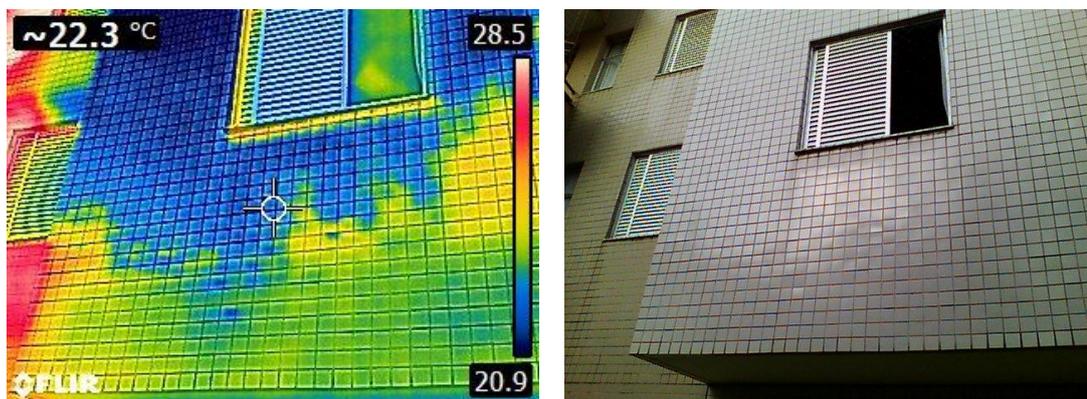
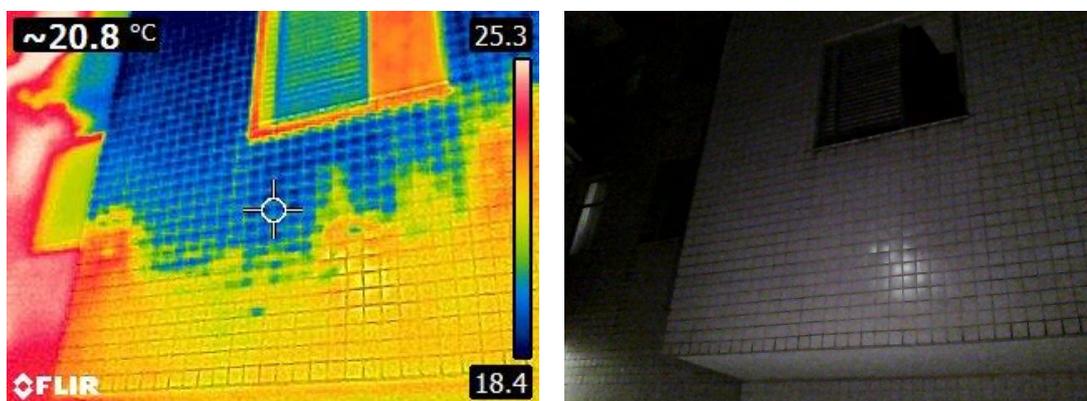


Figura 53 - Reflexão das árvores na vistoria da fachada oeste as 19:00



As interferências como reflexão das arvores foram identificadas por meio, principalmente, do formato da imagem observada no termograma, em que reflete de modo claro a silhueta das folhagens.

Por sua vez, identificou-se o reflexo do céu, pela alta variação de temperatura, exibindo-se na superfície da fachada com temperaturas mais baixas que o contexto.

Ademais, não foram observadas reflexões nas fachadas norte e sul, revestidas com textura. É certo que texturas apresentam alta emissividade e conseqüentemente, baixa reflexão, o que justifica a ausência de reflexões nestas fachadas.

Não obstante, constatou-se que as fachadas, independente do tipo de revestimento, apresentaram interferência proveniente das sombras geradas pela própria edificação (Figura 54 a Figura 56).

Figura 54 - Interferência em razão do sombreamento causado pela própria edificação (as 8:50h)

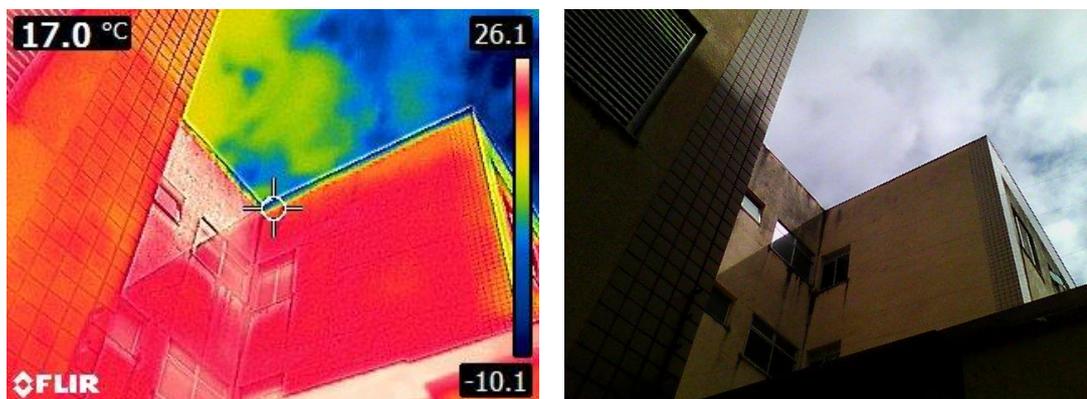


Figura 55 - Interferência em razão do sombreamento causado pela própria edificação (as 8:50h)

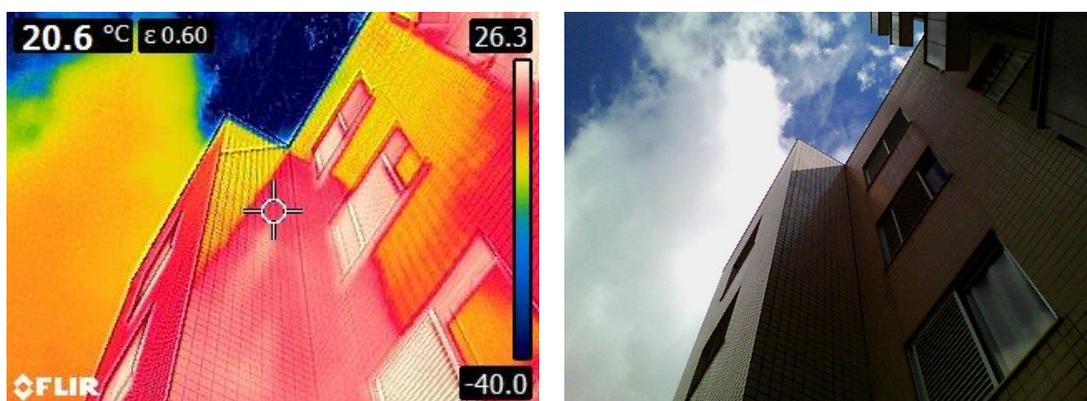
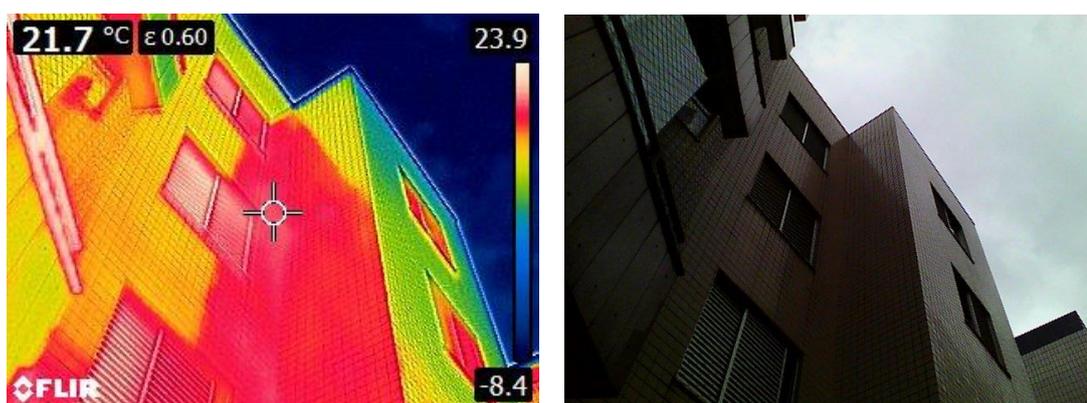
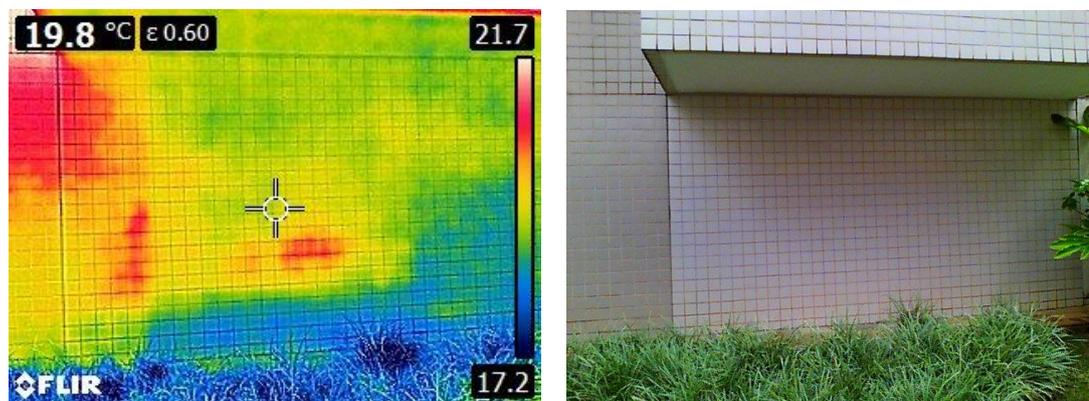


Figura 56 - Interferência em razão do sombreamento causado pela própria edificação (10:00h)



Por fim, verificou-se registro térmico de fonte de calor artificial (lâmpada) na fachada. Durante vistoria matutina (8:50 da manhã), por meio de análise qualitativa observou-se região da fachada apresentando radiação discrepante às adjacências (Figura 57), indicando possível região de anomalia.

Figura 57 – Regiões termicamente anômalas no jardim causada por interferência externa (8:50h)



Contudo, por meio da análise dos termogramas registrados em distintos horários, observou-se que o desenho térmico não se mantinha (Figura 58 a Figura 61). Em avaliação da envoltória, constatou-se a existência de luminária no centro do jardim, a qual incidia luz direta nesta área da fachada (Figura 62).

Figura 58 – Influência da fonte de calor na fachada (10h)

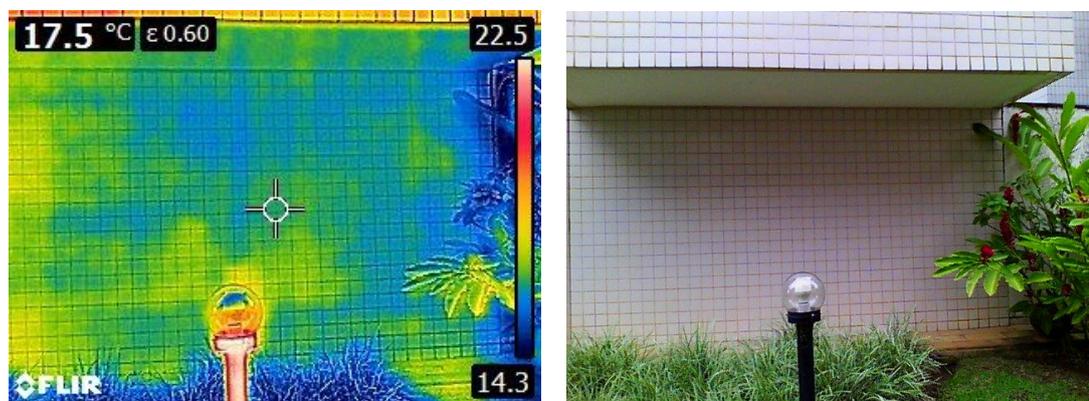


Figura 59 - Influência da fonte de calor na fachada (13h)

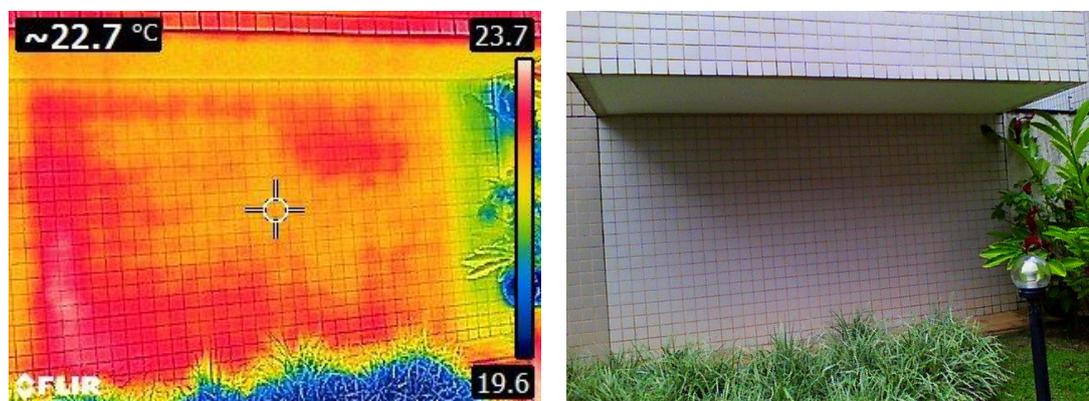


Figura 60 - Influência da fonte de calor na fachada (17:30h)

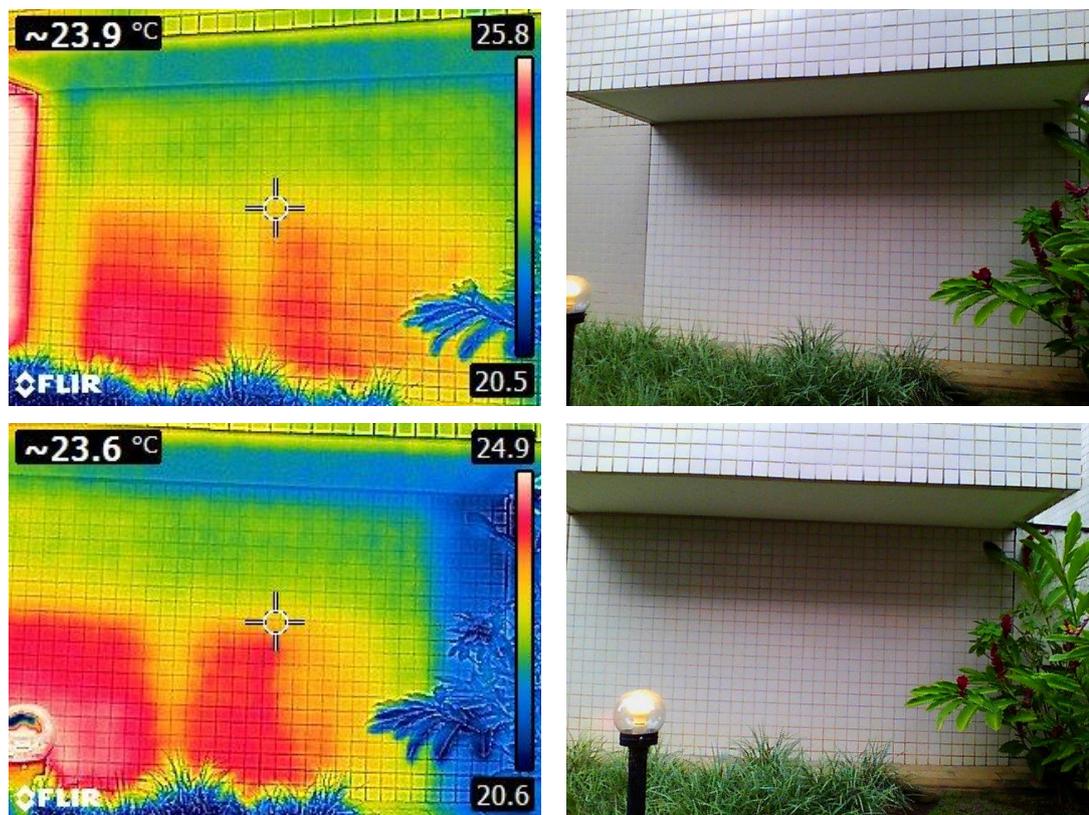


Figura 61 - Influência da fonte de calor na fachada (19h)

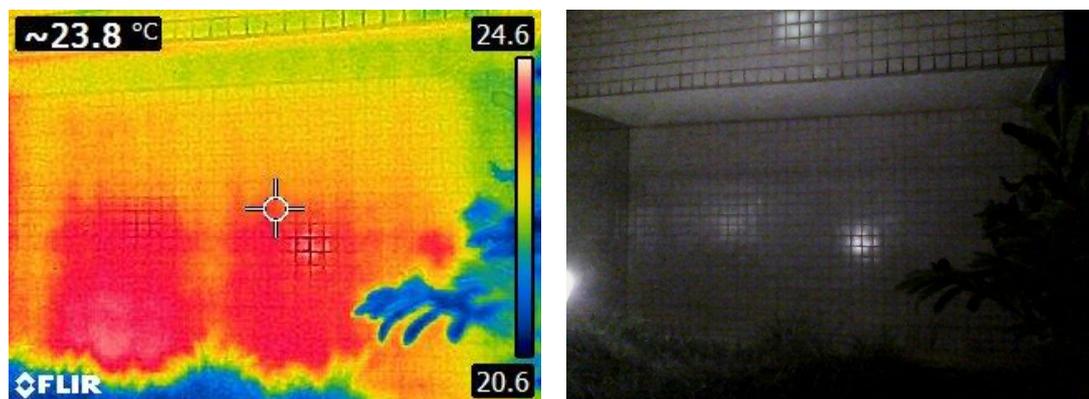


Figura 62 - Luminária no centro do jardim



Verificou-se, ainda, que no início da manhã a fachada apresentava o registro térmico da luz incidente durante todo o período noturno (Figura 57). Em contrapartida, após a incidência solar vespertina, a luminária tornou-se objeto de interferência, causando sombra na região (Figura 60 e Figura 61).

Dessa forma, constata-se a necessidade de conhecer a envoltória da edificação, uma vez que a análise dos termogramas sem estes dados, podem gerar resultados equivocados quanto ao grau de conservação da fachada.

3. Constatou-se durante as inspeções alto nível de reflexão nos materiais rochosos. Neste caso, verificou-se por meio de avaliação do contorno que o revestimento refletiu, além do céu, edificações vizinhas (Figura 63 a Figura 70).

Devido à alta reflexão, as imagens térmicas apresentaram variações colorimétricas diversas. Dessa forma, a ausência de uma análise aprofundada do contorno poderia gerar resultados equivocados.

Portanto, a fim de certificar e mitigar a influência da reflexão nos revestimentos de pedras naturais, durante o ensaio alterou-se o ângulo de visão, ou seja, registrou-se diversos termogramas do mesmo alvo a partir de posições diferentes (Figura 63 e Figura 64).

Figura 63 - Identificação de reflexão por movimentação e alteração do angulo de visada (8:50h)

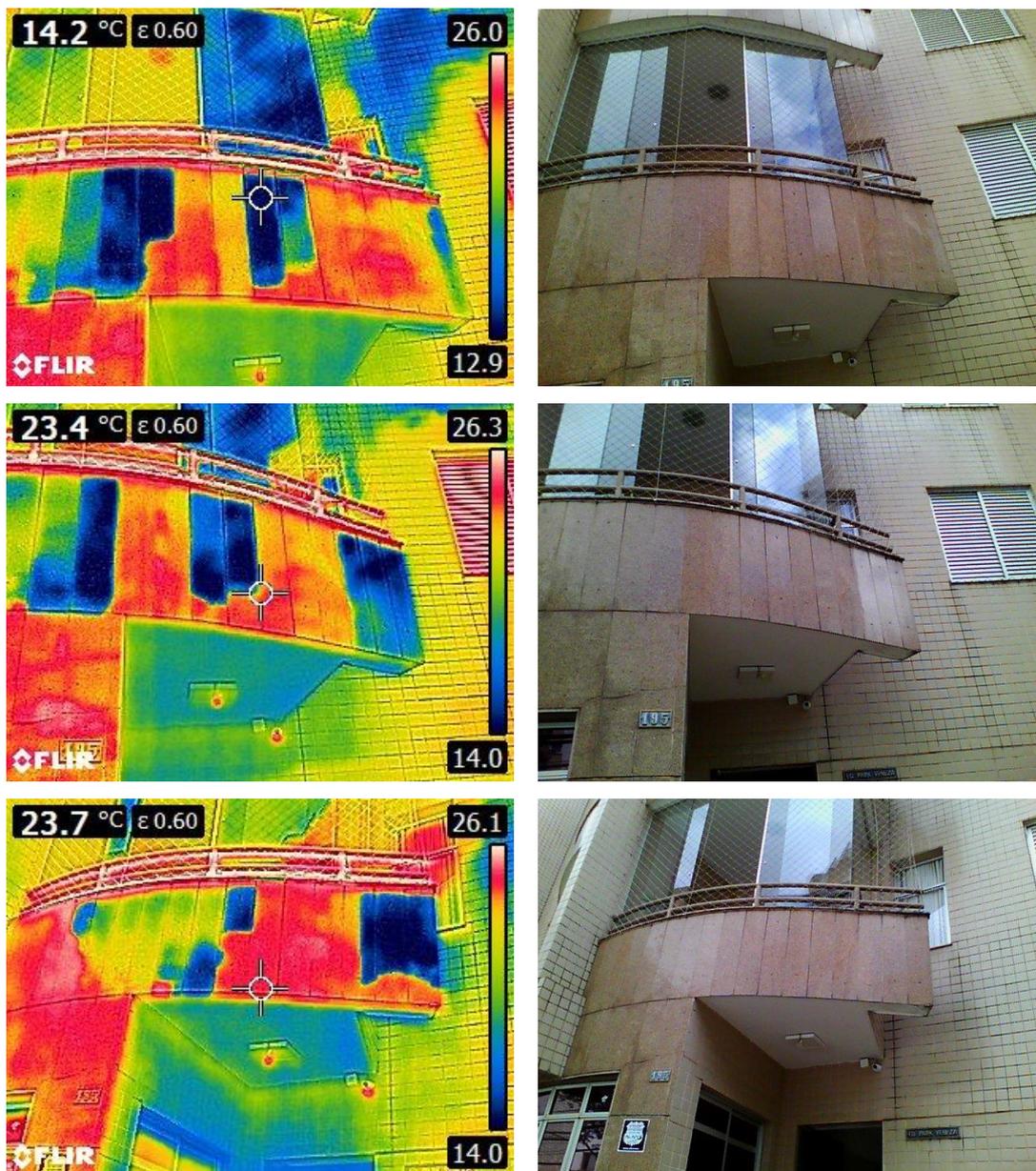
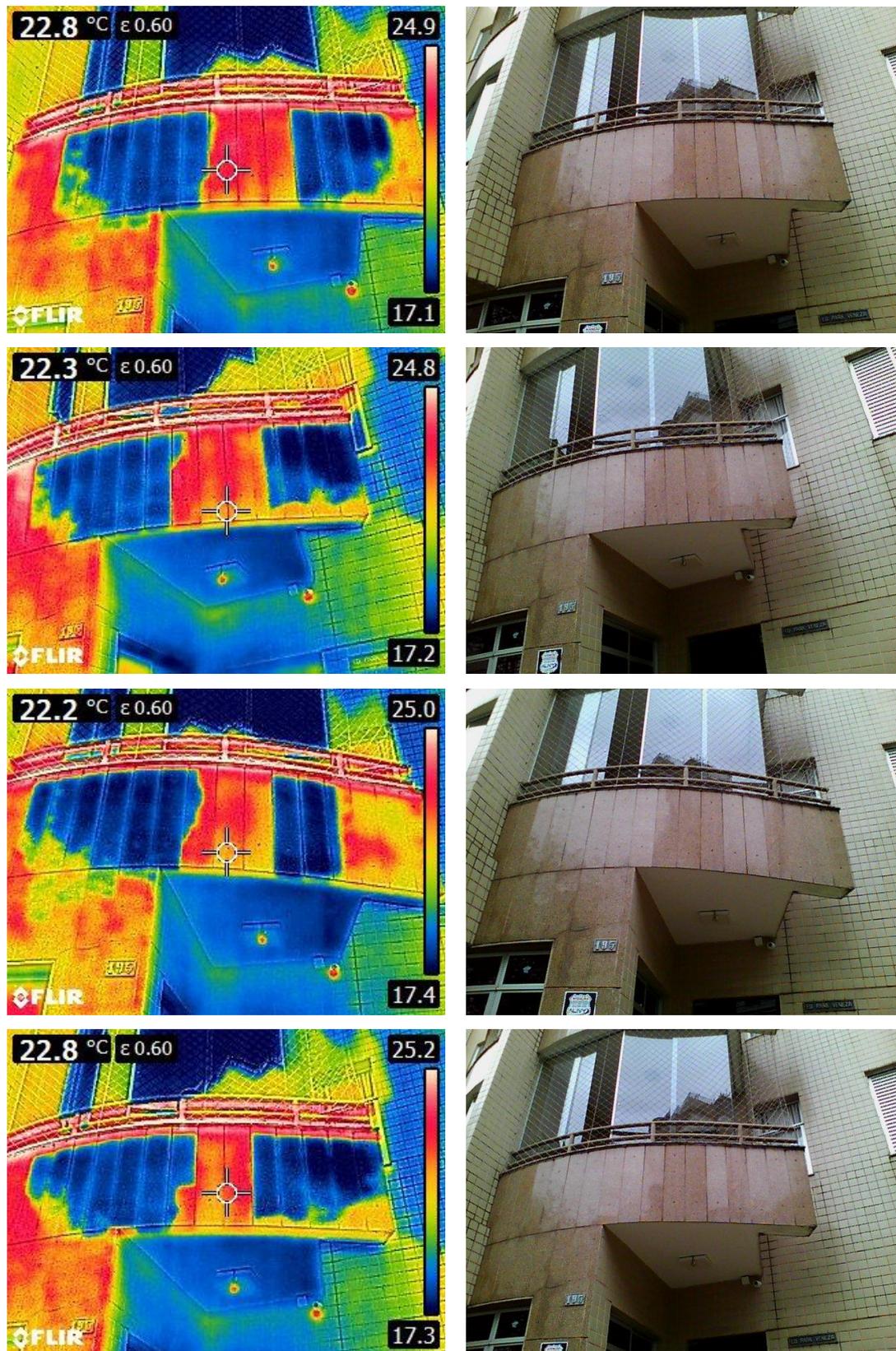


Figura 64 - Identificação de reflexão por movimentação e alteração do ângulo de visada (10h)



Dessa forma, constatou-se não se tratar de anomalias as alterações termográficas, sendo de fato reflexões, uma vez que a alteração angular movimentou os pontos anômalos da superfície.

Ainda, em contribuição a análise, verificou-se que o revestimento ornamental refletiu o céu devido à alta variação de temperatura, apresentando na superfície da fachada temperaturas mais baixas que o contexto.

Da análise das imagens, depreende-se que a sutil variação angular já é suficiente para movimentar as interferências provenientes de reflexão.

De modo análogo, identificou-se a reflexão das edificações vizinhas no revestimento ornamental da fachada oeste (Figura 65 a Figura 70). Para tanto, a observação do contorno que a edificação estava envolvida foi fundamental para a determinação do estado de conservação da fachada.

Nesse caso como o céu também estava sendo refletido, a reflexão das edificações foi registrada como região mais aquecida, ocasionando a falsa sensação de ser uma manifestação patológica, como deslocamento.

No entanto, a partir da análise dos termogramas tomados em momentos distintos do dia, bem como a variação angular, somados ao exame da imagem digital gerada simultaneamente a termográfica, comprovou-se tratar de reflexão da edificação vizinha.

Observou-se que o registro termográfico se manteve durante o início da noite (Figura 69 e Figura 70).

Figura 65 – Identificação de reflexão por alteração angular e exame da imagem digital (8:30)

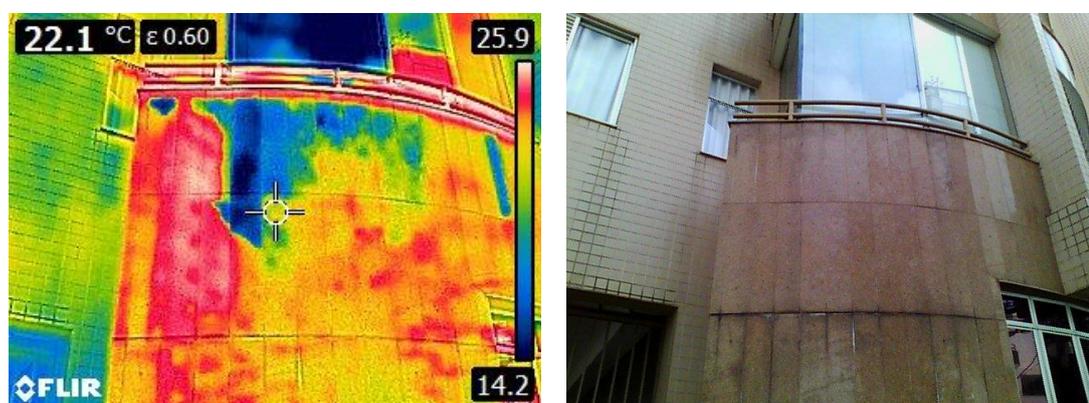
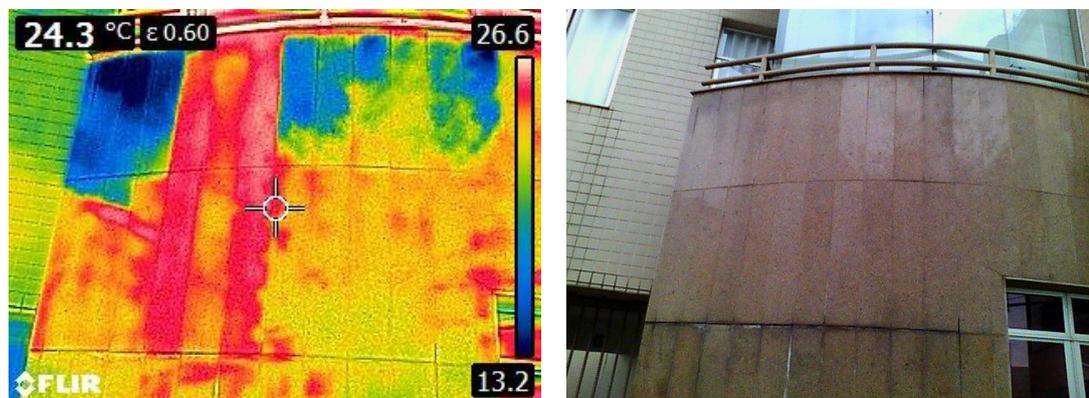


Figura 66 - Identificação de reflexão por alteração angular e exame da imagem digital (10:00)

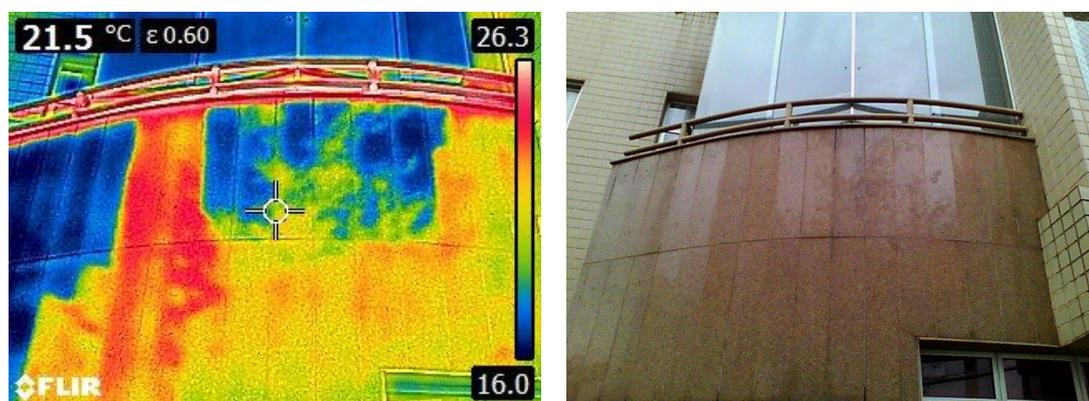


Figura 67 - Identificação de reflexão por alteração angular e exame da imagem digital (13:00)

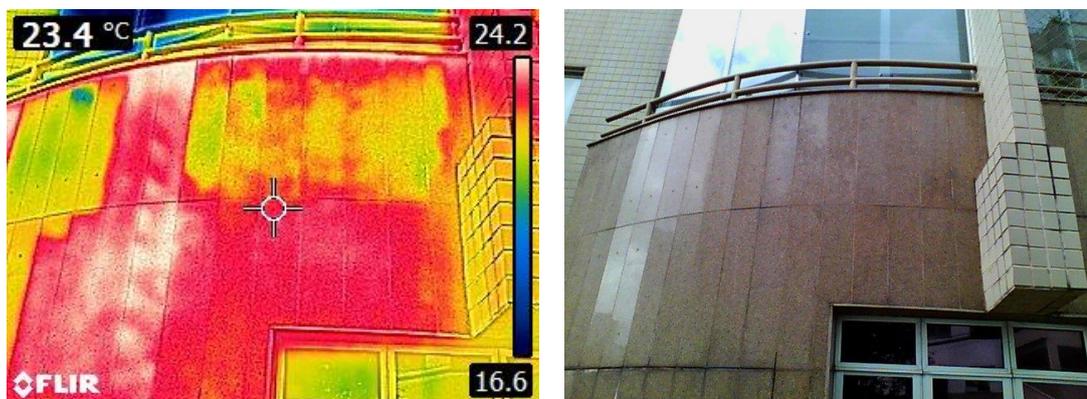


Figura 68 - Identificação de reflexão por alteração angular e exame da imagem digital (17:30)

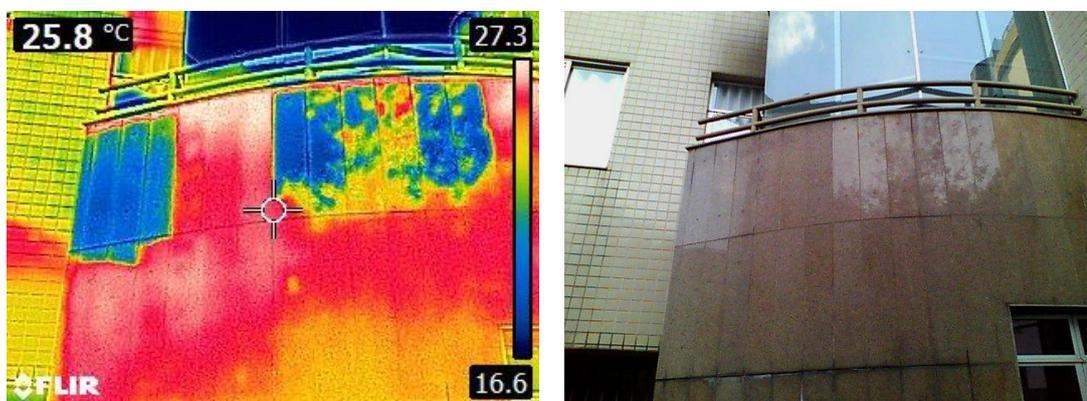


Figura 69 - Identificação de reflexão por alteração angular e exame da imagem digital (19:00)

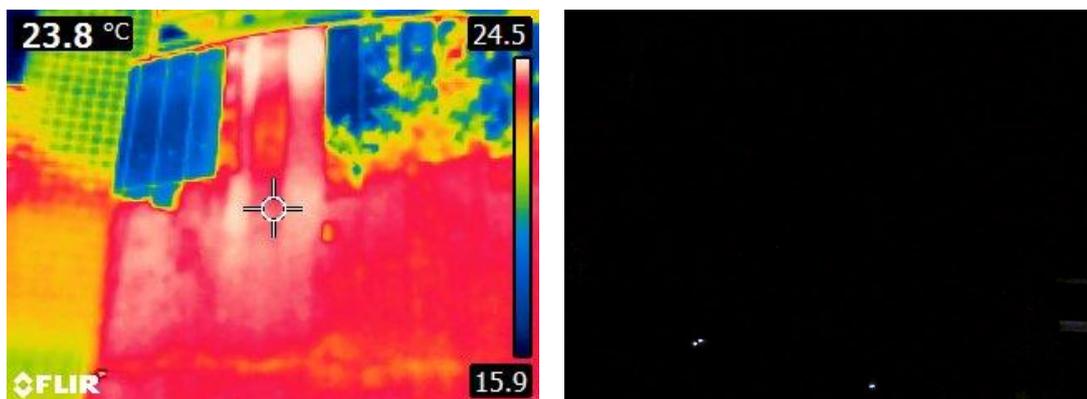
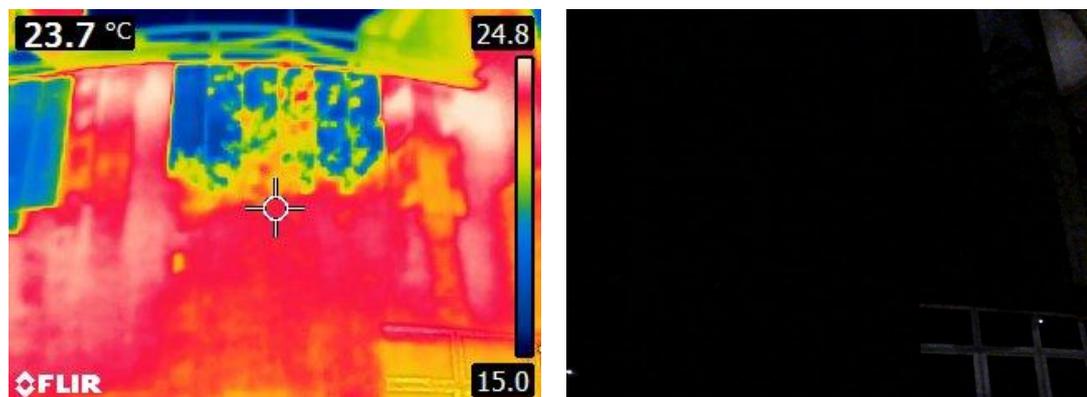


Figura 70 - Identificação de reflexão por alteração angular e exame da imagem digital (19:00)



Portanto, notou-se que a reflexão em revestimentos cerâmicos e naturais são recorrentes e um desafio a ser vencido durante a inspeção de fachada. Dessa forma, a análise de um termograma deve ser realizada considerando todos os fatores influenciantes, como o tipo de material da superfície, o microclima e a envoltória da edificação, para que seja identificado o real estado de conservação da edificação.

4. Constatou-se a interferência de manchas/sujeiras nos registros térmicos, uma vez que causaram alteração de coloração entre a região com acúmulo de sujeira e as áreas adjacentes (Figura 71 a Figura 76).

Para tanto, a análise considerou as diversas termografias executadas no mesmo local, em horários distintos, bem como a diferença de cor e, por conseguinte, a emissividade da superfície.

Dessa forma, identificou-se que a região de mancha/sujeira, permaneceu mais quente, independente do momento do dia (período de aquecimento ou resfriamento). Desconsiderando, então, possível princípio de deslocamento de revestimento ou infiltração oculta.

Figura 71 – Manchas na fachada norte alterando o termograma (8:50)

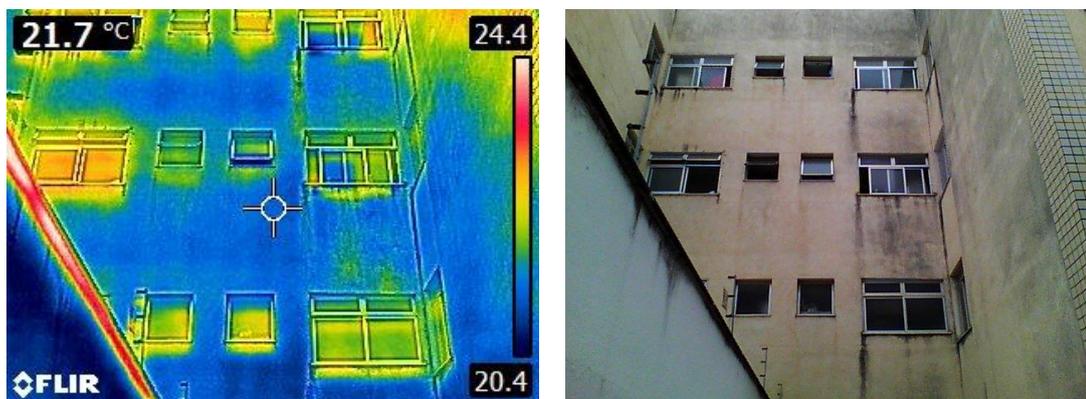


Figura 72 - Manchas na fachada norte alterando o termograma (10:00)



Figura 73 - Manchas na fachada norte alterando o termograma (13:00)

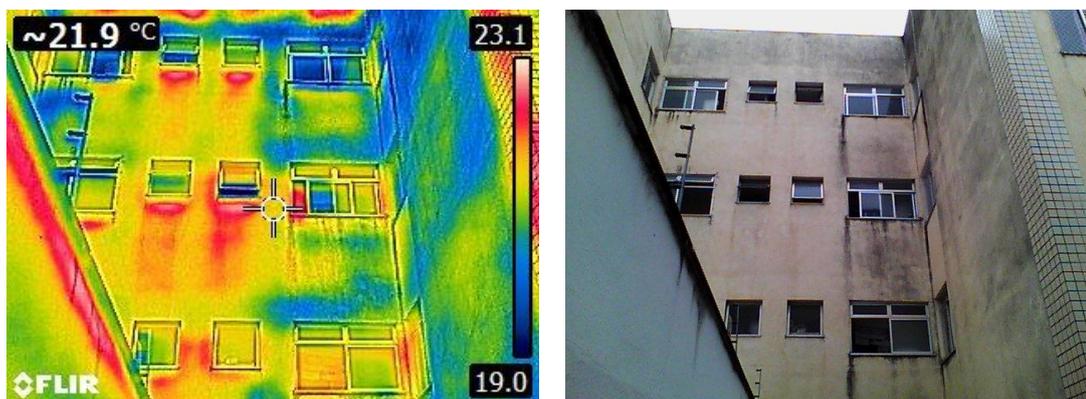


Figura 74 - Manchas na fachada norte alterando o termograma (15:00)

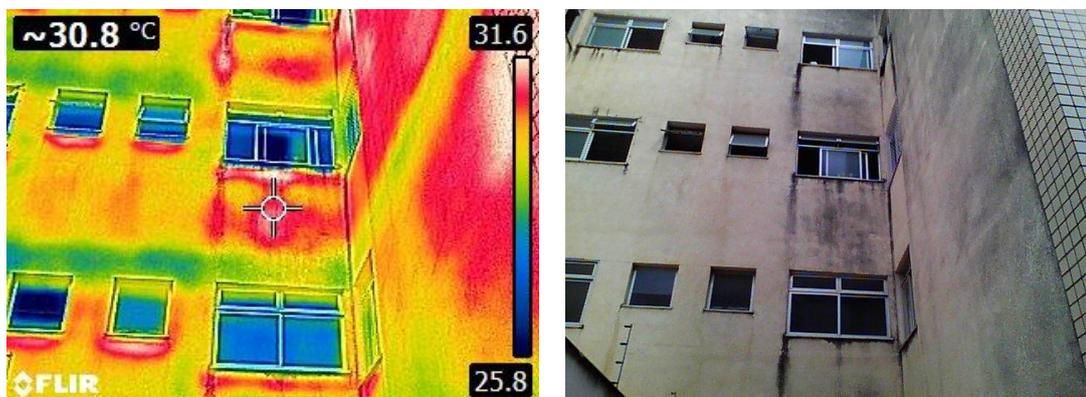
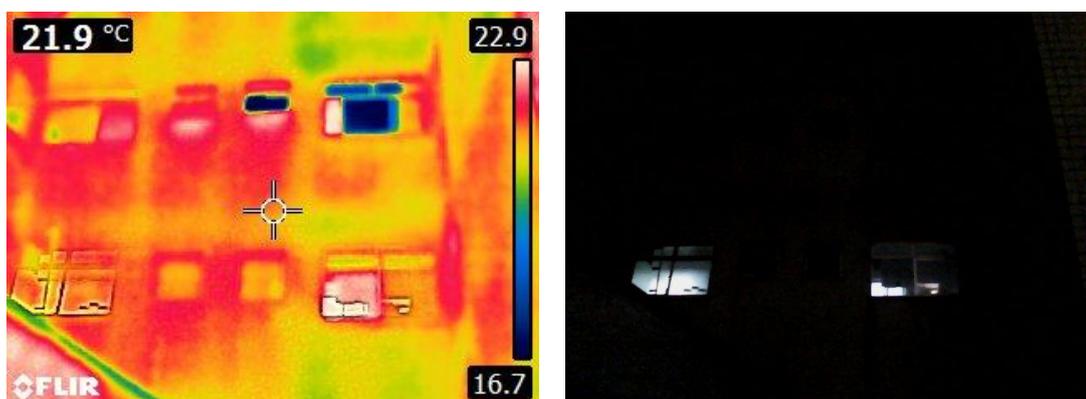


Figura 75 - Manchas na fachada norte alterando o termograma (17:30)



Figura 76 - Manchas na fachada norte alterando o termograma (19:00)



Adicionalmente, identificou-se durante vistoria noturna, momento em que as cores não possuíam tanto efeito na imagem termográfica, que as alterações colorimétricas localizadas nas sujeiras cessaram, contribuindo para o entendimento de que as manchas geram interferências nos termogramas, que não significam a princípio uma manifestação patológica.

Portanto, verificou-se a contribuição do ensaio noturno a fim de ratificar a análise realizada a partir das inspeções realizadas ao longo do dia.

5. Constatou-se, por meio exclusivamente da técnica da termografia, áreas com manifestações patológicas ocultas, isto é, não visíveis (Figura 77 a Figura 98). Identificou-se, infiltração no pé da fachada na região do salão de festas (Figura 77 e Figura 78); acúmulo de umidade (Figura 79 e Figura 88); princípio de deslocamento de revestimento (Figura 91 a Figura 93); e danos em razão de trinca horizontal (Figura 94 a Figura 98).

Para tanto, análise qualitativa das imagens foram realizadas, considerando os termogramas tomados em distintos horários, bem como o período de resfriamento e aquecimento do ambiente e a condutibilidade térmica dos materiais.

Para identificação da infiltração no pé da fachada na região do salão de festas (Figura 77 e Figura 78), observou-se que a mancha mais escura (região mais fria), se manteve com formato similar, nos termogramas das inspeções de 17 e 22 de dezembro de 2022. Dessa forma, inferiu-se ser infiltração por haver umidade instalada no sistema.

Figura 77 – Termograma com indicativo de infiltração na fachada oeste do salão de festas (17/12/22 às 9h)

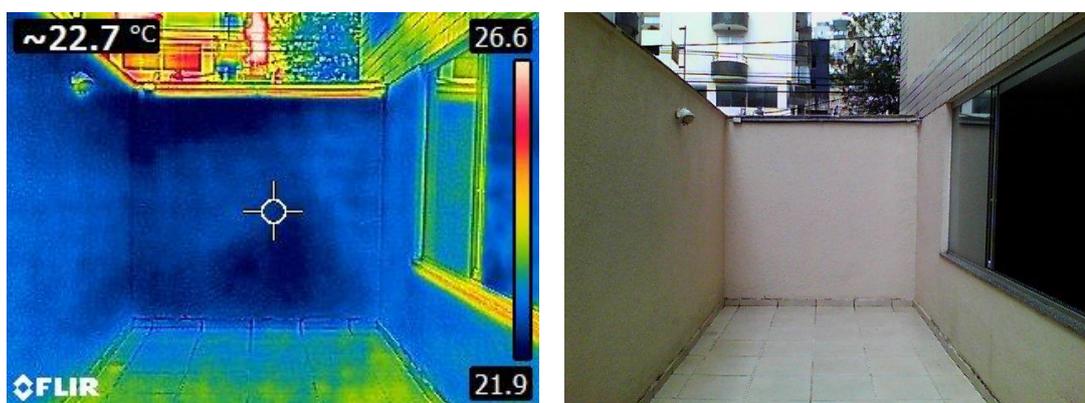


Figura 78 – Termograma com indicativo de infiltração na fachada oeste do salão de festas (22/12/22 às 10h)



As manchas mais frias também ocorreram em outras fachadas da edificação (Figura 79 a Figura 83 e Figura 84 a Figura 88). Contudo, nestes casos, depreendeu-se tratar de acúmulo de umidade.

Fato é, verificou-se nas vistorias de 22.12.2022 regiões potencialmente anômalas, uma vez que apresentavam registro térmico mais frio que as adjacências. Em análise aos termogramas, identificou-se que o formato mantinha-se estático, independente do ângulo de visão e do horário de inspeção (descartando, assim, interferência por reflexão).

Contudo, em vistoria anterior, em 17.12.2022, esta região não apresentava variação de cor tão evidente e contornada (Figura 79), indicando que o acúmulo verificado na última inspeção era recente.

Recorda-se que nos dias que antecederam a inspeção do dia 17, não houve registro de chuva, diferentemente das inspeções do dia 22, quando houve grande volume de chuva nos dias anteriores, bem como no dia.

Figura 79 – Ausência de acúmulo de umidade evidente na fachada norte (17/12/22 às 9h)

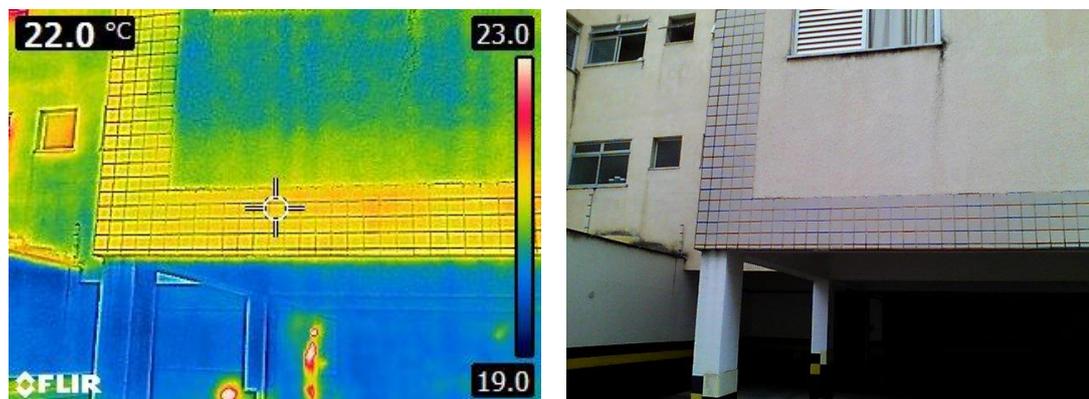
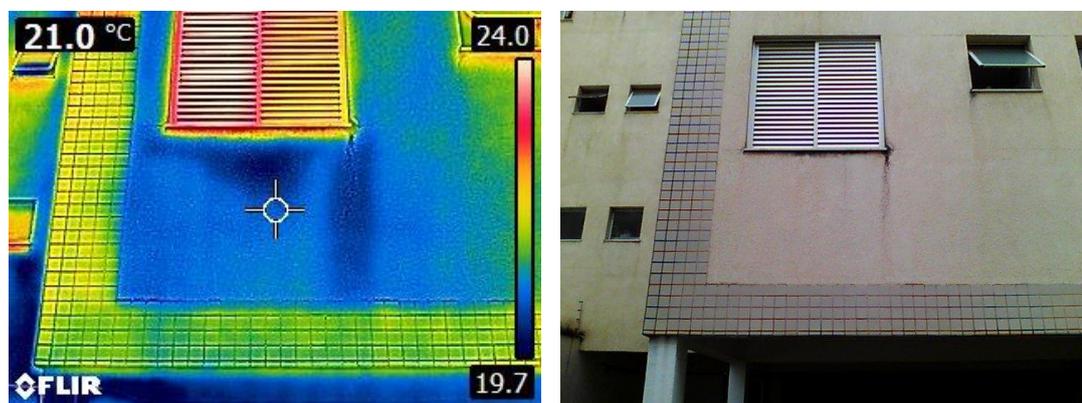


Figura 80 – Acúmulo de umidade na fachada norte (22/12/22 às 10h). (a) e (b) demonstram que a alteração de ângulo de visão não alterou o contorno da região, nem deslocou-o (a)



(b)

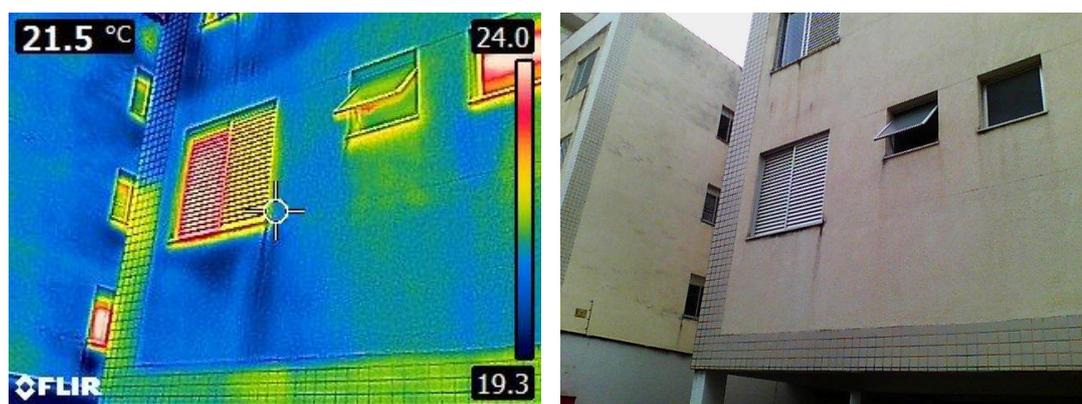


Figura 81 – Acúmulo de umidade na fachada norte (22/12/22 às 13h)

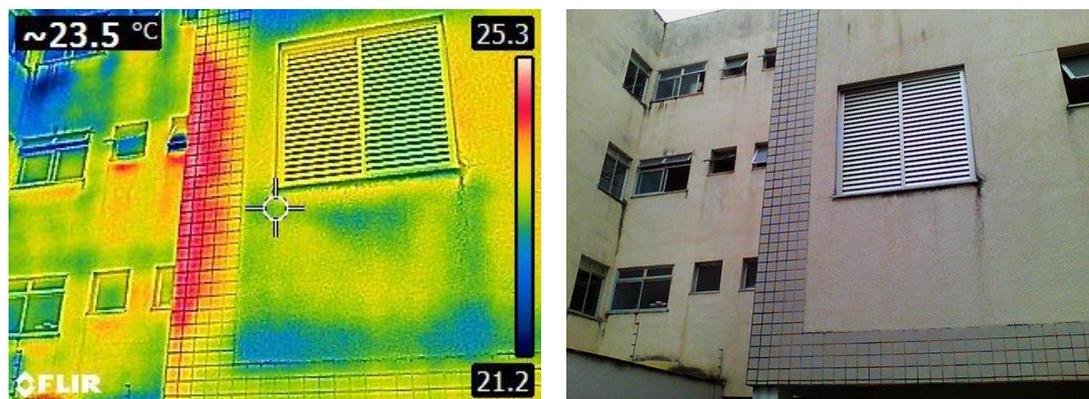


Figura 82 – Acúmulo de umidade na fachada norte (22/12/22 às 17h)

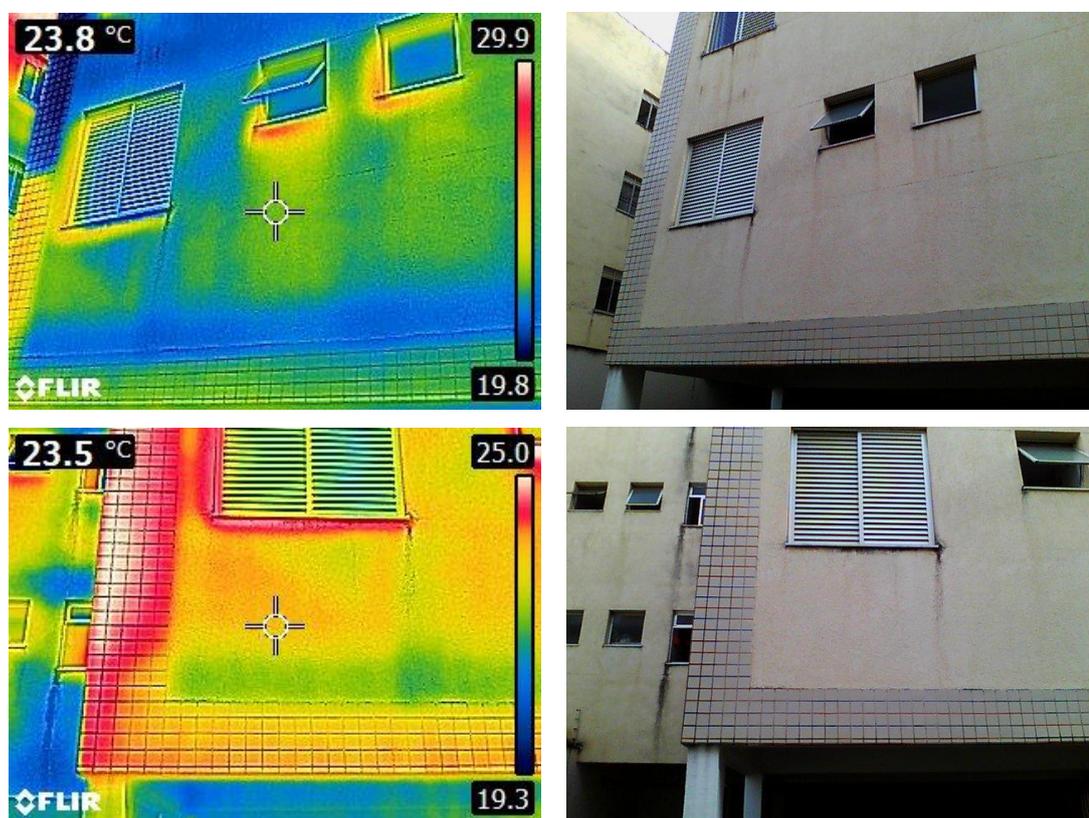


Figura 83 - Acúmulo de umidade na fachada norte (22/12/22 às 19h)

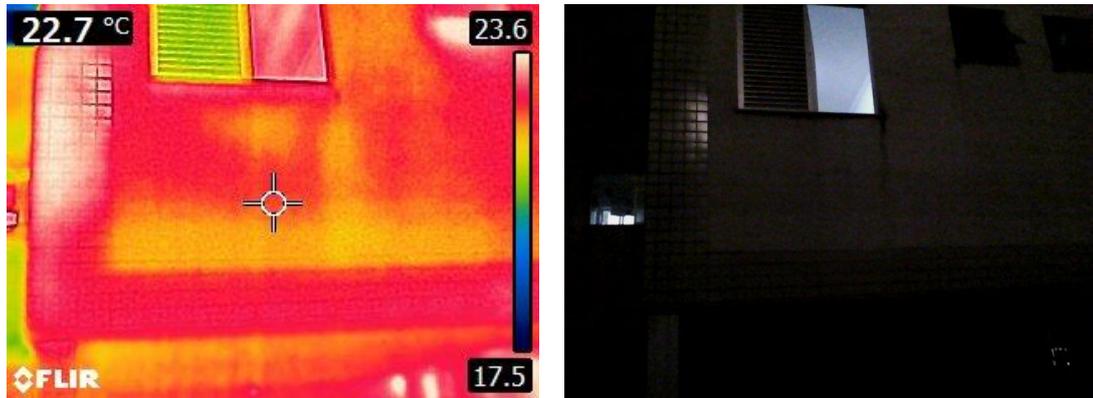


Figura 84 – Ausência de acúmulo de umidade evidente na fachada norte (17/12/22 às 9h)

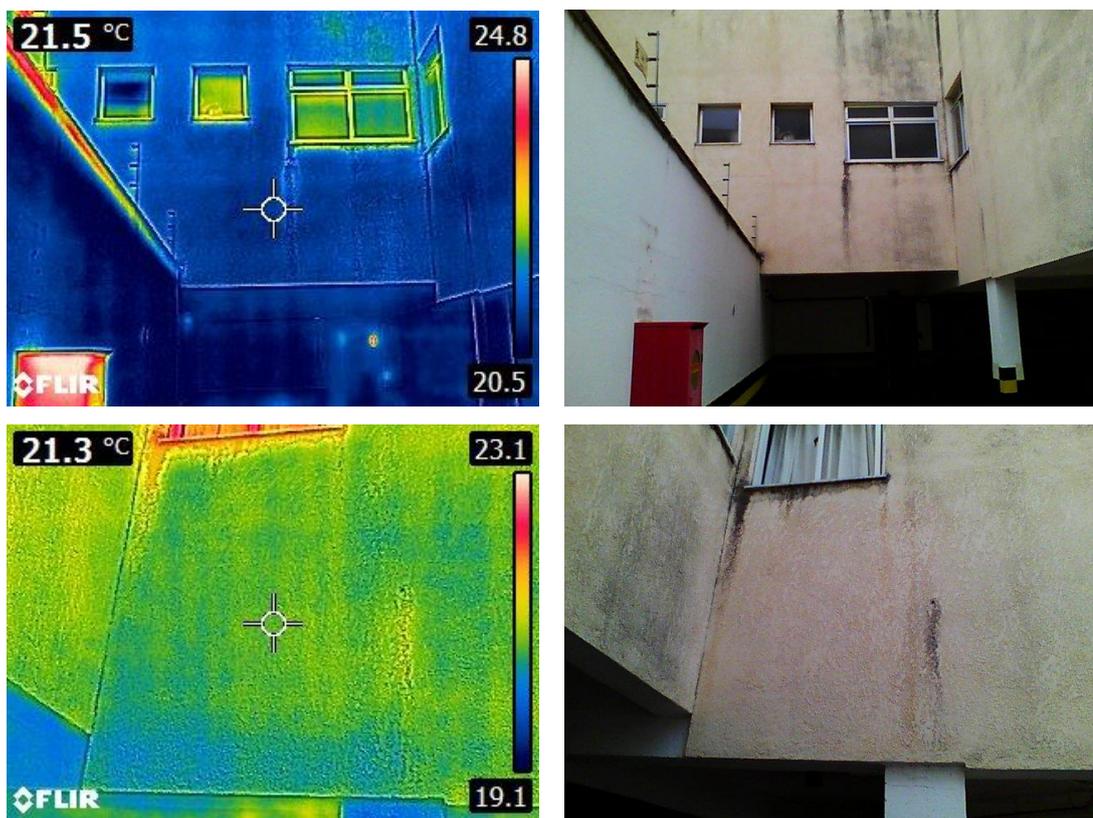


Figura 85 – Acúmulo de umidade na fachada norte (22/12/22 às 10h).

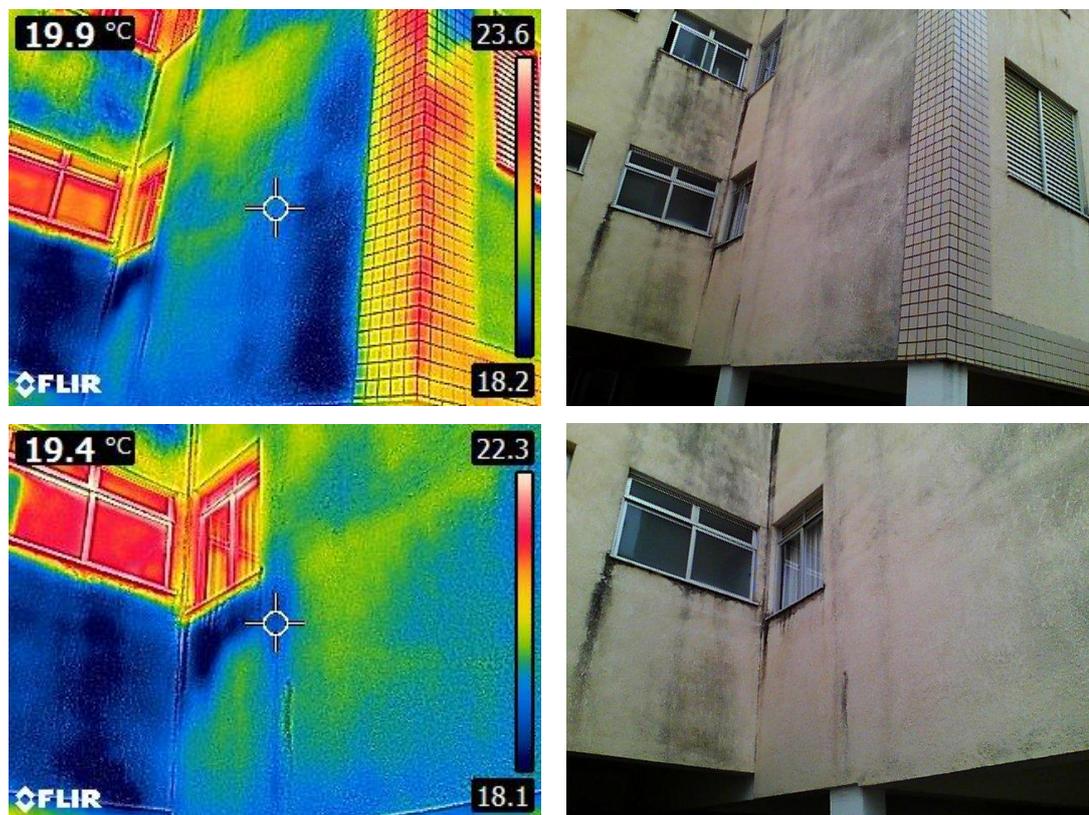


Figura 86 – Acúmulo de umidade na fachada norte (22/12/22 às 13h)

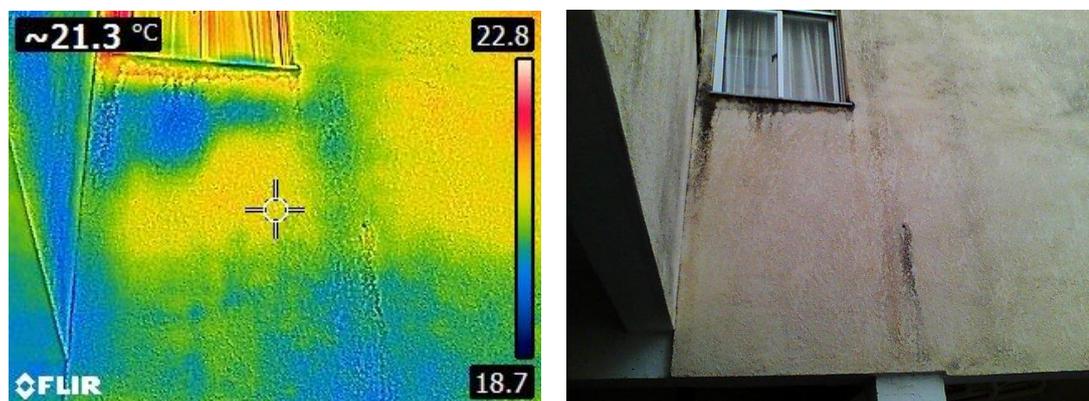


Figura 87 – Acúmulo de umidade na fachada norte (22/12/22 às 17:30h)

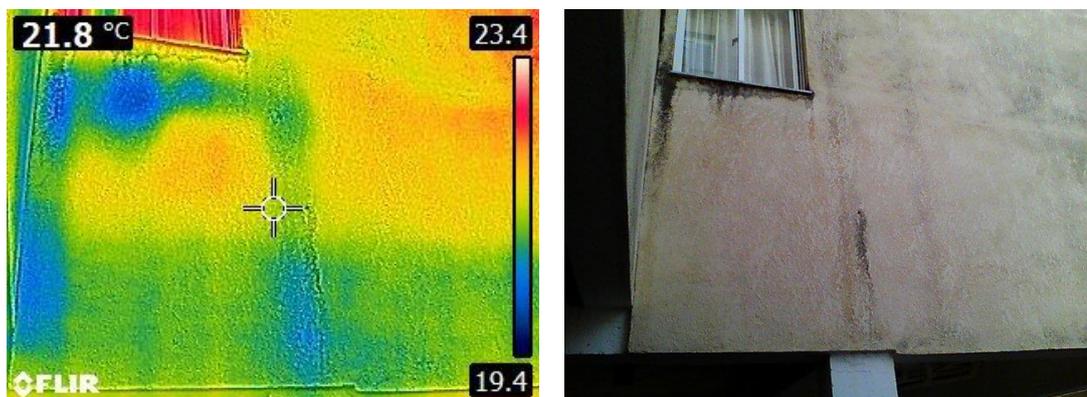
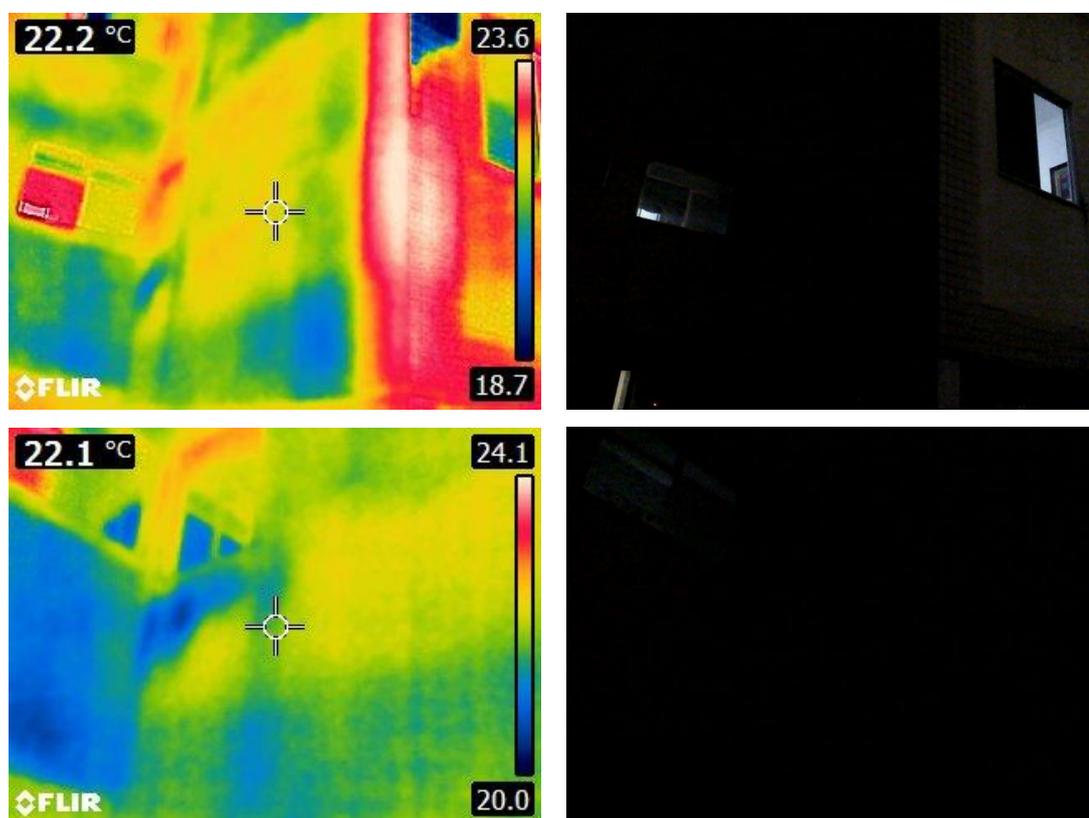


Figura 88 – Acúmulo de umidade na fachada norte (22/12/22 às 19h)



Por sua vez, o princípio de deslocamento do revestimento cerâmico foi identificado em trecho da fachada norte (Figura 91 a Figura 93).

Para tanto, analisou-se as imagens térmicas e constatou-se não se tratar de interferência por reflexão, visto que com a alteração do ângulo de visada ao alvo, o registro térmico manteve suas características principais (Figura 91).

Em sequência, verificou-se por análise qualitativa dos termogramas, que a área anômala foi expandindo com o aquecimento do ambiente. Contudo, durante o período de resfriamento esta região manteve-se mais quente.

Portanto, depreendeu-se haver um bolsão isolante entre as camadas de revestimento (ar), fazendo com que seja mais dificultosa a perda de calor neste local em relação as adjacências, caracterizando um princípio de deslocamento.

Figura 89 – Princípio de deslocamento cerâmico na fachada norte (17/12/22 às 9:00)

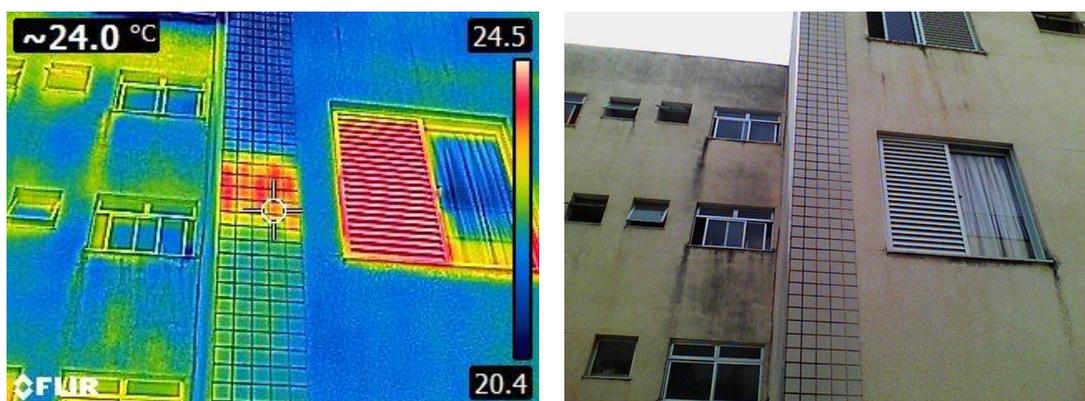


Figura 90 – Princípio de deslocamento cerâmico na fachada norte (22/12/ 22 às 10:00)

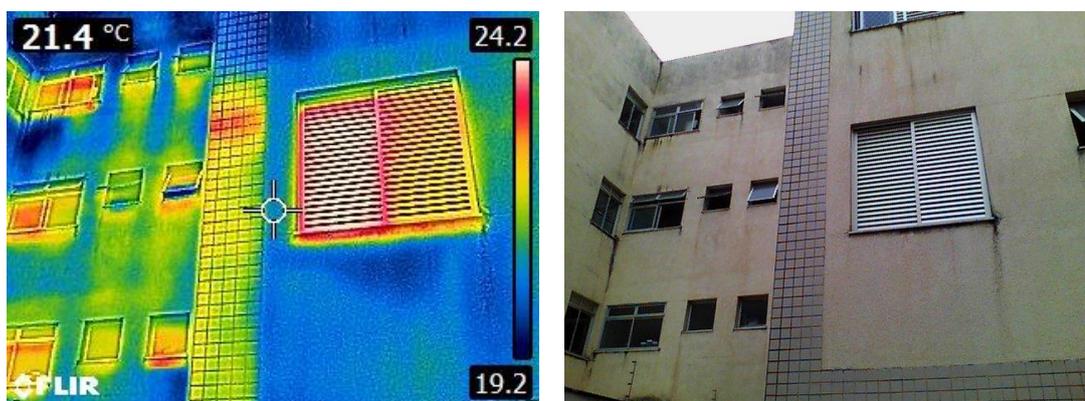


Figura 91 – Princípio de deslocamento cerâmico na fachada norte (22/12/22 às 13h).
Alteração do ângulo de visão não alterou a região anômala, desprezando-se possível interferência por reflexão

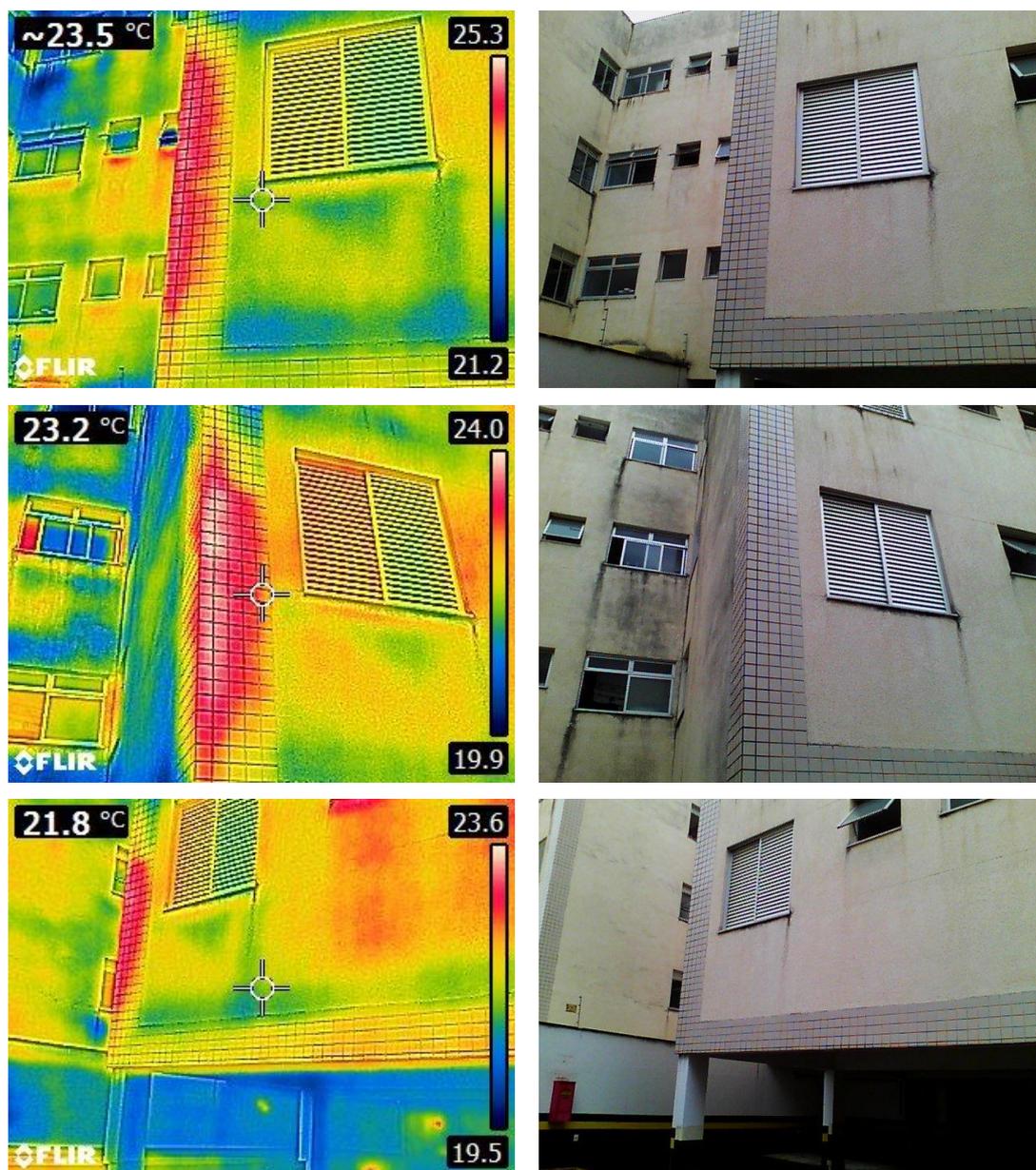


Figura 92 – Princípio de deslocamento cerâmico na fachada norte (22/12/22 às 17:30h)

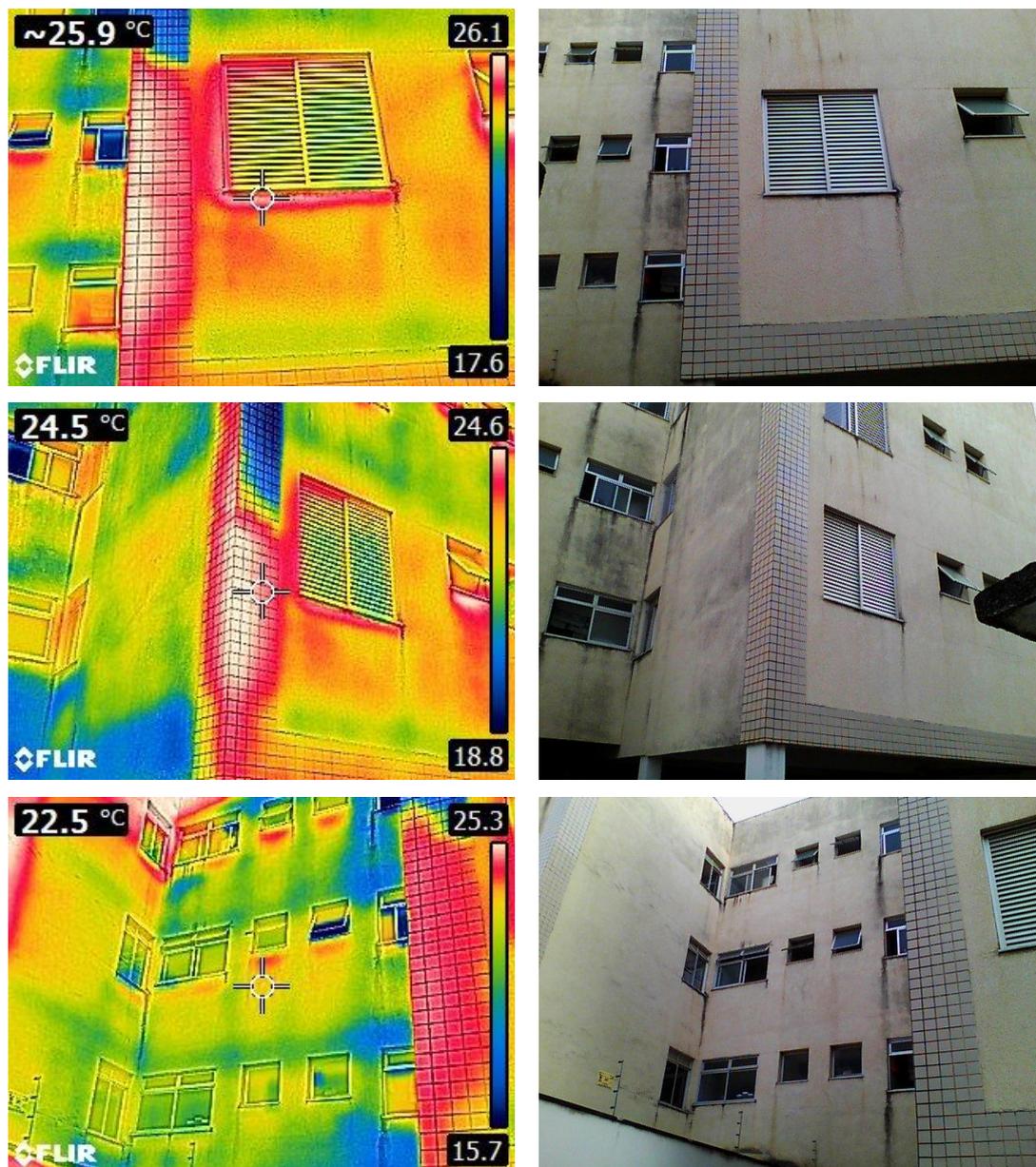
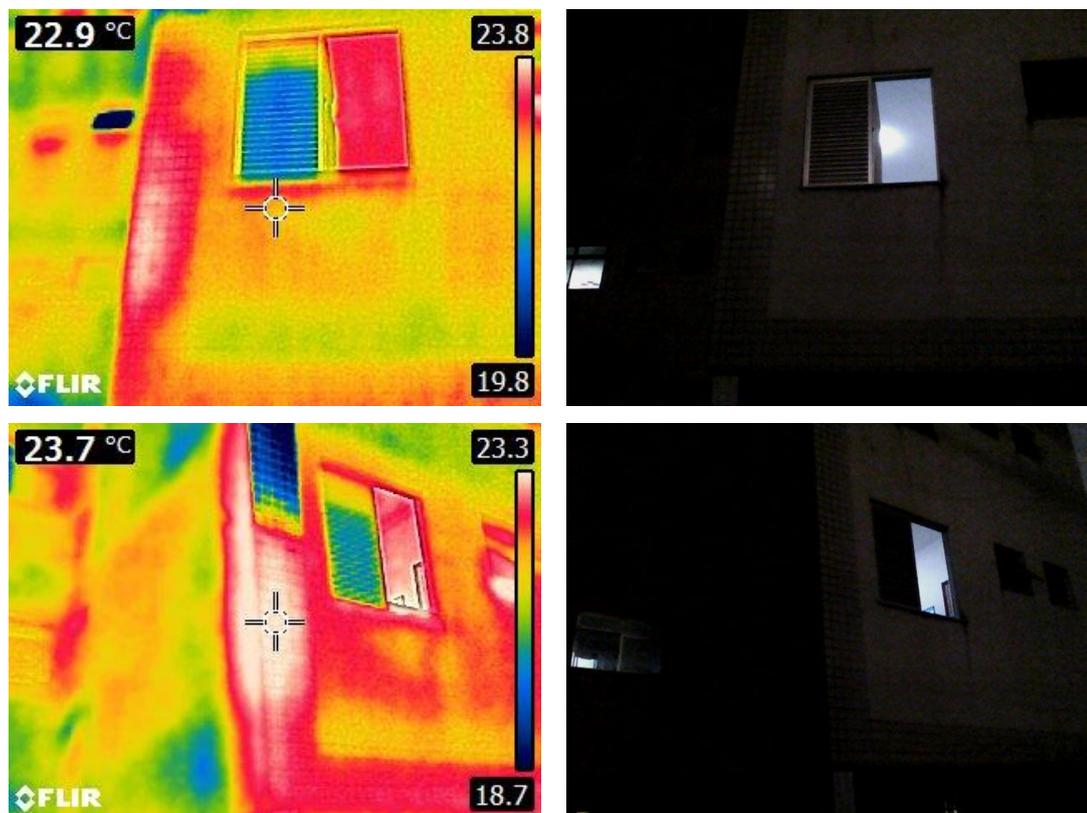


Figura 93 – Princípio de deslocamento cerâmico na fachada norte (22/12/22 às 19h)



Por fim, por meio da termografia foi possível observar os danos causados pela trinca horizontal na fachada oeste revestida com rocha ornamental (Figura 94 a Figura 98).

Por este ser um material de baixa emissividade, sua superfície sofre com as reflexões da envoltória da edificação. Dessa forma, observou-se que o estado de conservação da fachada e o grau de dano na fachada em razão da trinca foi possível identificar com mais qualidade apenas nas termografias noturnas (Figura 98).

Figura 94 - Análise de trinca horizontal termografia de 8:50h

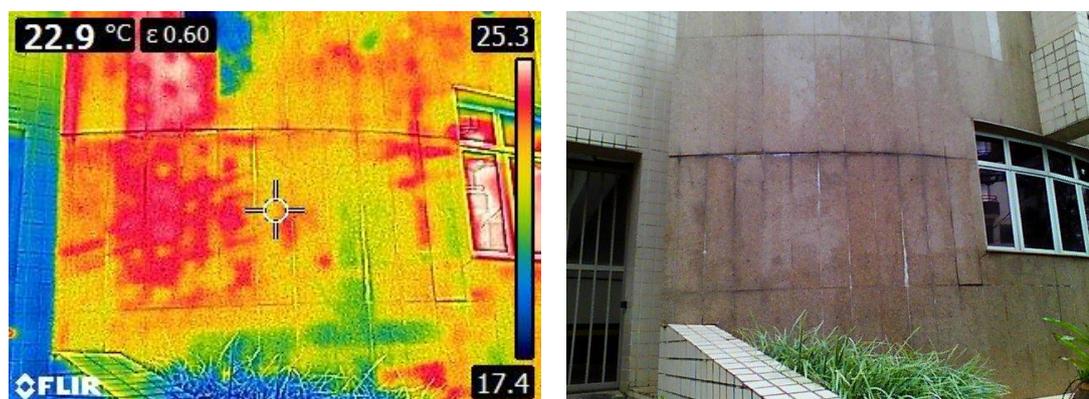


Figura 95 - Análise de trinca horizontal termografia de 10h

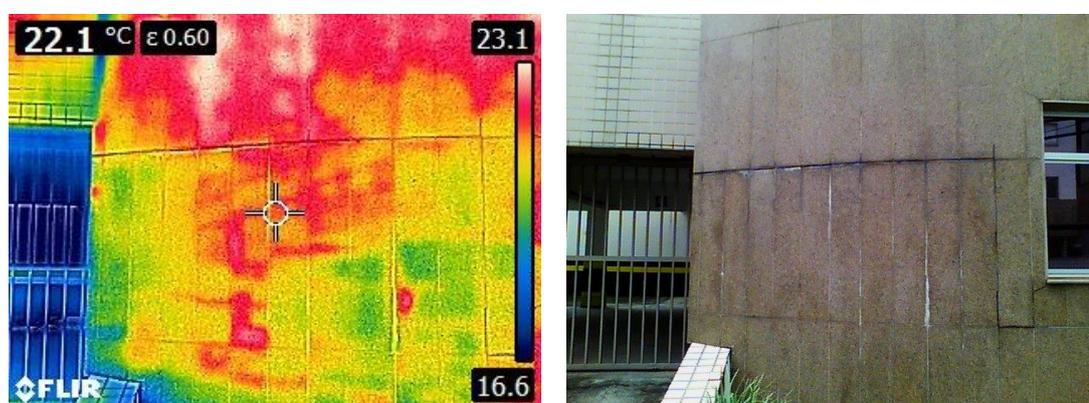


Figura 96 - Análise de trinca horizontal termografia de 13h

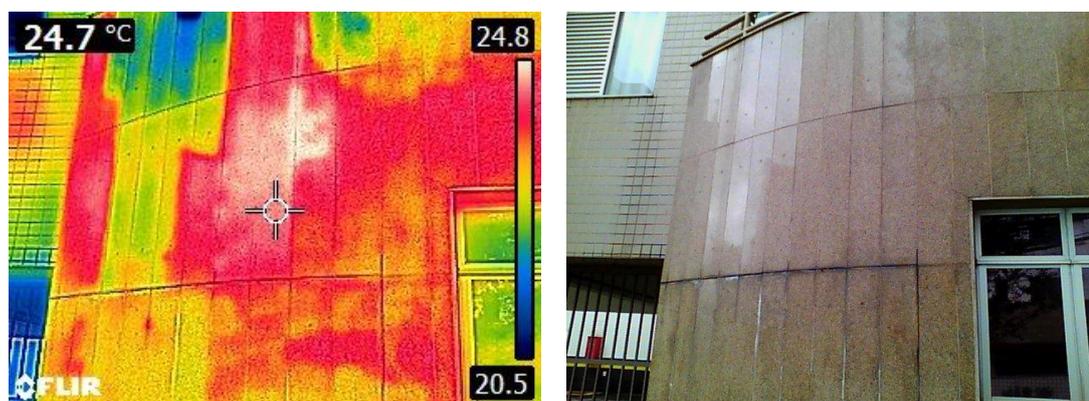


Figura 97 - Análise de trinca horizontal termografia de 17:30h

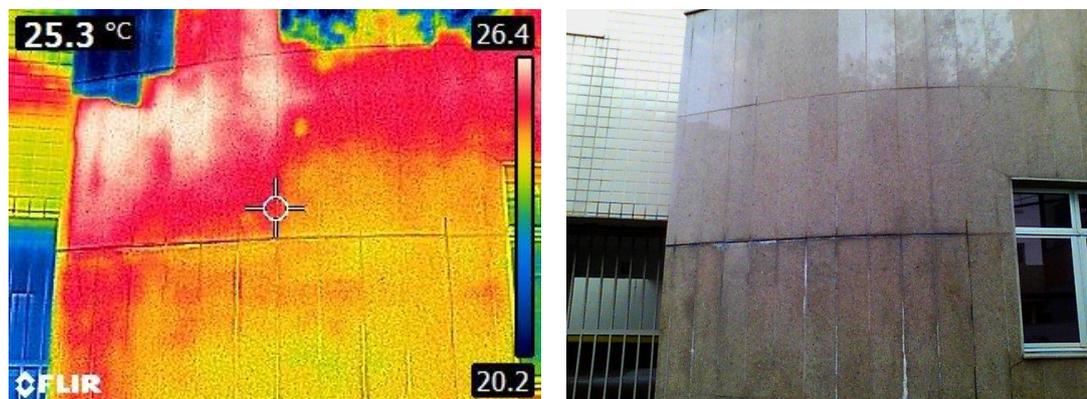
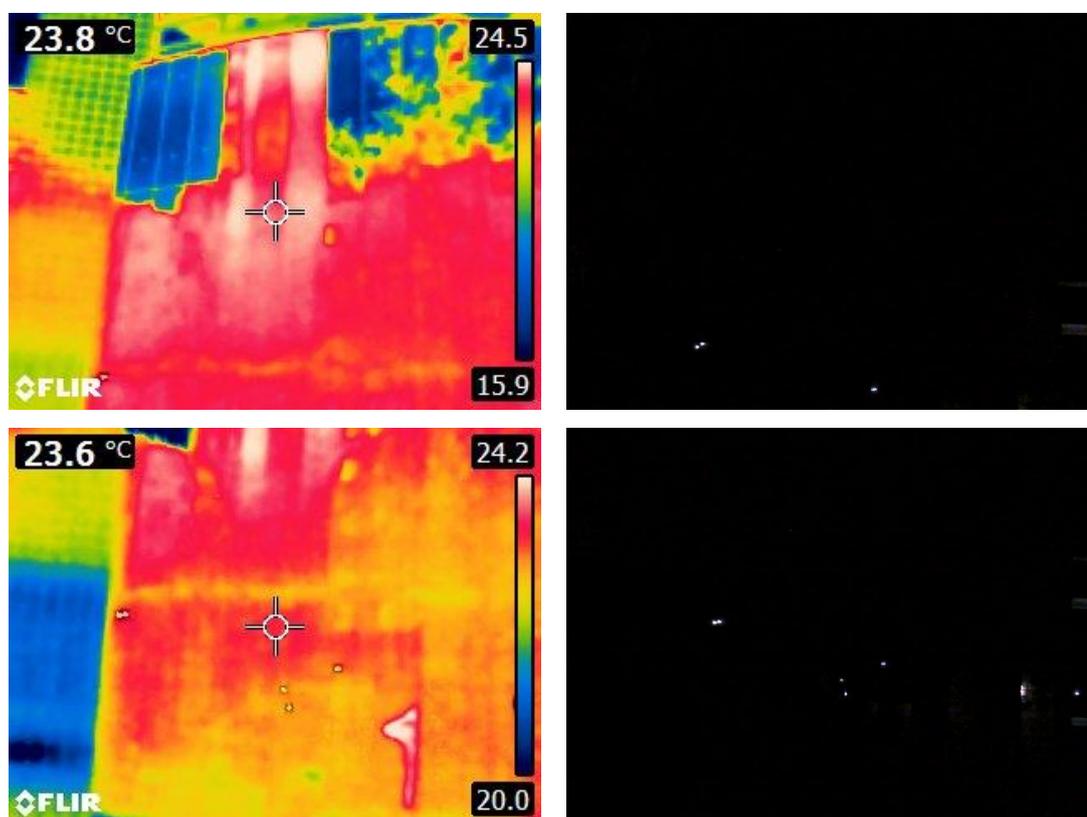


Figura 98 - Análise de trinca horizontal termografia de 19h



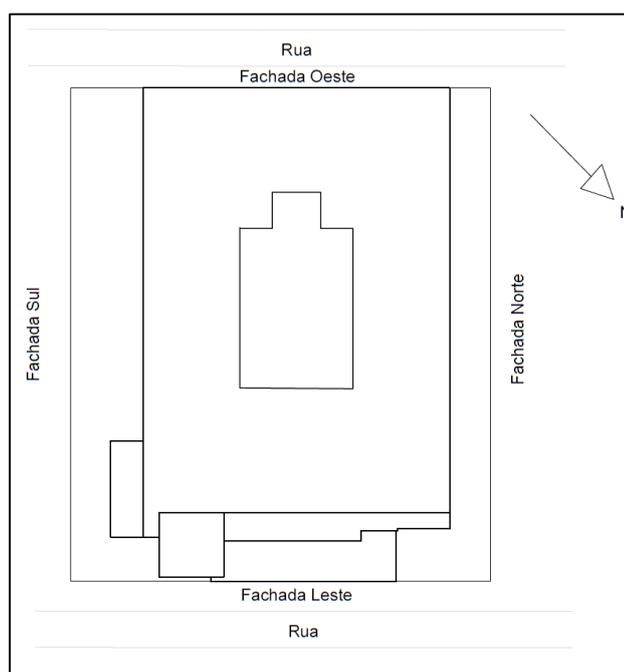
Deste modo, constatou-se que a técnica de termografia permite a identificação de manifestações patológicas precocemente, pois estas ainda não são visíveis. Este fato corrobora para uma manutenção de menor impacto e custos.

6.1.3 Edificação 03

Edifício comercial, inaugurado em 1937 em Belo Horizonte/MG, com cinco pavimentos, sendo o térreo reservado aos ambientes de almoxarifado, depósitos, refeitório e estacionamento; o primeiro pavimento destinado aos serviços que possuem contato direto ao público; e os demais são lotados por serviços administrativos.

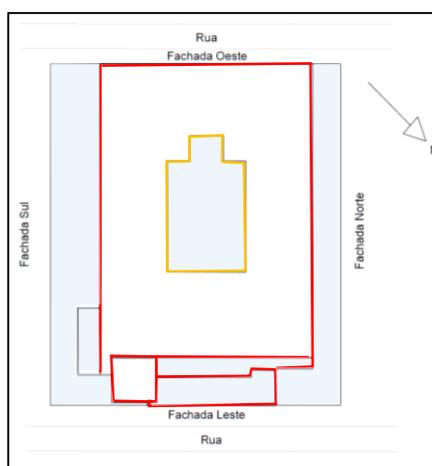
As fachadas desta edificação são revestidas por pó de pedra, sobre reboco e emboço. A Figura 99 exhibe croqui da planta da edificação juntamente com sua posição geográfica e identificação das fachadas.

Figura 99 - Localização geográfica da edificação 01



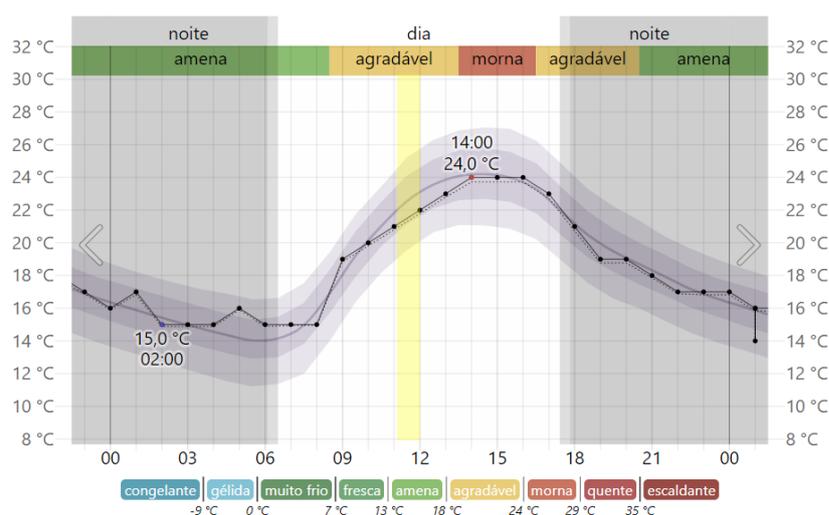
Neste estudo de caso, os ensaios foram executados nas fachadas externas (delineadas de vermelho), bem como nas fachadas internas do vão central da edificação (delineadas de laranja). Desse modo, o instrumentador situou-se no térreo, nas varandas e na cobertura do vão central (hachuras em azul), por serem locais que permitiam melhores ângulos de observação dos alvos, como ilustrado na Figura 100.

Figura 100 – Localização do instrumentador e dos locais investigados



As investigações foram realizadas em cinco dias, variando entre período matutino e vespertino (dia 21.06.2022 de manhã; 22.06.2022 de manhã e à tarde; 30.06.2022 à tarde; 20.07.2022 de manhã e 26.07.2022 à tarde).

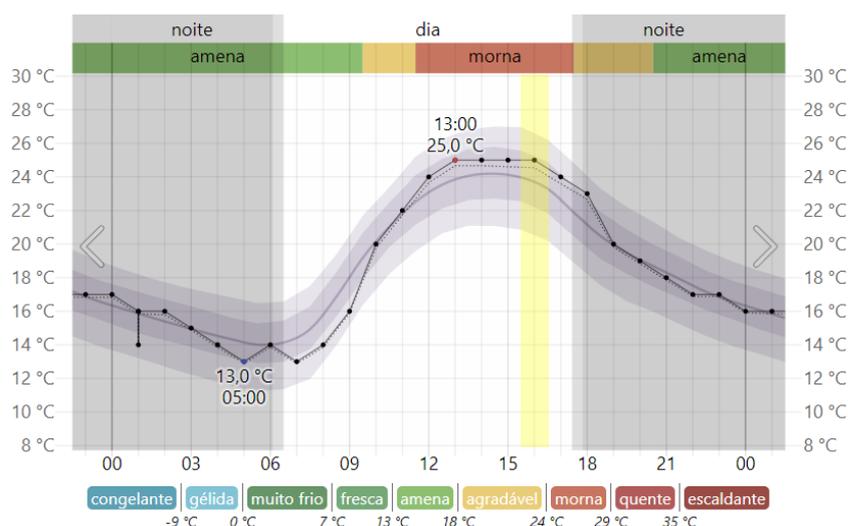
No primeiro dia a inspeção termográfica ocorreu entre às 11:00 e 12:00, momento que o ambiente estava em aquecimento, com elevação de 7°C entre o nascer do sol e o início do ensaio (Figura 101).

Figura 101 - Temperaturas medidas em 21 de junho de 2022¹⁴

¹⁴ Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/h/d/30612/2022/6/21/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-hist%C3%B3ricas-em-ter%C3%A7a-feira-21-de-junho-de-2022-em-Belo-Horizonte-Brasil>. Acesso em: 25 de setembro de 2022.

Por sua vez, no dia seguinte (22.06.2022) as imagens foram tomadas entre 9:30 e 10:30, momento em que o ambiente estava em aquecimento exponencial. Ainda, registrou-se termogramas entre as 15:30 e 16:30, período em que a temperatura ambiente estava estabelecida em 25°C e começava a desaquecer (Figura 102).

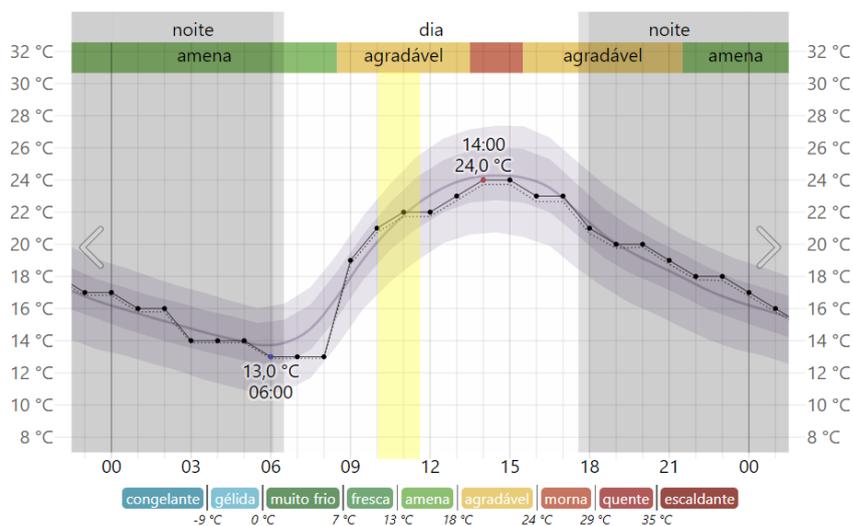
Figura 102 - Temperaturas medidas em 22 de junho de 2022¹⁵



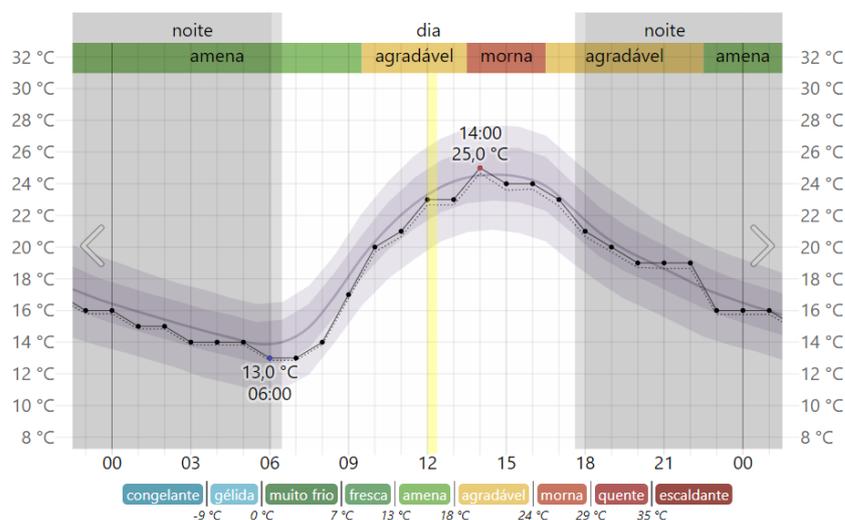
No dia 30.06.2022, as investigações térmicas foram realizadas no período da tarde. No entanto, diferentemente dos outros dias, os registros térmicos foram empregados para auxiliar no teste de permeabilidade realizado na fachada, não sendo relevante a análise do microclima no acompanhamento do ensaio.

Por sua vez, em 20.07.2022, foram realizadas termografias das fachadas externas entre 10:00 e 11:30, após o aquecimento de 8°C do ambiente.

¹⁵ Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/h/d/30612/2022/6/22/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-hist%C3%B3ricas-em-quarta-feira-22-de-junho-de-2022-em-Belo-Horizonte-Brasil>. Acesso em: 25 de setembro de 2022

Figura 103 - Temperaturas medidas em 20 de julho de 2022¹⁶

Por fim, dando sequência as inspeções de fachada, em 26.07.2022, o ensaio foi realizado ao meio dia, período em que houve gradiente térmico de 10°C, com estabilização desta temperatura por uma hora, conforme Figura 104.

Figura 104 - Temperaturas medidas em 26 de julho de 2022¹⁷

¹⁶ Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/h/d/30612/2022/7/20/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-hist%C3%B3ricas-em-quarta-feira-20-de-julho-de-2022-em-Belo-Horizonte-Brasil> Acesso em: 25 de setembro de 2022.

¹⁷ Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/h/d/30612/2022/7/26/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-hist%C3%B3ricas-em-ter%C3%A7a-feira-26-de-julho-de-2022-em-Belo-Horizonte-Brasil> Acesso em: 02 de janeiro de 2023

A partir dos ensaios realizados nesta edificação e das análises dos termogramas:

1. Identificou-se anomalias subsuperficiais, isto é, manifestações patológicas ocultas - não visíveis - em diversos pontos das fachadas.

Para tanto, na análise qualitativa das imagens (Figura 105 a Figura 111) considerou-se as diversas radiações emitidas pela superfície (cores do termograma).

Sem que houvesse justificativa exterior para tais alterações colorimétricas (material diferente, coloração diferente, sombras, reflexos, entre outras possíveis interferências), inferiu-se pela existência de anomalia no revestimento, isto é, falha na aderência do sistema de revestimento.

Figura 105 - anomalias ocultas identificadas pela termografia na fachada leste

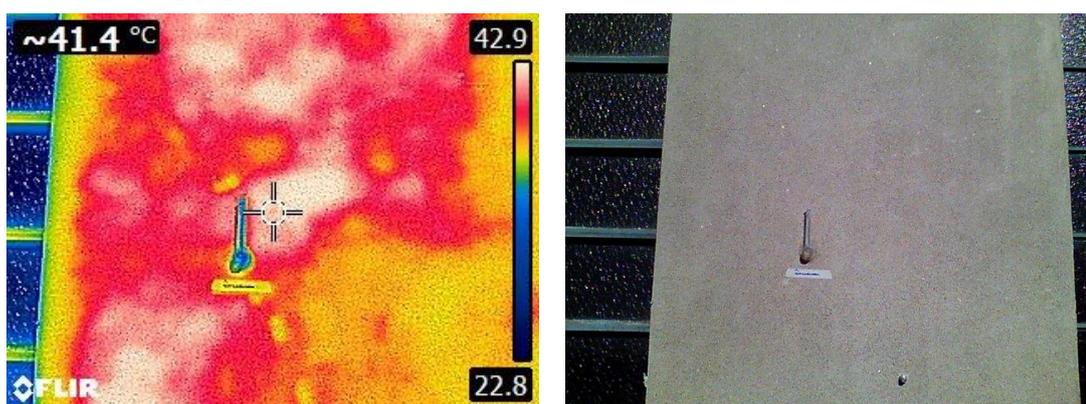


Figura 106 - anomalias ocultas identificadas pela termografia na fachada leste

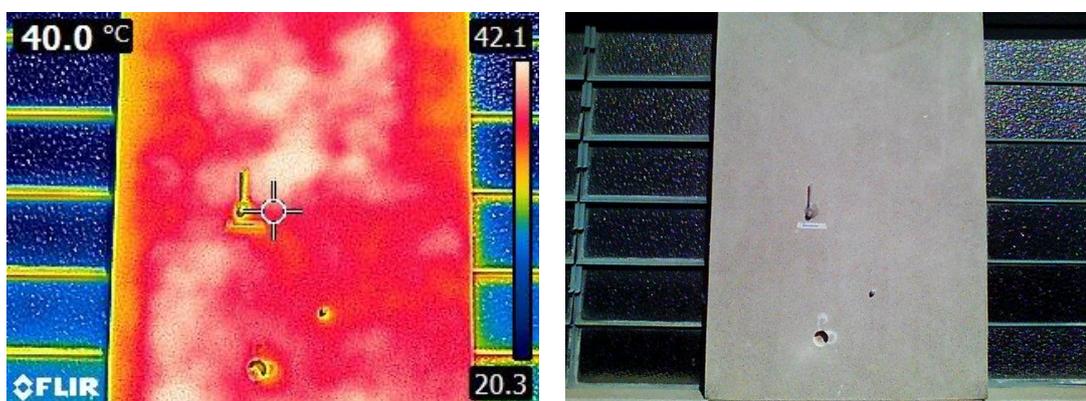


Figura 107 - anomalias ocultas identificadas pela termografia na fachada leste

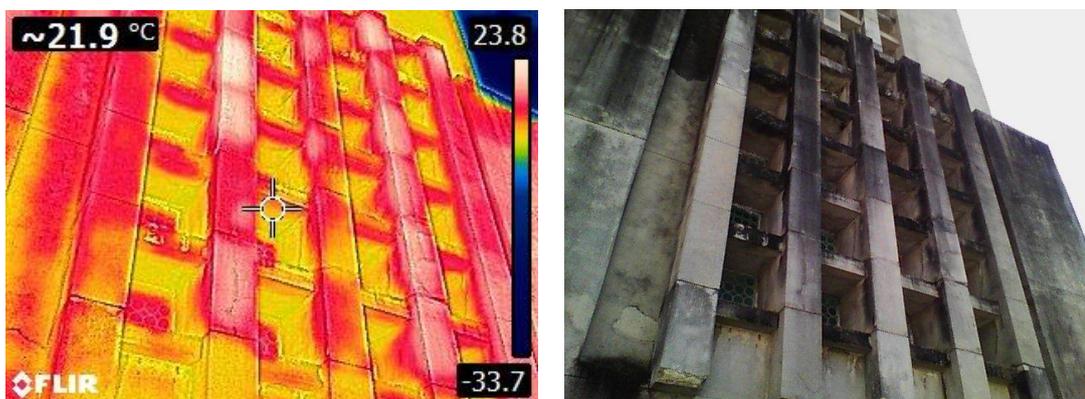


Figura 108 - anomalias ocultas identificadas pela termografia na fachada leste

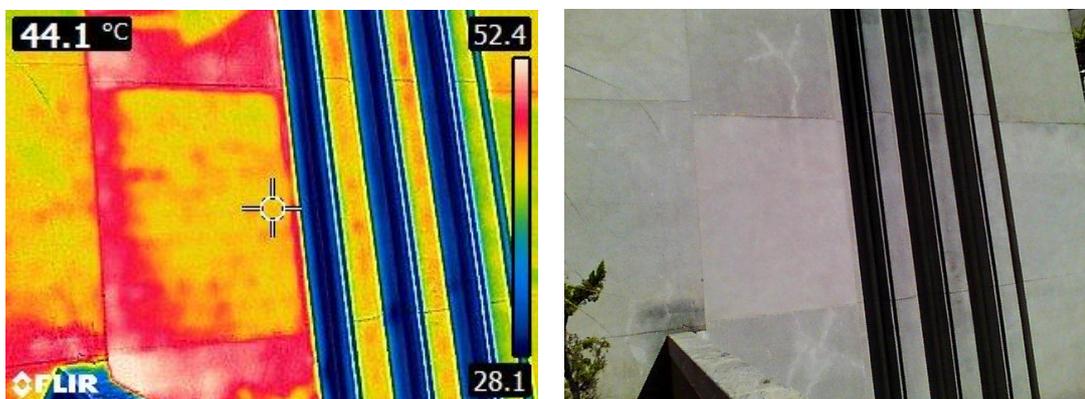


Figura 109 - anomalias ocultas identificadas pela termografia na fachada leste

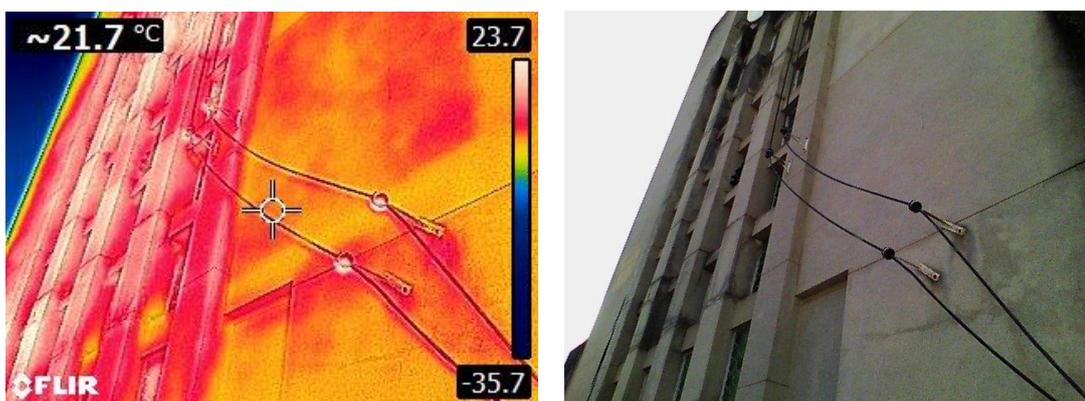


Figura 110 - anomalias ocultas identificadas pela termografia na fachada leste

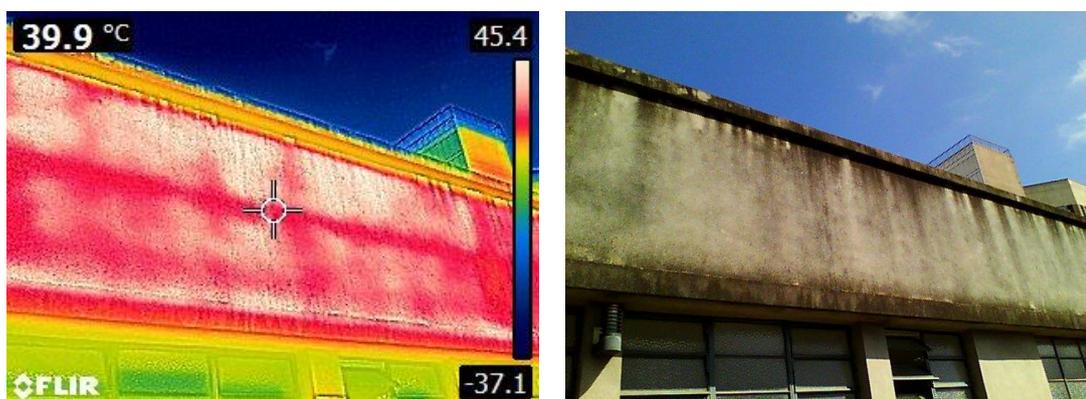
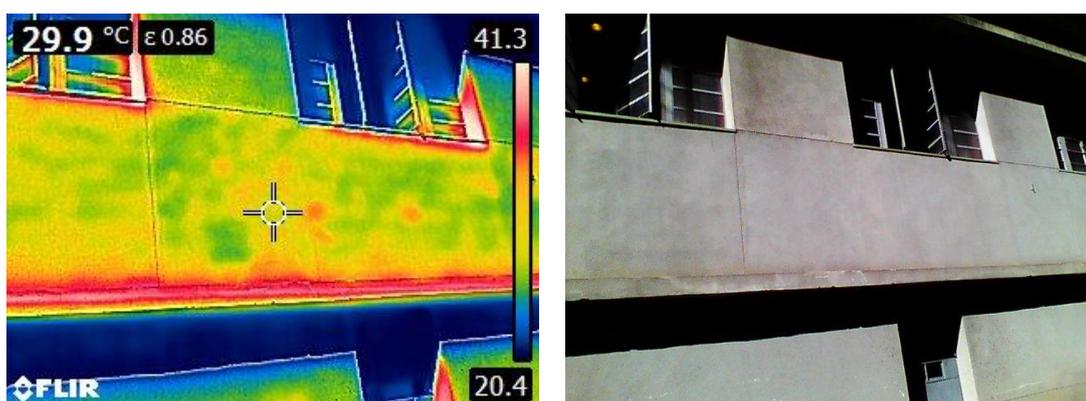


Figura 111 - anomalias ocultas identificadas pela termografia na fachada leste



Figura 112 - anomalias ocultas identificadas pela termografia



Portanto, constatou-se a capacidade da técnica para identificação de anomalias ocultas, por meio de análises qualitativas do termograma. Por terem sido identificadas precocemente, uma vez que estas manifestações patológicas tendem

a se agravar até serem identificáveis visualmente, é certo que a técnica contribui para o menor custo de reparo da edificação.

2. Pôde-se observar a partir do ensaio termográfico a abrangência de danos visíveis, como trincas, no interior do sistema de revestimento. Dessa forma, constatou-se locais com trincas que apresentavam falha na aderência do revestimento em áreas além da linearidade da trinca, demonstrando um dano maior que aquele visível (Figura 113 a Figura 116).

Figura 113 - Identificação de danos subsuperficiais superiores aqueles visíveis, fachada leste

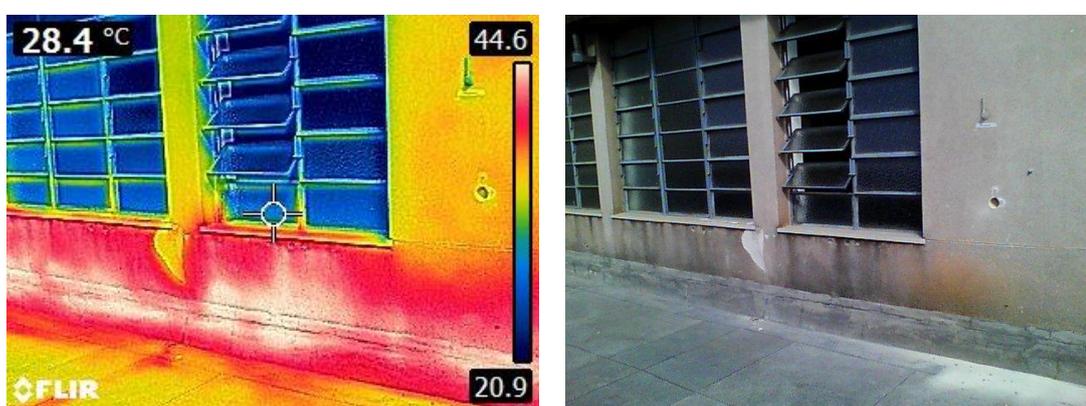


Figura 114 - Identificação de danos subsuperficiais superiores aqueles visíveis, fachada leste

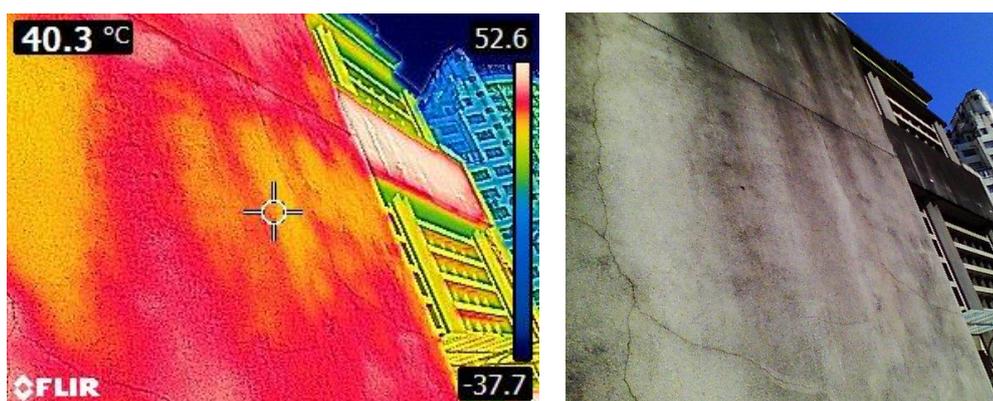


Figura 115 - Identificação de danos subsuperficiais superiores aqueles visíveis, fachada leste

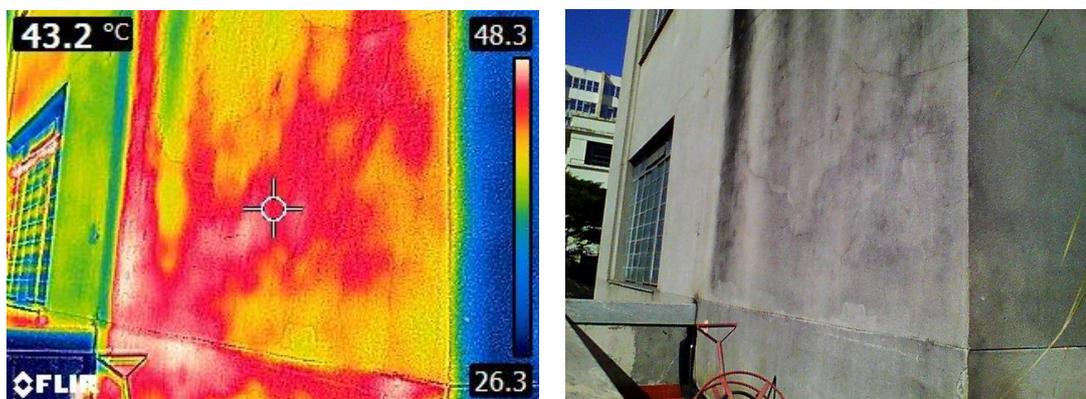


Figura 116 - Identificação de danos subsuperficiais superiores aqueles visíveis, fachada leste

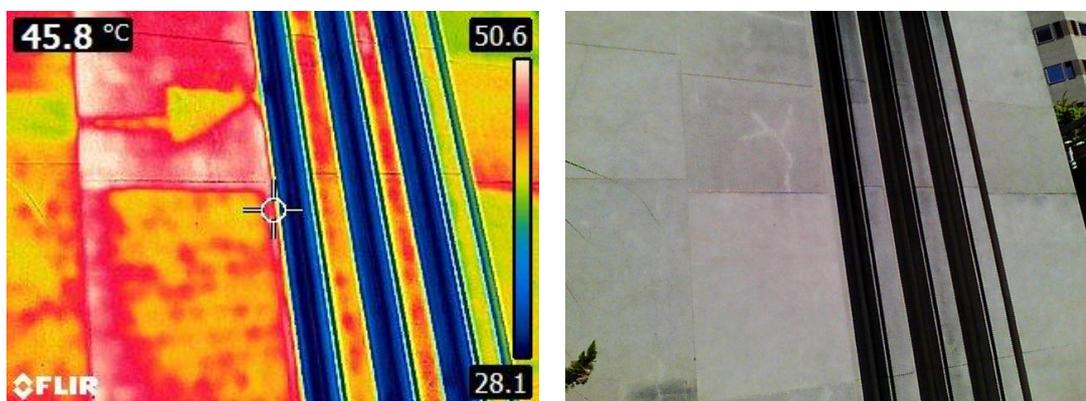
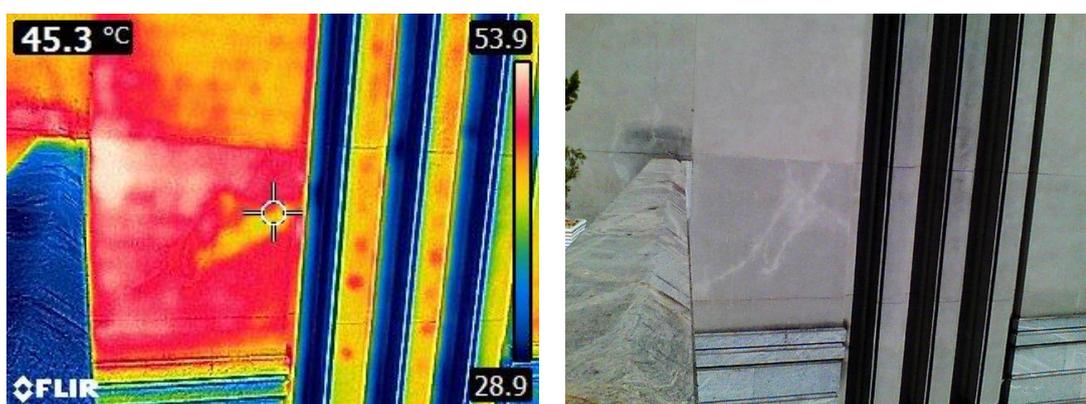


Figura 117 - Identificação de danos subsuperficiais superiores aqueles visíveis, fachada leste



Portanto, constatou-se que a técnica de termografia permite a identificação da abrangência oculta de danos visíveis. Este fato, auxilia principalmente na especificação do reparo para a região anômala.

3. Verificou-se que a termografia possibilita uma análise preliminar dos sistemas de vedação e estrutural, uma vez que a técnica permite a visualização do contorno da estrutura, bem como da alvenaria (Figura 118 a Figura 123).

Figura 118 - Identificação do sistema de vedação

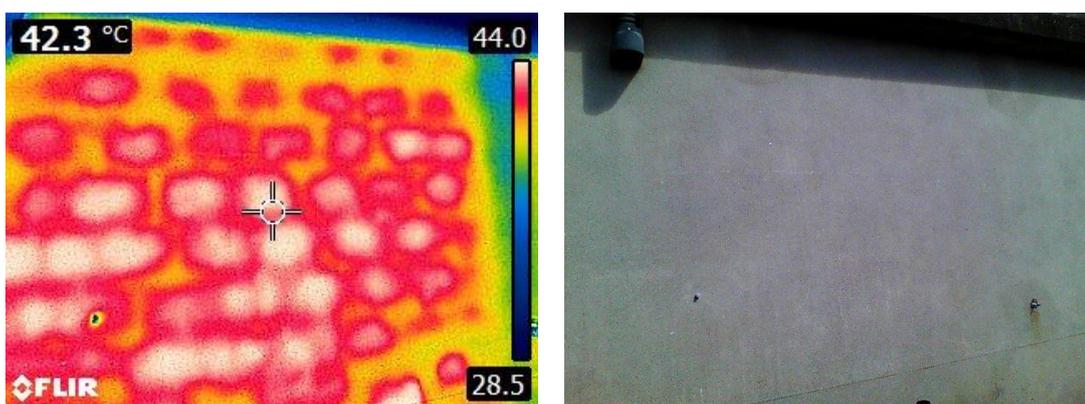


Figura 119 - Identificação do sistema de vedação

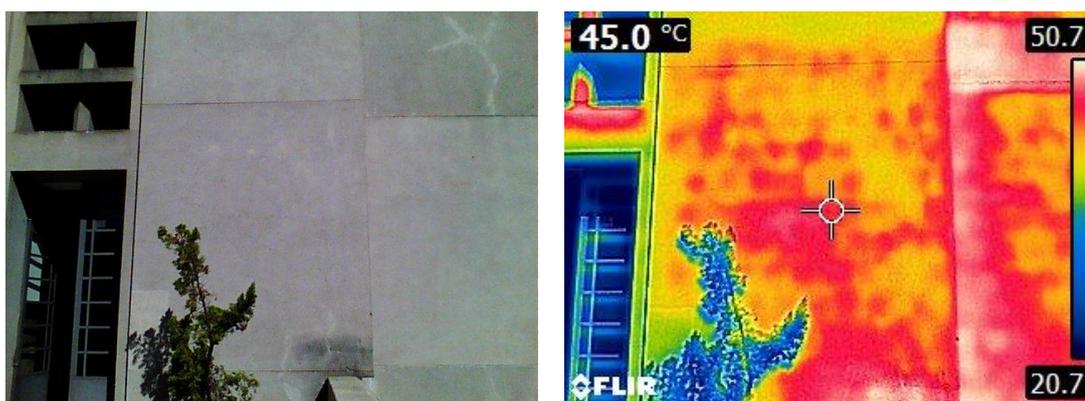


Figura 120 - Identificação do sistema de vedação

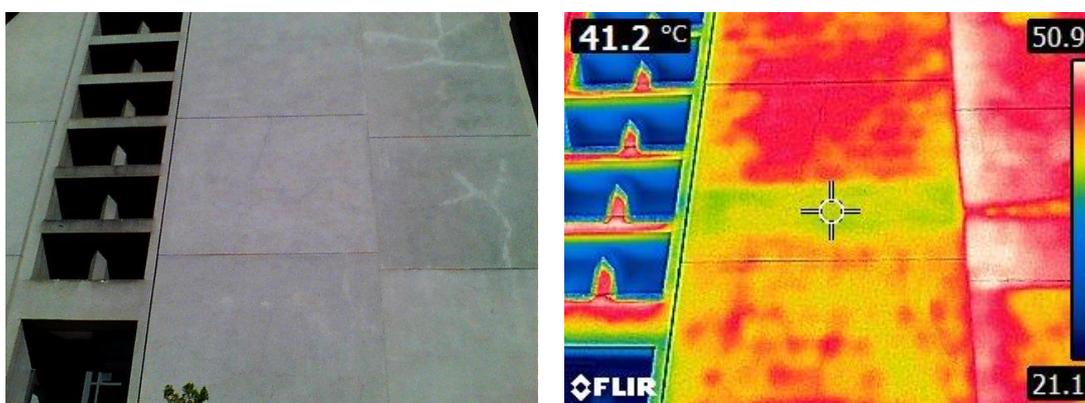


Figura 121 - Identificação do sistema estrutural

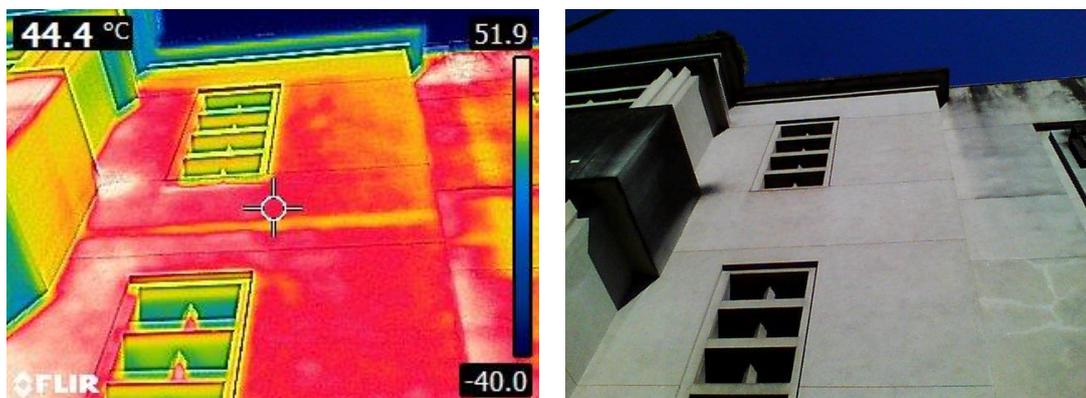


Figura 122 - Identificação do sistema estrutural

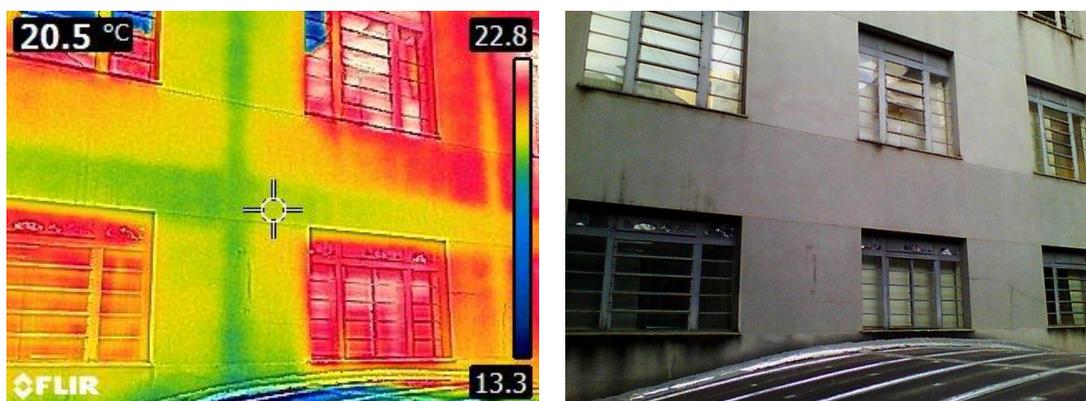


Figura 123 - Identificação do sistema de vedação e estrutural



Dessa forma, identificou-se um potencial auxílio da termografia em eventuais situações que seja necessário o conhecimento da localização das estruturas (pilares, vigas) ou do tipo do sistema de vedação utilizado na construção.

De modo análogo, a técnica permite identificar eventuais falhas construtivas relacionadas ao posicionamento dos elementos estruturais.

4. Observou-se pelo ensaio termográfico vazamento hidráulico de tubulação na fachada com abrangência maior que aquela visível, isso porque, o termograma indicou que as adjacências da tubulação estavam mais frias.

Figura 124 - Identificação de vazamento hidráulico na fachada

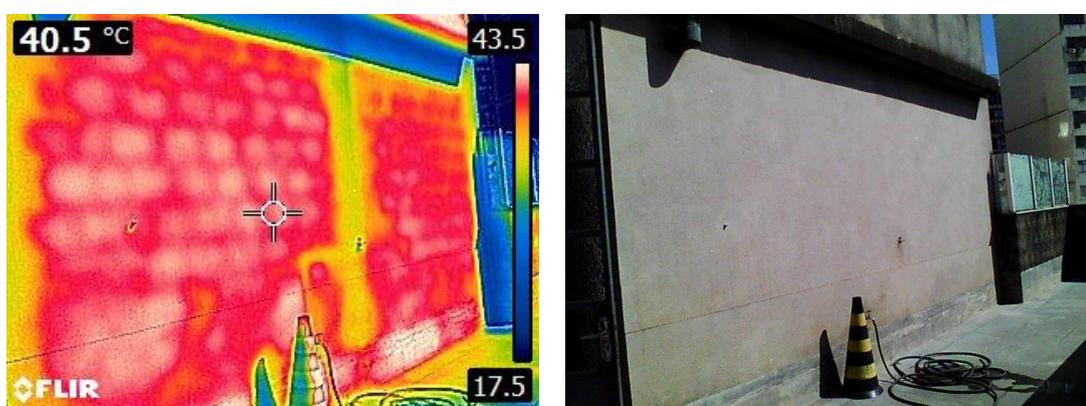
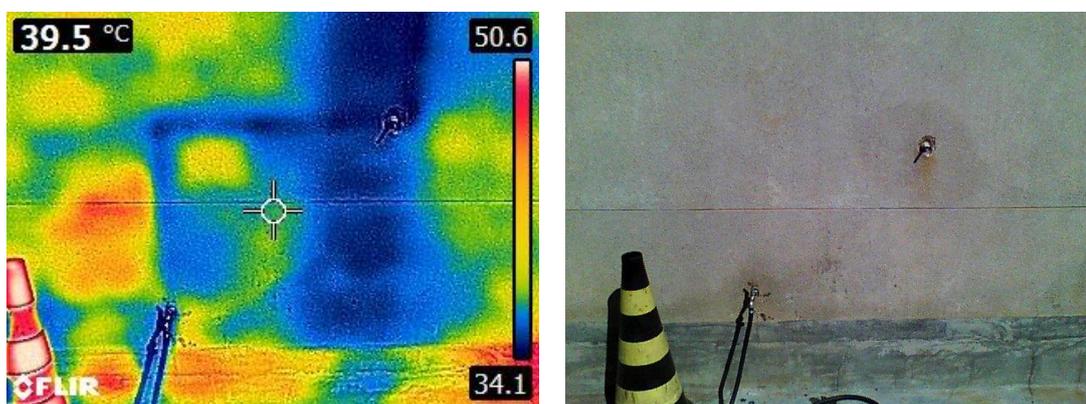


Figura 125 - Identificação de vazamento hidráulico na fachada

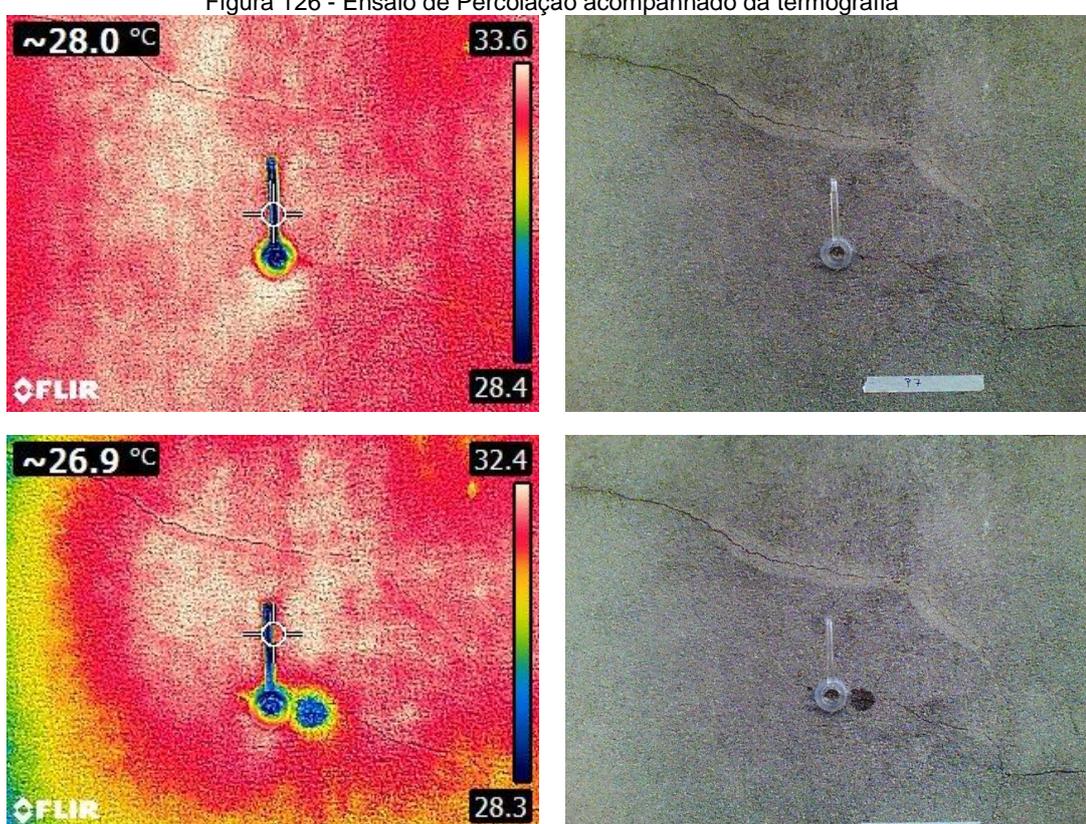


Portanto, com a termografia é possível identificar a abrangência de vazamentos de tubulações hidrossanitárias.

5. Durante as inspeções de fachada desta edificação, também foram realizados testes de permeabilidade do revestimento. A fim de corroborar com a ratificação dos resultados, empregou-se a termografia no acompanhamento do ensaio. Dessa forma, pode-se observar o direcionamento da percolação da água proveniente do tubo de Karsten.

No exemplo da Figura 126, pode-se verificar que a percolação da água se direcionou à trinca.

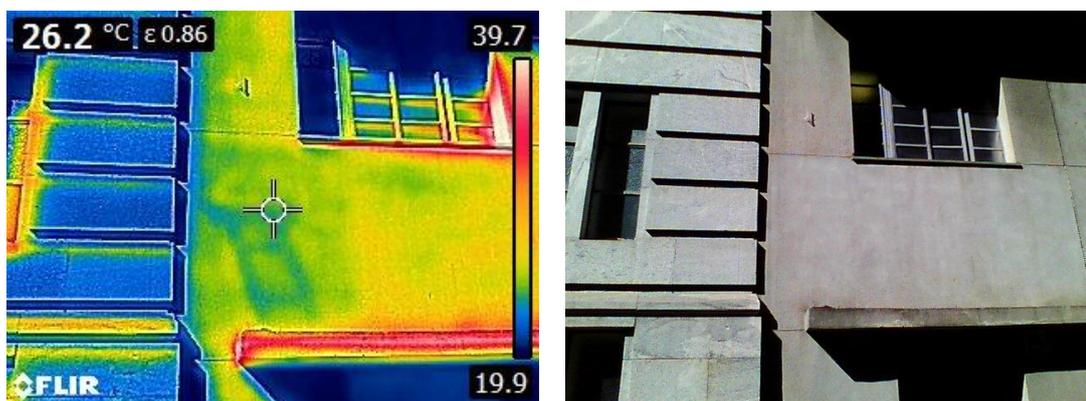
Figura 126 - Ensaio de Percolação acompanhado da termografia



Dessa forma, verificou-se que a termografia pode auxiliar no desenvolvimento de outros ensaios. Colaborando e gerando mais informações para o investigador.

6. Verificou-se ocorrência de registro térmico de objeto mesmo após sua retirada. No caso em questão (Figura 127) o termograma apresenta a silhueta de escada que estava apoiada no local.

Figura 127 - Registro térmico de objeto retirado anteriormente ao a tomada fotográfica



Devido a este tipo de situação, é necessário que o instrumentador esteja capacitado para identificar anomalias térmicas que não se traduzem em manifestações patológicas, a fim de mitigar análises equivocadas.

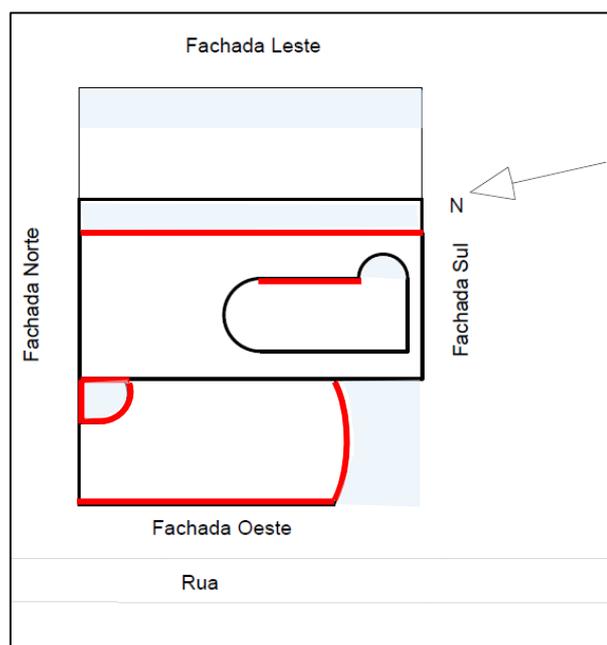
7. Por fim, não identificou-se durante os ensaios realizados nesta edificação locais e/ou situações que gerassem potencial risco ao instrumentador do equipamento. Ainda, a execução não requereu auxílio, isto é, apenas o instrumentador foi necessário para o desenvolvimento do ensaio.

6.1.4 Edificação 04

Edificação comercial, com múltiplos pavimentos, situada em Belo Horizonte/MG. É revestida majoritariamente por dois tipos de pastilhas, sendo uma de coloração esbranquiçada proveniente de rocha natural e outra de coloração azulada de material cerâmico.

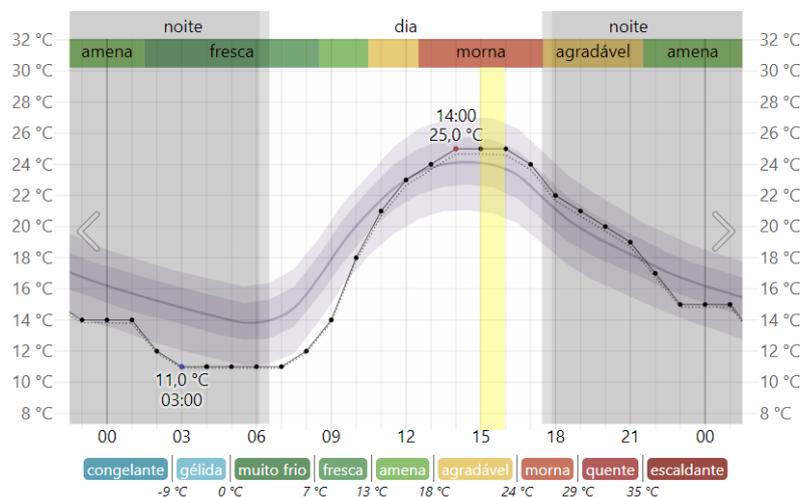
A Figura 128 apresenta croqui da planta deste imóvel com indicação das fachadas de acordo com a referência geográfica da mesma, bem como aquelas que foram ensaiadas (delineadas em vermelho) e as regiões onde situou-se o termografista (hachuras azuis).

Figura 128 – Fachadas inspecionadas e localização do instrumentador

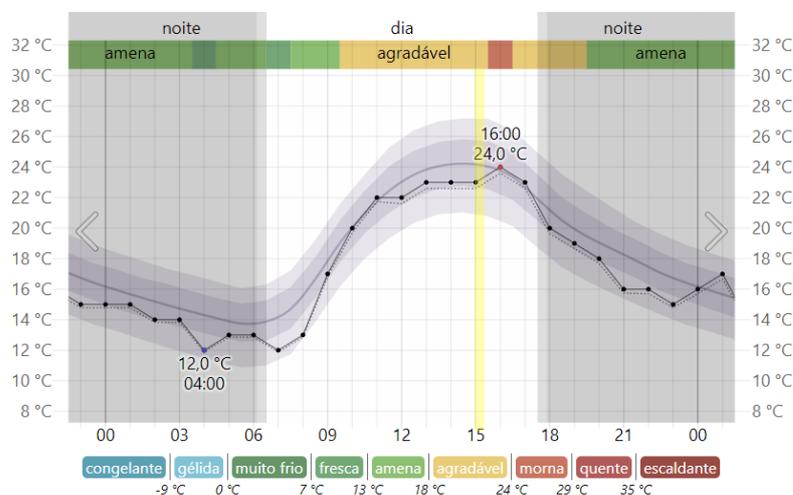


Os ensaios ocorreram em quatro dias, quais sejam, 29 de junho de 2022, e 07, 13 e 19 de julho de 2022, sendo as duas primeiras investigações realizadas no período da tarde e as duas últimas na parte da manhã.

A termografia realizada em junho iniciou-se próximo as 15:00, perdurando até as 16:00, período em que o ambiente encontrava-se com temperatura estável após aquecer cerca de 14°C (Figura 129).

Figura 129 - Temperaturas medidas em 29 de junho de 2022¹⁸

Por sua vez, em 07.07.2022, a inspeção foi realizada quando a temperatura ambiente estava tendo pequena elevação de 1°C, entre 15:00 e 15:30 (Figura 130). Contudo, neste dia já havia ocorrido gradiente de 12 °C entre o nascer do sol e o ensaio .

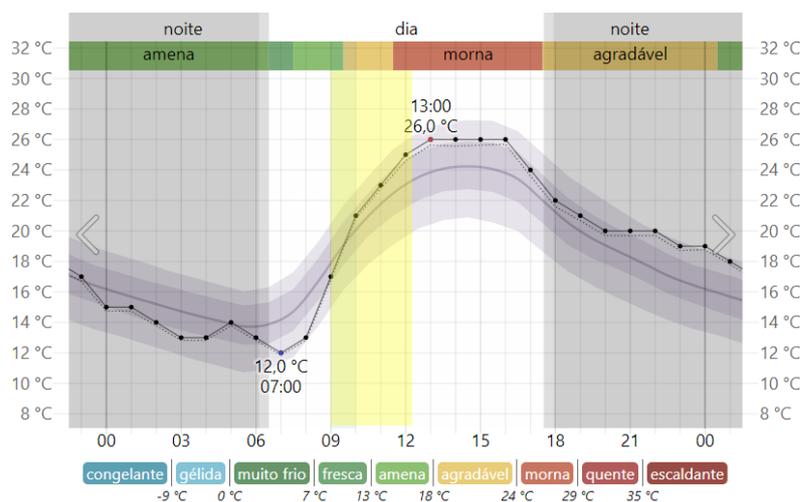
Figura 130 - Temperaturas medidas em 07 de julho de 2022¹⁹

¹⁸ Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/h/d/30612/2022/6/29/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-hist%C3%B3ricas-em-quarta-feira-29-de-junho-de-2022-em-Belo-Horizonte-Brasil>. Acesso em: 25 de setembro de 2022.

¹⁹ Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/h/d/30612/2022/7/7/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-hist%C3%B3ricas-em-quinta-feira-7-de-julho-de-2022-em-Belo-Horizonte-Brasil>. Acesso em: 25 de setembro de 2022.

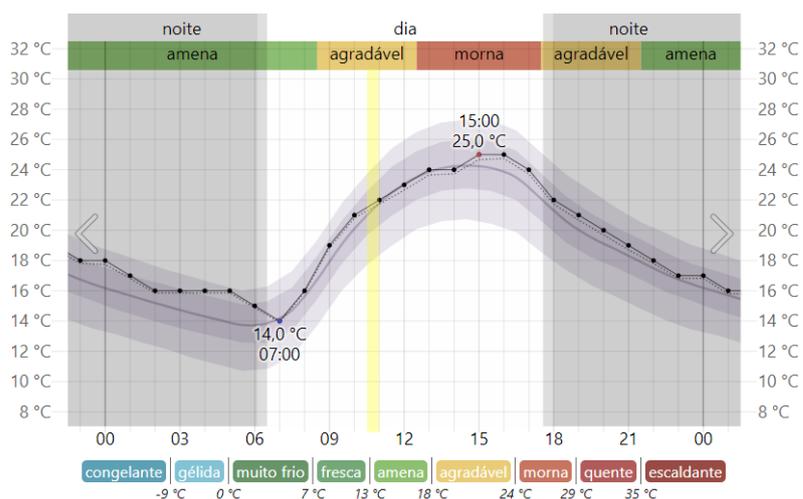
A vistoria de 13.07.2022 iniciou às 9:20 com o ambiente já aquecido cerca de 5°C e encerrou 12:20 quando o ambiente já havia esquentado cerca de 11°C em relação ao início da manhã (nascer do sol), conforme observa-se na Figura 131.

Figura 131 - Temperaturas medidas em 13 de julho de 2022²⁰



Por fim, os estudos termográficos neste prédio finalizaram no dia 19.07.2022 entre as 10:30 e 11:00, período de aquecimento do ambiente, com elevação de cerca de 7°C até o início dos ensaios, conforme Figura 132.

Figura 132 - Temperaturas medidas em 19 de julho de 2022

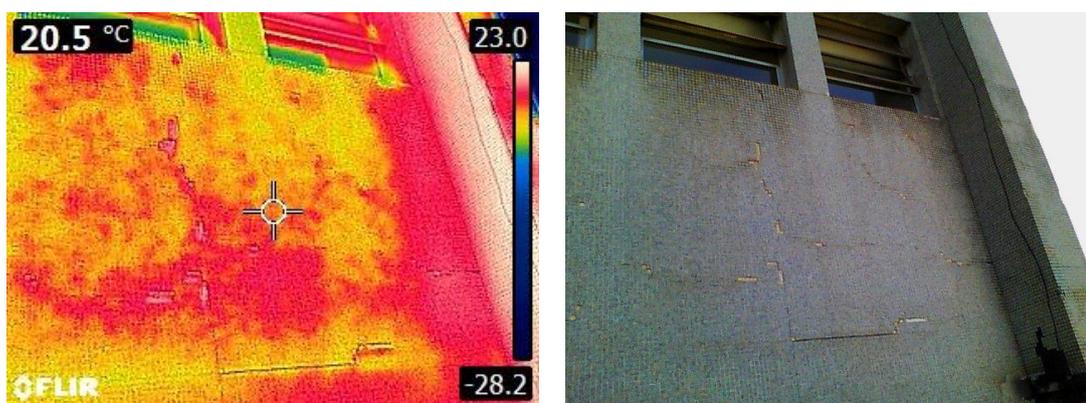


²⁰ Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/h/d/30612/2022/7/13/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-hist%C3%B3ricas-em-quarta-feira-13-de-julho-de-2022-em-Belo-Horizonte-Brasil>. Acesso em: 25 de setembro de 2022

Dos ensaios realizados nesta edificação juntamente com as análises desenvolvidas nos termogramas:

1. Constatou-se, por análise qualitativa, magnitude dos danos superior àquela visível quanto a falha de aderência do revestimento na região da fachada inspecionada, conforme Figura 133.

Figura 133 - Falha de aderência do revestimento superior àquela visível, fachada leste



Portanto, o ensaio termográfico tem o condão de gerar informações com maior precisão quanto a real região danificada em relação a inspeção visual. Por estes dados, o desenvolvimento do projeto de reparo torna-se mais acurado, possibilitando uma eventual redução de custos.

2. Identificou-se falhas ocultas de aderência do revestimento, isto é, ainda não visíveis (Figura 134 e Figura 135).

Figura 134 - Identificação de deslocamento do revestimento não visível

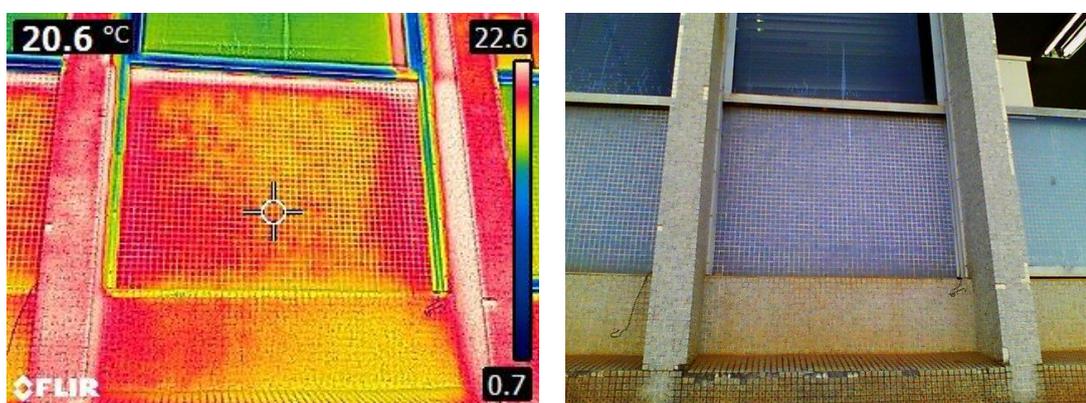
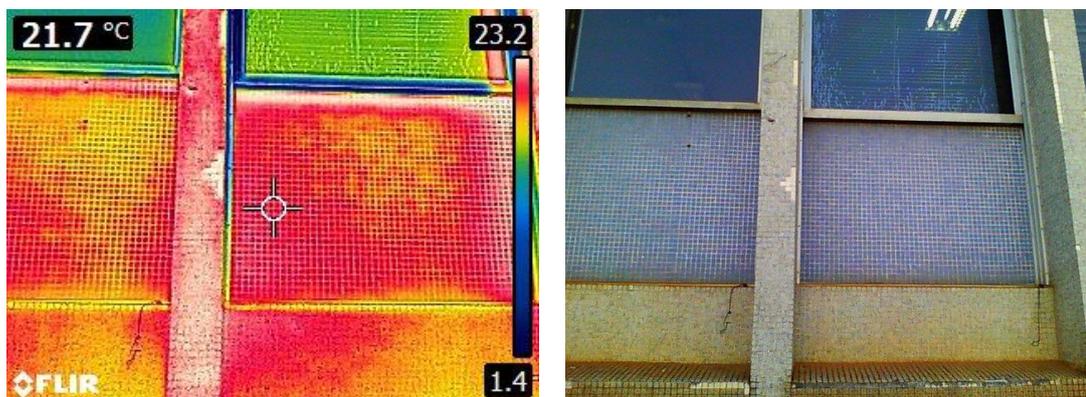


Figura 135 - Identificação de deslocamento do revestimento não visível



Este entendimento decorre da análise qualitativa do termograma que apresenta variação da temperatura entre áreas adjacentes de mesmo material, sem quaisquer interferências externas.

Uma vez que a anomalia ainda está oculta, depende-se pela identificação precoce da manifestação patológica. Dessa forma, a manutenção corretiva torna-se de menor impacto e custo.

3. Contatou-se o uso da termografia como auxílio na retirada de corpos de prova. Devido ao potencial de identificação dos contornos do sistema estrutural, a técnica foi empregada para evitar perfuração indesejada na estrutura (Figura 136 e Figura 137).

Figura 136 - Identificação do contorno da estrutura por termografia

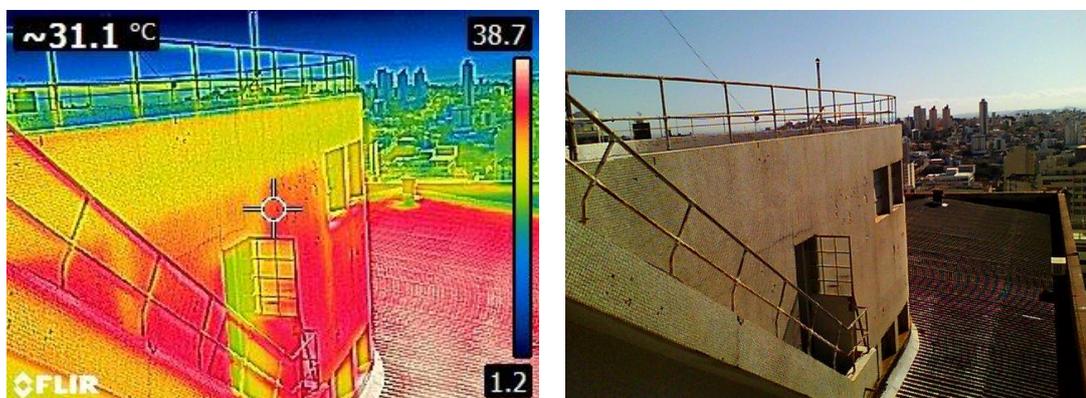
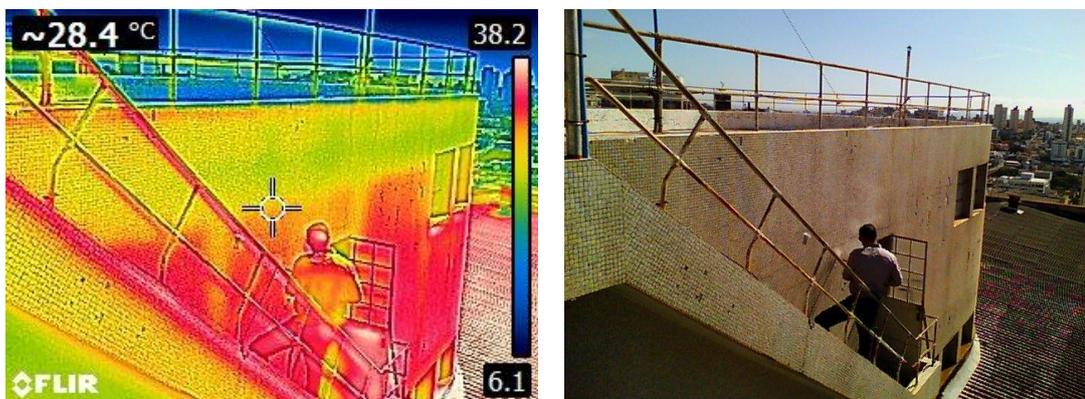


Figura 137 – Utilização da técnica de termografia para evitar perfuração na estrutura



4. Constatou-se que os ensaios realizados no jardim de inverno da edificação foram prejudicados por uma soma de fatores.

- Aquecimento: os ensaios neste estudo foram realizados pelo método passivo. Deste modo, é desejável que o aquecimento solar promovido no ambiente seja suficiente para permitir a identificação de regiões com temperaturas heterogêneas na superfície. No entanto, como o jardim de inverno é um ambiente profundo, sem incidência direta de raios solares, o aquecimento se mostrou lento, tornando a temperatura da superfície homogênea. Dessa forma, não foi possível identificar as falhas subsuperficiais (Figura 138), mesmo realizando a termografia em diferentes momentos do dia. Contudo, falhas na aderência foram constatadas posteriormente por teste de percussão, ao ser verificado som cavo.
- Ângulos de visada: Por ser um ambiente profundo e com pequena distância entre as paredes, os ângulos de visada para termografia se afastaram da angulação adequada (além de 45°), prejudicando a análise térmica (Figura 139).
- Reflexões: Embora não houvesse incidência solar direta em toda a área do jardim de inverno (exceto ao meio dia), alguns reflexos foram identificados na parte superior do ambiente, interferindo no termograma (Figura 140).

Figura 138 - Superfície homogênea

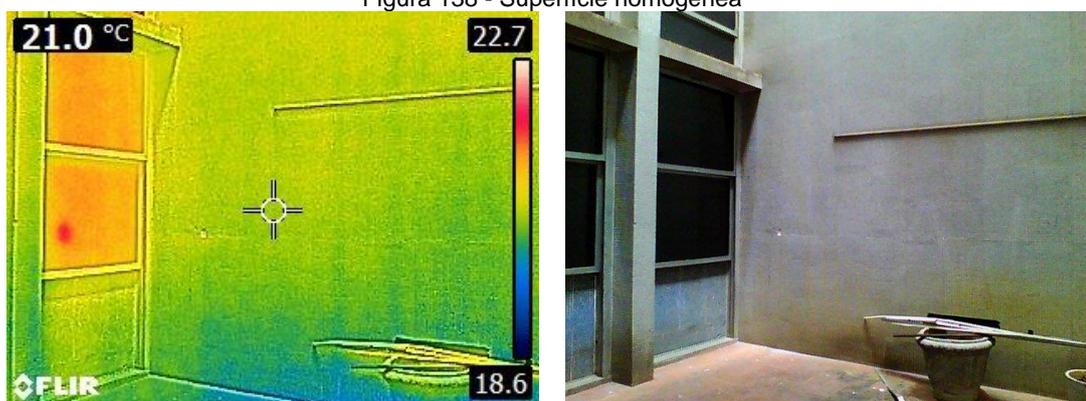
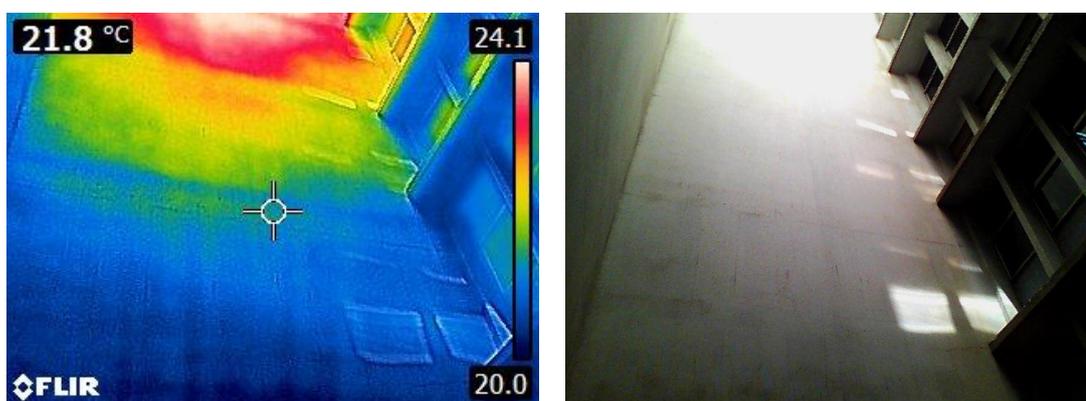


Figura 139 - distancia insuficiente para promover angulo adequado de visada



Figura 140 - Reflexos interferindo na imagem térmica



5. Constatou-se durante a investigação da fachada leste que houve dificuldade com a distância e a segurança para realização da termografia. Os ambientes mais próximos não possuíam distância suficiente para realização da inspeção em toda a fachada, ou seja, cerca de 3,5m a 1m. Ainda, este local estava em alturas elevadas e sem guarda-corpos, apresentando risco potencial de queda.

Por outro lado, ao realizar os ensaios a partir do pavimento térreo a distância se mostrou grande e inadequada, face ao nível de detalhamento da fachada.

Desta forma, verificou-se que a análise por termografia nesta fachada foi prejudicada, sendo necessária complementação do estudo com inspeção com drone, para aproximar a visualização e identificar as anomalias visíveis.

Figura 141 - Distancia insuficiente para realização de termografia na fachada leste

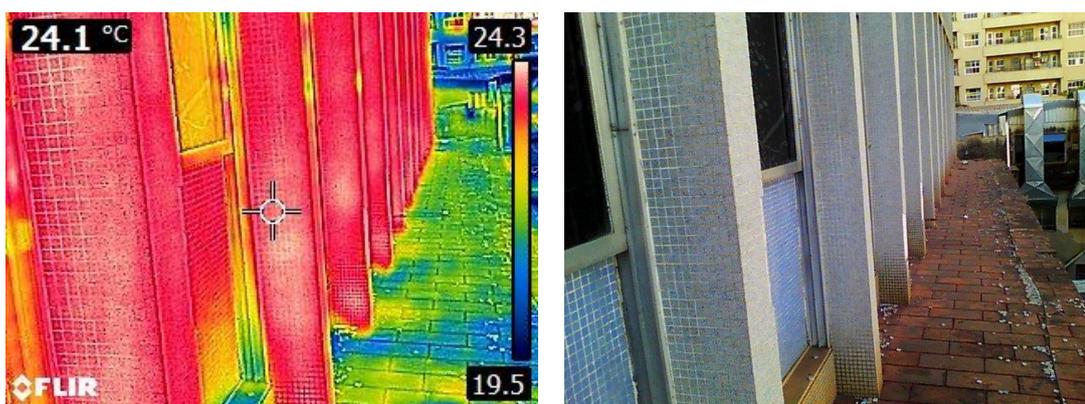


Figura 142 - Distancia insuficiente para realização de termografia na fachada leste

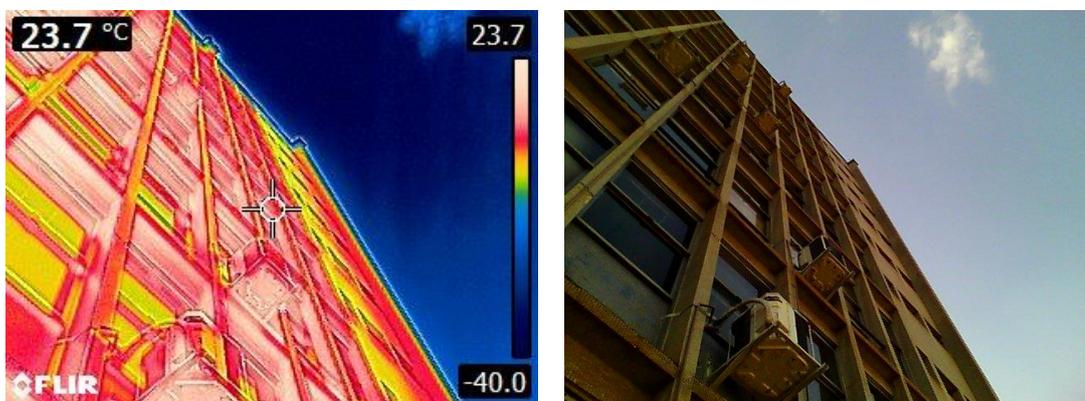
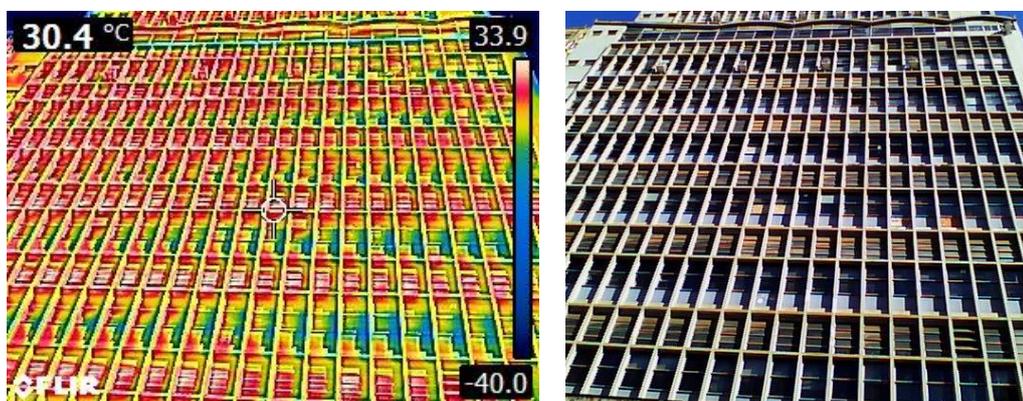


Figura 143 - Grande distancia para realização ad termografia face o detalhamento da fachada



6.2 Avaliação das vantagens e limitações

A partir das análises realizadas nos estudos de caso, bem como dos dados coletados durante a execução dos ensaios, identificou-se fatores favoráveis e desfavoráveis ao emprego da técnica.

Dessa forma, compilou-se as vantagens (6.2.1) e limitações (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) da termografia para fins de identificação de anomalias durante uma inspeção de fachada.

6.2.1 Vantagens

Durante os ensaios, bem como após as análises dos termogramas, constatou-se que a técnica dispõe das seguintes vantagens:

1. Identificação de anomalias subsuperficiais, ocultas, por meio de análises qualitativas do termograma;
A detecção precoce destas manifestações patológicas, uma vez que não são visíveis, contribui na redução dos custos de reparo, bem como no impacto ao sistema condominial, gerando menos transtornos aqueles que a usufruem.
2. Identificação da abrangência subsuperficial de manifestações patológicas;
A constatação da real abrangência e magnitude dos danos favorece ao desenvolvimento de um projeto de reparo mais acurado, com um levantamento de custos mais preciso, facilitando conseqüentemente o planejamento financeiro do condomínio.
3. Identificação da posição do sistema estrutural e do tipo de sistema de vedação;
A localização dos elementos estruturais sob a fachada, por vezes pode auxiliar na execução de perfurações, evitando locais indesejados como estrutura.

Ainda, em eventual investigação de posicionamento equivocado durante execução de algum elemento estrutural, como vigas e pilares, a termografia pode auxiliar nessa averiguação.

4. Potencial de auxiliar na execução de outras investigações, ensaios;

Dos estudos realizados, constatou-se que a termografia auxiliou no ensaio de permeabilidade do revestimento, a fim de acompanhar o desenvolvimento da percolação da água, bem como no ensaio para extração de corpo de prova, identificando o sistema estrutural e de vedação, a fim de não perfurar a estrutura.

5. Ser um ensaio não destrutivo;

Considerando que a inspeção de fachadas é realizada com a construção em uso, ensaios não destrutivos e/ou que não geram ruídos, isto é, que não perturbam os usuários da edificação, são mais desejáveis.

6. Não apresentar risco a segurança do executor, instrumentador;

Considerando que para desenvolvimento da termografia o instrumentador está em solo²¹, há diminuição substancial dos riscos à segurança do mesmo ao comparar com o risco envolvido no teste a percussão²², o qual necessita de um colaborador treinado (atendendo as NRs 18 – Segurança e saúde no trabalho na indústria da construção e 35 – Trabalho em altura) descendo em rapel testando com martelo todo o pano da fachada.

7. Potencial expedito de gerar dados.

Constatou-se que a investigação de uma edificação de 3 a 4 pavimentos, durou em torno de 30 a 60 minutos, conforme estudos de caso. No entanto, ressalta-se ser recomendável a realização da inspeção da fachada em momentos distintos do dia.

²¹ No estudo de caso da edificação 04, foi observado certo risco devido à altura do platô. Contudo, durante os estudos, este foi um caso pontual de uma das fachadas do edifício. Verificou-se que de modo geral, a realização foi executada pelo térreo.

²² Técnica usual de inspeção de fachada com condão de identificar regiões de deslocamento

Dessa forma, mesmo considerando os demais momentos de estudo, inferiu-se ser possível obter dados, para identificação do grau de conservação da fachada, de modo expedito.

6.2.2 Limitações

Durante os ensaios, bem como após as análises dos termogramas, constatou-se que a técnica dispõe das seguintes limitações:

1. Eventuais dificuldades para atingir o ângulo de visada adequado para os registros térmicos em virtude do espaço/distância disponível;

Desafios com o espaço disponível para realização da técnica podem ser um empecilho para a tomada de fotografias termográficas.

Por vezes, é possível ir a calçada, atravessar rua ou ir a condomínios vizinhos para atingir a distância e ângulos adequados para realização da técnica, mas nem sempre isto será possível. Neste caso, a região em questão fica impossibilitada de ser investigada.

2. Menor campo de visão em relação a câmera digital;

Para realização do mapeamento térmico fotográfico é necessário realizar mais tomadas quando comparada às fotografias digitais.

3. Ocasionalmente uma região pode apresentar diversas fontes de interferência, de modo que a técnica não se mostra suficiente;

Por vezes, quando há mais de uma fonte de interferência, pode não ser possível mitigar todas elas, gerando dados inconclusivos. Nesse sentido, para essas regiões é necessário empregar outros ensaios para complementar as informações, permitindo uma conclusão assertiva.

4. Revestimentos cerâmicos e rochas ornamentais são desafios a técnica.

Devido à baixa emissividade e, conseqüente, alto poder reflexivo, os revestimentos cerâmicos e rochas ornamentais são um desafio ao longo da investigação, o que pode gerar incremento na duração do ensaio e/ou necessidade de complementação com outro ensaio.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados e discussões, bem como do estudo bibliográfico desenvolvido sobre o tema, conclui-se que a técnica da termografia apresenta-se como grande aliada no desenvolvimento da engenharia, principalmente no que tange as inspeções e identificação precoce de manifestações patológicas em fachadas.

Constatou-se que a técnica apresenta adequada acurácia para o uso em inspeções de fachada, identificando anomalias como falha de aderência de revestimento e infiltrações quando ainda não são visíveis. Ademais, a técnica permitiu a identificação da magnitude dos danos subsuperficiais de anomalias visíveis.

Observou-se que a execução do ensaio em diversos horários corrobora para análise assertiva e ratificação dos resultados. Nesse contexto, verificou-se que a execução de termografia noturna, após o pôr do sol, auxilia nos casos em que a envoltória da edificação promove interferências como reflexões no período diurno.

Contudo, constatou-se que nem sempre as características do meio são propícias à termografia. Além das reflexões, que na maioria das vezes são mitigadas com técnicas, como alteração do ângulo de visão ou do horário do ensaio, a distância entre o alvo e o equipamento pode ser um grande obstáculo durante a inspeção, podendo até inviabilizar o uso da termografia no local.

Outrossim, por ser um ensaio passivo, a forma de aquecimento do ambiente influencia nos resultados. Constatou-se que ambiente com pouca incidência solar, e conseqüentemente pouca variação de temperatura, não apresentou resultados termográficos satisfatórios.

Nesses casos, verificou-se que quando a análise qualitativa da imagem térmica não for suficiente, é possível empregar ensaios complementares a fim de trazer resultados mais assertivos.

Da mesma forma, constatou-se que o contrário também é válido, ou seja, a técnica pode ser usada como complementação a outros ensaios, a fim de ratificar resultados

obtidos, como também é capaz de auxiliar na identificação do sistema estrutural para que estes não sejam danificados em ensaios que exijam extração de corpo de prova.

De modo geral, a técnica demonstrou gerar pouco risco a segurança do instrumentador.

Conclui-se que a termografia é uma técnica que precisa de capacitação do instrumentador para que este saiba identificar e mitigar o efeito das adversidades existentes no microclima da edificação que são capazes de gerar resultados equivocados.

É certo que os ensaios termográficos têm muito a contribuir com as investigações de manifestações patológicas em fachadas, identificando por vezes anomalias precocemente, ocultas, diminuindo conseqüentemente os impactos e custos para o reparo dos problemas (manutenções corretivas).

Por fim, a inspeção de fachada por termografia demonstrou possuir mais vantagens que limitações. Por tanto, estudos sobre a matéria devem continuar sendo aprofundados, visando a evolução da termografia em inspeções de fachada de modo a superar as atuais limitações da técnica.

8 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

É certo que o emprego mais comum de inspeção de fachadas é a investigação visual somada ao teste de percussão. Contudo, constatou-se que a inspeção por termografia além de constatar as anomalias visíveis e não visíveis, reduz bruscamente o risco a segurança, o tempo de execução e quantidade de profissionais envolvidos.

Portanto, para trabalhos futuros, sugere-se a comparação de resultados entre as duas técnicas, a fim de verificar se a termografia é capaz de gerar resultados semelhantes e/ou superiores aqueles obtidos por investigação visual e teste a percussão, visando principalmente mitigar o risco existente nos testes a percussão.

Ainda, tendo em vista as dificuldades encontradas em realizar o ensaio de modo adequado nas partes mais altas da edificação, sugere-se estudos com a câmera termográfica acoplada ao Veículo aéreo não tripulado (VANT), a fim de identificar a capacidade de identificação de anomalias precocemente, ocultas, por este equipamento.

Para ambos os casos, termografia em solo e em VANT, sugere-se análise dos custos envolvidos, a fim de comparar com os custos do teste a percussão e inspeção visual objetivando verificar o custo-benefício e viabilidade econômica da termografia.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1060 – 11a** – Standard Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings. West Conshohocken 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 1213 – 14** - Standard Practice for Minimum RESolvable Temperature Difference for Thermal Imaging Systems. West Conshohocken, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 1862 – 14** - Standard Practice for Measuring and Compensating for Reflected Temperature Using Infrared Imaging Radiometers. West Conshohocken, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 1897 – 14** – Standard Practice for Measuring and Compensating for Transmittance of na Attenuating Medium Using Infrared Imaging Radiometers. West Conshohocken, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 1933 – 14** - Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers. West Conshohocken, 2018.

ÁLVARES-TEY, G.; JOMÉNEZ-CASTAÑEDA, R.; CARPIO, J. Analysis of the configuration and the location of thermographic equipment for the inspection in photovoltaic systems. **Infrared Physics & Technology**, Espanha, vol, 87, p. 40 – 46, oct. 2017.

ANDRADE, R.P.; RESENDE, M.M.; MARANHÃO, F.L.; PORTELLA, F.; BULZICO, B.; **Estado da arte da utilização da técnica de termografia da técnica de termografia embarcada em drones para inspeção de revestimentos de fachadas. In:** Workshop de tecnologia de processos e sistemas construtivos, 2019 TECSIC 2019, São Paulo. Anais, São Paulo: ANTAC, 2019, E0190. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/tecsic/article/view/358/295>. Acesso em: 07 de setembro de 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15424** – Ensaio não destrutivo – Termografia – Terminologia. Rio de Janeiro, 2016

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16969**– Ensaio não destrutivo – Termografia infravermelha – Princípios gerais. Rio de Janeiro, 2021

BAGAVATHIAPPAN, S.; LAHIRI, B. B.; SARAVANAN, T. PHILIP, J.; JAYAKUMAR, T. Infrared thermography for condition monitoring – a review. **Infrared Physics & Technology**, Amsterdã, vol, 60, p. 35 – 55, mar. 2013

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**, 2. 5ª ed. – Rio de Janeiro. LTC, 2008.

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**. Germany, v.8, p. 517-528, jun. 2018.

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

BAUER, E.; SOUZA, J. S.; MOTA, L. M. G. Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.21, n.4, p. 23-43. Out./Dez. 2021.

BRIQUE, S. K.; **Emprego da termografia infravermelha no diagnóstico de falhas de aderência de peças cerâmicas utilizadas em fachadas de edifícios**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

CHRZANOWSKI, K. **Non-Contact Thermometry – Measurement Errors**. Vol. 7. Warsaw, SPIE-PL, 2001.

CORTIZO, E. C. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: ênfase em edificações do patrimônio histórico.**2007. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

FERREIRA, J. B.; LOBÃO, V. W. N. Manifestações patológicas na construção civil. **Cadernos de graduação.** V. 5, n. 1. P. 71-80. Out. 2018.

FLIR. **Thermal imaging guidebook for building and renewable energy applications – An informative guide for the use of thermal imaging câmeras for inspecting building, solar panels and windmills.** 2011.

FLUKE. Introduction to thermography principles. American Technical Publishers, Inc, Fluke Corporations, and The Snell Group. EUA. 2009.

FLUKE. **Thermal imaging basics for building inspections – An infrared building inspection guidebook.** E.U.A., 2011.

FOX, M.; GOODHEW, S.; WILDE, P. Building defect. Detection: External versus internal thermography. **Building and Environment.** Reino Unido, v. 105. p. 3217-331, jun. 2016.

FREITAS, J. G.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.14. n.1, p. 57-73, jan./mar. 2014.

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

GARRIDO, I.; LAGÜELA, S.; ARIAS, P. Infrared Thermography's application to infrastructure inspections. **Infrastructures.** Espanha. v.3,35. Set. 2018.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. **Física 4**. 5 eds. Rio de Janeiro, LTC, 2004.

HART, J. M. **A practical guide to infra-red thermography for building surveys**. Building Research Establishment: Garston.1991.

HELENE, P. R. L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. 2 ed. São Paulo: PINI. 1992 e 1988.

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

IBORRA, G.; FERNÁNDEZ, I. G.; LARREA, X. S. C. **Termographic map of the Vitoria-Gasteiz facades**. 12th International Conference on Quantitative Infrared Thermography, France, Bordeaux, 7 - 11 July 2014. <https://www.ndt.net/?id=17673>

INCROPERA, P. I.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S.. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. LTC: Rio de Janeiro. 2008.

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

LOURENÇO, T.; MATIAS, L.; FARIA, P. Anomalies detection in adhesive wall tiling systems by infrared thermography. **Construction and building materials**, Portugal, v. 148, p. 419-428, mai. 2017.

MAIA NETO, F.; SILVA, A. P.; CARVALHO JR. A. N. Perícias em patologias de revestimentos em fachadas *In*: X Congresso brasileiro de engenharia de avaliações e perícias (COBREAP). 1999, Porto Alegre, **Anais**.

MALDAGUE, X. X. P.; MOORE, P. O. **Infrared and termal testing. III. Series: Nondestructive testing handbook**. 3 ed. American Society for Nondestructive Testing. Columbus, Ohio. 2001.

MENDONÇA, L. V. Termografia por infravermelhos – Inspeção de betão. **Engenharia & vida**, nº 16, p. 53-57, setembro 2005.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 18** – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2015.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 35** – Trabalho em Altura. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2012.

NUNES, F. M. M. P.; **Identificação de patologias em revestimentos cerâmicos de fachadas por meio da termografia**. 2016. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, A. P. B. William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. V. 36, n. 4, 4603, 2014.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. **Revista Técnico-científica do CREA-PR**. 1 ed. p. 1-14. Out. 2013.

RAMALHO; NICOLAU; TOLEDO. **Os fundamentos da física – termologia, óptica, ondas**. 10 ed. São Paulo: Moderna, 2009.

ROGALSKI, A.; CHRZANOWSKI, K. Infrared devices and techniques (revision). **Metrology and Measurement Systems**, Polônia, vol. XXI, n. 4, p. 565-618, 2014

SANTOS, C. F.; 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, v. 19, n. 1, p. 105-127, jan./mar. 2019.

SANTOS, M. C. F. N. Uso da termografia para caracterizar qualitativamente fachadas de edifícios. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na especialidade de Construções), Faculdade de ciências e tecnologia, universidade de Coimbra, Coimbra, 2014.

SILVA, A. F. **Manifestações patológicas em fachadas com revestimentos argamassados. Estudo de caso em edifícios em Florianópolis.** 2007. Dissertação (Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SILVA, W. P. A.; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C.; RUIZ, R. D. B.; ROCHA, J. H. A. Inspeção de manifestações patológicas em edifícios utilizando câmera termográfica integrada ao veículo aéreo não tripulado (VANT): uma pesquisa documental, **Revista ALCONPAT**, v. 11 (1), p. 123 – 139, abr. 2021.

SILVA, M. N. B.; BAUER, E.; CASTRO, E. K. Avaliação da degradação em sistemas de revestimento cerâmico de fachadas de Brasília. **Simpósio de argamassas e soluções térmicas de revestimento**, 2014, Coimbra, 2014.

TAKEDA, O. T.; MAZER, W. Potencial da análise termográfica para avaliar manifestações patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas, **Revista ALCONPAT**, v. 8 (1), p. 38 – 50, abr. 2018.

TITIMAN, D. J. Applications of thermography in non-destructive testing of structures. **NDT&E International**. V. 34, 149-154, 2001.

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

VERATTI, A. B., **Termografia – Princípios e Aplicações.** AGA S. A. Sistemas Infravermelhos. 1984.

WYLEN, G. J. V., Fundamentos da termodinâmica. 5 ed. Editora Edgard Blücher Ltda.1997.