ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia de Construção Civil

RENAN PEREIRA DE ANDRADE

**Uso da termografia infravermelha embarcada em drone como
ferramenta para a inspeção de patologias em revestimentos
aderidos de fachada**

São Paulo

2020

RENAN PEREIRA DE ANDRADE

**Uso da termografia infravermelha embarcada em drone como
ferramenta para a inspeção de patologias em revestimentos
aderidos de fachada**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Orientador: Prof. Dr. Flávio Leal Maranhão.

São Paulo

2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 30 de Outubro de 2020

Assinatura do autor: Renan P. de Andrade

Assinatura do orientador: [Assinatura]

Catálogo-na-publicação

Andrade, Renan Pereira de

Uso da termografia infravermelha embarcada em drone como ferramenta para a inspeção de patologias em revestimentos aderidos de fachada / R. P. Andrade -- versão corr. -- São Paulo, 2020.

199 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Técnicas Não Destrutivas (TND) 2.Termografia Infravermelha 3.Inspeção 4.Destacamento 5.Drone I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

Toda dedicação:

a Deus,

pela chuva de oportunidades;

a família,

pelo amor, apoio e dedicação;

a aqueles que viram em mim

uma oportunidade de fazer parte disto;

e a todos aqueles próximos que

tornaram a caminha mais alegre,

leve e enriquecedora.

AGRADECIMENTOS

Com muita satisfação compartilho este espaço como um espaço de gratidão. O ato de pesquisar jamais terá sua trajetória realizada sozinha e o meu percurso para a conclusão deste trabalho não foi diferente. Diversos foram os envolvidos, indiferentemente se estavam ligados diretamente ou não com o campo da pesquisa. Amigos do ciclo profissional, amigos do ciclo pessoal, família, todos tiveram grande papel para esta realização.

Agradeço primeiramente a Deus, por estar constantemente me presenteando com oportunidades. Não apenas oportunidades, mas sem dúvidas, estive constantemente zelando por mim e me guiando para os melhores caminhos e decisões.

Agradeço a família, que foi meu alicerce por toda a vida e construiu as bases para sustentar o que hoje construo e sou. Agradeço aos amigos, também parte da família, que me fizeram vislumbrar força, incentivo, dedicação e felicidade para me manter firme em todo este ciclo.

Agradeço ao professor Flávio Maranhão, pelas diversas oportunidades que me proporcionou, por toda mentoria, pela dedicação e por depositar constantemente confiança em mim de modo a propor desafios cada vez maiores. Deixo aqui o meu muito obrigado por tudo.

Agradeço aos professores Brenda Leite, Mércia Barros, Maurício Resende, Antônio Figueiredo, Renata Monte, Sílvio Melhado e demais professores pelos conselhos valiosos e por serem exemplos para mim. Olho para vocês e vejo inspiração. Obrigado!

Agradeço a Eng. M.Sc. Fabiana Ribeiro e ao Eng. Marcelo Dama por disponibilizarem estudos de casos e estarem sempre de braços abertos para ajudar. Obrigado!

Agradeço ao amigo Tiago Marum por dedicar tempo e compartilhar conhecimentos e ao amigo Max Junginger pelos diversos momentos de discussão, sejam relacionadas a pesquisa ou não, todas foram de grande valia. O trabalho apresentou esta robustez graças as suas sugestões, conversas e apoio.

Obrigado aos laboratoristas Adilson dos Santos, Jéssica Bragatti e Mário pelo suporte nas mais diversas situações.

Obrigado aos colegas de programa e pesquisadores pelas constantes discussões e momentos de descontração. Agradeço a todos os colegas e colaboradores do departamento de Engenharia da Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. E todos aqueles que me fizeram companhia por todos estes anos.

A estrela cadente
me caiu ainda quente
na palma da mão

Paulo Leminski

RESUMO

ANDRADE, Renan Pereira de. **Uso da termografia infravermelha embarcada em drone como ferramenta para a inspeção de patologias em revestimentos aderidos de fachada**. 2020. 199 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção tem evidenciado grande incidência de casos de destacamento de fachadas em todo o Brasil. Diversos estados e municípios têm tomado medidas como a elaboração de leis com obrigação de inspeções periódicas e emissão de certificados de inspeção predial com o objetivo de minorar esses indicadores. Os processos hoje utilizados para a realização destas inspeções necessitam muitas vezes de elevados investimentos e demandam tempo. Neste cenário, a busca por técnicas inovadoras, que aliem agilidade de execução, baixo custo e flexibilidade são cada vez mais cogitadas. Assim este trabalho objetiva investigar o uso da termografia como método não destrutivo para a detecção de manifestações patológicas em revestimentos aderidos de fachada, de maneira a tornar o processo de inspeção de fachadas mais seguro, econômico, ágil e com menor transtorno para os usuários das edificações. Caso embarcada em drones, é possível inspecionar fachadas de edifícios multipavimentos em pequeno espaço de tempo se comparado aos métodos convencionais de investigação e eliminar interferências de medição por termografia infravermelha como angulação e distância. Para isso, é proposto um programa experimental composto por fase laboratorial com avaliações em ambiente interno, fase de campo com avaliação em ambiente externo e avaliação com casos reais. Nas fases de laboratório interna e externa, são investidas as variáveis: câmeras termográficas; tipo de superfícies revestidas; diferentes dimensões de falhas; diferentes profundidades de falhas e; diferentes distâncias de análise. É proposta ainda, a avaliação da influência das condições climáticas na fase externa. Na fase de estudos de casos, as diretrizes traçadas nas fases laboratoriais são validadas em ambiente real e os resultados obtidos são comparados com processos de diagnóstico tradicionalmente executados. Dentre os resultados, é observado que a câmera de menor IFOV possibilitou a detecção de maior quantidade de falhas em

maiores profundidades, no entanto quantidades similares para as falhas mais próximas da superfície simuladas. A câmera de maior IFOV apresentou maior dificuldade de detectar pequenas variações térmica além de falhas pequenas como a 10x10 cm. Ainda, as falhas pequenas quando detectadas apresentavam erros na delimitação das áreas detectadas quando comparada a de menor IFOV. A técnica demonstrou a possibilidade de detecção de falhas até a profundidade de 8 centímetros quando garantida condições específicas de indução térmica sendo muito comum a detecção de falhas nas profundidades de 1 e 4cm. Na etapa de campo, os resultados obtidos demonstraram maior possibilidade de detecção das falhas simuladas em dia ensolarado com presença de grandes amplitudes térmicas e incidência solar. O período do dia entre as 9h e 16h se apresentaram o intervalo ideal para a realização do procedimento com maior possibilidade de detecção de anomalias. Protocolo é proposto para a aplicação da técnica com drone e contempla diretrizes sobre condições seguras de aplicação e maior confiabilidade e os resultados demonstram a potencialidade de aplicação da técnica. Uma vez atendidas as características e diretrizes propostas modo a garantir maior confiabilidade para a aplicação da termografia, a técnica quando embarcada em drone se apresentou bastante útil para a detecção de falhas em sistemas aderidos.

Palavras-chave: Técnicas Não Destrutivas (TND). Termografia Infravermelha. Inspeção. Destacamento. Drone.

ABSTRACT

ANDRADE, Renan Pereira de. **Use of infrared thermography loaded on drones as a tool for the inspection of pathologies in adhered facade coatings.** 2020. 199 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. loaded on drones

Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) has shown a high incidence of cases of detachment of façades throughout Brazil. Several states and municipalities have taken measures such as the drafting of laws requiring periodic inspections and the issuance of building inspection certificates in order to reduce these indicators. The processes used today to carry out these inspections often require high investments and are time consuming. In this way, the search for innovative techniques, which combine agility of execution, low cost and flexibility are increasingly considered. Thus, this work aims to investigate the use of thermography as a non-destructive method for the detection of pathological manifestations in adhered facade coverings, in order to make the façade inspection process safer, economical, agile and with less inconvenience for building users. . If loaded on drones, it is possible to inspect facades of multi-floor buildings in a short time compared to conventional methods of investigation and to eliminate measurement interferences by infrared thermography such as angulation and distance. For this, an experimental program is proposed, consisting of a laboratory phase with evaluations in an internal environment, a field phase with an evaluation in an external environment and evaluation with real cases. In the internal and external laboratory phases, the variables are investigated: thermographic cameras; type of coated surfaces; different dimensions of failures; different failure depths and; different analysis distances. It is also proposed to assess the influence of climatic conditions in the external phase. In the case study phase, the guidelines outlined in the laboratory phases are validated in a real environment and the results obtained are compared with traditionally performed diagnostic processes. Among the results, it is observed that the smaller IFOV camera enabled the detection of a greater number of faults at greater depths, however similar amounts for faults closer to the simulated surface. The larger IFOV camera showed greater difficulty in detecting small thermal variations in addition to small flaws such as 10x10 cm. Still, the small flaws

when detected had errors in the delimitation of the detected areas when compared to the smaller IFOV. The technique demonstrated the possibility of detecting failures up to a depth of 8 centimeters when specific conditions of thermal induction are guaranteed, with failure detection at depths of 1 and 4 cm being very common. In the field stage, the results obtained demonstrated a greater possibility of detecting the simulated failures on a sunny day with the presence of large thermal amplitudes and solar incidence. The period of the day between 9 am and 4 pm was the ideal interval for performing the procedure with a greater possibility of detecting anomalies. Protocol is proposed for the application of the technique with drone and includes guidelines on safe conditions of application and greater reliability and the results demonstrate the potential of application of the technique. Once the proposed characteristics and guidelines have been met in order to ensure greater reliability for the application of thermography, the technique when shipped on a drone proved to be very useful for detecting flaws in attached systems.

Keywords: Non Destructive Techniques (NDT). Infrared thermography. Inspection. Detachment. Drone.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Casos de destacamento	2
Figura 2 – (a) martelinho PVC como ferramenta para exame de percussão. (b) mapeamento de destacamento em fachada revestida em ensaio de percussão com a utilização de cadeirinha	15
Figura 3 – (a) utilização de balancim para exame e mapeamento da fachada (b) mapeamento de destacamento e fissura em fachada revestida	16
Figura 4 – Modelo do espectro eletromagnético com a representação de suas respectivas faixas. Nele é detalhado a faixa do espectro visível, frisada a faixa de radiação infravermelha e ilustrada de forma figurativa o aumento do comprimento de onda com a diminuição da frequência.....	21
Figura 5 – Representação esquemática do processo de captação de uma câmera termográfica infravermelha e os fatores influenciadores. Radiação emitida pelo: (1) meio adjacente; (2) objeto; (3) atmosfera. E detalhes da: (4) câmera termográfica e; (5) termograma.....	22
Figura 6 – Representação esquemática do processo de calibração dos termovisores através de radiadores isotérmicos de cavidade (corpos negros) com diferentes temperaturas (padrão de calibração infravermelho)	24
Figura 7 – Ilustração da aplicação da técnica de termografia em análise passiva com fluxo térmico de indução natural através do sol.....	32
Figura 8 – Ilustração da aplicação da técnica de termografia com análise ativa e fluxo térmico por indução artificial através de painel radiante: (a) fonte posicionada a frente da superfície em análise; (b) fonte posicionada posterior a superfície em análise	32
Figura 9 – Princípio da detecção de anomalias em sistemas aderidos na qual a anomalia se apresenta mais evidente no período do início da manhã e no início da noite com maiores variações de temperatura entre as áreas íntegras e destacadas	37

Figura 10 – Termogramas obtidos de protótipos com simulação de falha de descolamento em processo de aquecimento. (a) sem aquecimento. (b) início do aquecimento. (c) após 5 minutos. (d) após 10 minutos. (e) após 20 minutos. (f) após 30 minutos 38

Figura 11 – Detecção de destacamento (D) em fachada de edifício no período da tarde em processo de resfriamento da fachada na qual a manifestação se apresenta mais fria que as demais regiões, aparentemente integras..... 38

Figura 12 – Detecção de destacamento em ensaio laboratorial com termografia passiva. (a) no período da manhã a falha induzida se apresenta mais quente que as áreas sem a presença de falha. (b) no período da tarde em processo de resfriamento da fachada a falha se apresenta mais fria que as demais regiões 39

Figura 13 – (a) microbolômetro, (b) Ampliação e detalhe dos microbolômetros do detector de plano focal (c) Detectores de Plano Focal, (d) FOV, (e) IFOV e (f) MFOV = 3 x IFOV 42

Figura 14 – Termograma da fachada de edifício com presença de diferentes materiais com emissividades distintas. Esta distinção acarreta grandes diferenças de temperaturas entre as esquadrias, revestimentos e elementos de proteção devido aos diferentes valores de emissividade dos materiais, além de apresentar valores de temperatura diferente aos reais apresentados 43

Figura 15 – Influência do ângulo de inclinação do alvo e consequentemente a influência da inclinação da emissividade no resultado dos termogramas..... 44

Figura 16 – Sombra presente na fachada do edifício gerada pela presença de um elemento externo gerando interferência no processo de análise por termografia 44

Figura 17 – (a) Ilustração de exemplar dos painéis radiantes utilizados com locação das lâmpadas (b) ilustração da disposição dos painéis a 45° com relação aos protótipos estudados (c) imagem dos painéis no momento do aquecimento dos protótipos (d) visualização interna com detalhe na fixação do dispositivo medidor de radiação e termopares para medições de temperaturas superficiais e ambiente 48

Figura 18 – Placas com superfícies: (a) lisa (esmaltada); (b) rugosa (fosca); (c) as placas rugosas nas tonalidades clara e escura50

Figura 19 – Ilustração da alocação das falhas nos protótipos revestidos. (a) as profundidades de inserção das falhas em EPS alocadas em profundidades com relação a superfície do protótipo (b)53

Figura 20 – Processo executivo dos protótipos 1, 2 e 3 com inserção das placas de simulação de falhas (vazios em EPS) em diferentes profundidades do sistema revestido. (a) execução da alvenaria; (b) colagem dos insertes referente a profundidade de 8cm sobre a base; (c) execução da camada de regularização até a próxima cota de profundidade de falha; (d) exemplar de inserção de falhas referente a 4cm de profundidade coladas sobre a camada de regularização; (e) execução da camada decorativa com assentamento das placas cerâmicas; (f) protótipos finalizados54

Figura 21 – Método de indicações de avaliação qualitativa sobre a possibilidade de visualização das falhas em seus respectivos locais inseridos.....58

Figura 22 – Método de indicações de avaliação quantitativa sobre a possibilidade de visualização das falhas em seus respectivos locais inseridos59

Figura 23 – Ilustração da alocação das falhas nos protótipos revestidos. (a) as profundidades de inserção das falhas em EPS alocadas em profundidades com relação a superfície do protótipo (b)62

Figura 24 – Processo executivo do protótipo para aplicação de metodologia passiva com inserção das placas de simulação de falhas (vazios) em diferentes profundidades do sistema revestido divididos em dois revestimentos: claro e escuro62

Figura 25 – Posicionamento dos protótipos (em vermelho) e posição solar no dia de 12 de agosto de 2019 no qual foram realizados os ensaios na etapa de campo63

Figura 26 – Método de classificação de áreas mapeadas com a técnica de detecção por percussão e por termografia. (a) e (b) exemplares de área mapeadas

classificadas e quantificadas em “confere”. (c) exemplar de área classificada e quantificada em “converge” 66

Figura 27 – Visualização dos termogramas referente ao intervalo de temperatura superficial de 20/25°C, na distância de 7 metros para as câmeras CT320 e CT160, além das respectivas temperaturas e variações térmicas das áreas com a falha e adjacente em equilíbrio ilustradas no gráfico a direita 73

Figura 28 – Visualização dos termogramas referente ao intervalo de temperatura superficial de 45/50°C e 50/55°C, na distâncias de captura de 10 metros para as câmeras CT320 e CT160, no qual apresenta a possibilidade de visualização das falhas inseridas na profundidade de 8cm..... 74

Figura 29 – Visualização dos termogramas referente ao intervalo de temperatura superficial de 50/55°C, na distância de análise de 5 metros capturados com a CT320. Acima é apresentado o termograma referente ao P2 e respectivos perfis térmicos para áreas com e sem anomalia térmica. Abaixo o respectivo local para o P3 no qual não possibilitou a visualização e sem os respectivos picos 80

Figura 30 – Visualização dos termogramas referente ao intervalo de temperatura superficial de 35/40°C, na distância de análise de 3 metros capturados com a CT320. Acima é apresentado o termograma referente ao P2 e respectivos perfis térmicos para áreas com e sem anomalia térmica. Abaixo o respectivo local para o P3 e as diferenças de variação térmica encontrada entre eles..... 95

Figura 31 – Visualização dos termogramas capturados com a CT320 na distância de 7 metros e seus respectivos horários do dia para condições climáticas com características de dia ensolarado com elevadas temperaturas e irradiância solar 100

Figura 32 – Visualização dos termogramas capturados com a CT320 na distância de 7 metros e seus respectivos horários do dia para condições climáticas com características de dia nublado, baixas temperaturas e baixa irradiância solar 108

Figura 33 – Detecção de falhas simuladas para os protótipos 1, 2 e 3 da etapa laboratorial após avaliação pela técnica de: lado esquerdo – percussão; lado direito – termografia infravermelha 109

Figura 34 – Detecção de falhas simuladas para os protótipos 4 e 5 da etapa de campo após avaliação pela técnica de: lado esquerdo – percussão; lado direito – termografia infravermelha..... 112

Figura 35 – Vista do empreendimento objeto de estudo e seu entorno além de previsão do ambiente para a realização da inspeção 115

Figura 36 – Formato da planta do empreendimento com detalhes da arquitetura, numerais de indicação de sequência de voo e identificação das fachadas: (a) fachada frontal – FF; (b) fachada lateral direita – FD; (c) fachada lateral esquerda – FE; (d) fachada posterior – FP 116

Figura 37 – Exemplares das áreas previstas para decolagem e pouso do drone específicos para cada fachada do empreendimento 118

Figura 38 – Exemplar de objetos que devem ser constantemente observados no processo de inspeção e contemplam parte da iteração (iv) 119

Figura 39 – Mapeamento térmico e por percussão do estudo de caso 1 – Fachada frontal 120

Figura 40 – Mapeamento térmico e por percussão do estudo de caso 1 – Fachada posterior 121

Figura 41 – Mapeamento térmico e por percussão do estudo de caso 1 – Fachadas laterais 122

Figura 42 – Mapeamento por termografia. (a) influência da câmera embarcada sem estabilização no drone com transferência de vibração para a imagem. Influência da amplitude térmica na qualidade do termograma: (b) baixa amplitude térmica com maior visualização dos contrastes térmicos (c) maior amplitude térmica influenciada pelo céu ao fundo..... 124

Figura 43 – Vista do empreendimento objeto de estudo e seu entorno além de previsão do ambiente para a realização da inspeção 127

Figura 44 – Formato da planta do empreendimento com detalhes da arquitetura, numerais de indicação de sequência de voo e identificação das fachadas: (a) fachada

frontal – FF; (b) fachada lateral direita – FD; (c) fachada lateral esquerda – FE; (d) fachada posterior – FP..... 127

Figura 45 – Exemplos das áreas previstas para decolagem e pouso do drone específicos para cada fachada do empreendimento 128

Figura 46 – Exemplo de objetos que devem ser constantemente observados no processo de inspeção e contemplam parte da iteração (iv)..... 130

Figura 47 – Mapeamento térmico do estudo de caso 2 – Fachada frontal... 133

Figura 48 – Mapeamento térmico do estudo de caso 2 – Fachada lateral esquerda..... 134

Figura 49 – Mapeamento térmico do estudo de caso 2 – Fachada lateral direita 135

Figura 50 – Mapeamento térmico do estudo de caso 2 – Fachada posterior 136

Figura 51 – Mapeamento por percussão do estudo de caso 2 – Fachada frontal 137

Figura 52 – Mapeamento por percussão do estudo de caso 2 – Fachada lateral esquerda..... 138

Figura 53 – Mapeamento por percussão do estudo de caso 2 – Fachada lateral direita 139

Figura 54 – Mapeamento por percussão do estudo de caso 2 – Fachada posterior..... 140

Figura 55 – Verificação de área com descolamento detectada por termografia e não apresentada pelo processo de percussão 142

Figura 56 – Verificação de área com descolamento mapeadas em andares distintos na fachada lateral esquerda 143

Figura 57 – Verificação de área com descolamento mapeadas em andares distintos na fachada posterior.....	144
Figura 58 – Verificação de área detectadas por termografia e não detectadas por percussão na fachada lateral esquerda	145
Figura 59 – Verificação de área detectadas por termografia e não detectadas por percussão e igualmente área detectada por percussão e posteriormente encontrada por termografia na fachada frontal.....	146
Figura 60 – 5 pilares de iterações dinâmicas principais para o protocolo proposto de inspeção de fachadas aderidas com termografia infravermelha embarcada em drone	149
Figura 61 – Inspeção de uma face do empreendimento por vez com o intuito de garantir maior segurança de voo.....	152
Figura 62 – Assegurar boas condições de decolagem e pouso após averiguação da possibilidade de colisão com objetos adjacentes. Sugere-se área de ao menos 9m ² para decolagem e pouso	153
Figura 63 – Proposição de sequência de inspeção das fachadas com suas respectivas orientações cardeais e seus respectivos intervalos ideais de inspeção	156
Figura 64 – Proposição de modelo de confiabilidade para a aplicação da técnica de termografia infravermelha para a detecção de destacamento sistemas revestidos aderidos	164
Figura 65 – Ilustração do processo de obtenção da temperatura aparente refletida. (a) aparato refletor; (b) aparato posicionado sobre a superfície de análise; (c) termograma capturado de maneira errada com distância longa do aparato; (d) termograma capturado de maneira correta contendo todo o aparato refletor contido no termograma em curta distância	179

Figura 66 – Processo de medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas conforme recomendações expressas na norma brasileira NBR 16292 (2014b) e fabricante Flir Systems (2013)..... 180

Figura 67 – Processo de medição e compensação da emissividade utilizando câmeras termográficas conforme recomendações expressas na norma brasileira NBR 16485 (2016b) e Infrared Training Center (2018) 182

Figura 68 – Processo de medição e compensação da emissividade utilizando câmeras termográficas conforme recomendações expressas na norma brasileira NBR 16485 (2016b) e Infrared Training Center (2018) 183

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais legislações vigentes e projetos de lei sobre inspeções prediais no Brasil.....	12
Tabela 2 – Levantamento bibliográfico sobre estudos de detecção de destacamentos em relação ao tamanho, profundidade, método de análise e horários recomendados para a inspeção de pontes de concreto.....	40
Tabela 3 – Placa cerâmica com superfície lisa esmaltada e cor clara (cerâmica 1).....	50
Tabela 4 – Placa cerâmica com superfície fosca e cor clara (cerâmica 2)	51
Tabela 5 – Placa cerâmica com superfície fosca e cor escura (cerâmica 3) ..	51
Tabela 6 – Protótipos e variáveis propostas para o programa experimental em metodologia ativa com avaliação através de câmeras com alta e baixa resolução...	52
Tabela 7 – Câmera de baixa resolução térmica utilizada e denominada aqui como CT160.....	55
Tabela 8 – Câmera com resolução térmica utilizada denominada aqui como CT320	55
Tabela 9 – Psicrômetro de umidade para medição dos parâmetros de umidade relativa do ar e temperatura ambiente.....	56
Tabela 10 – Solarímetro com bússola, inclinômetro e termômetros de temperatura ambiente e de contato para medição de irradiação de superfície.....	57
Tabela 11 – Medição do erro relativo médio para o processo de análise quantitativa para uma mesma área e imagem termográfica medidas por 20 vezes..	60
Tabela 12 – Tabela comparativa de avaliação qualitativa sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações para as duas câmeras com diferentes IFOV's, CT320 e CT160	70

Tabela 13 – Avaliação e classificação qualitativa de falhas detectadas através das câmeras CT320 e CT160 71

Tabela 14 – Tabela comparativa de avaliação qualitativa sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações para superfície de cor clara e escura avaliadas com a CT320 e CT160 76

Tabela 15 – Tabela comparativa de avaliação qualitativa sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações para superfície de cor escura avaliadas com a CT320 e CT160 76

Tabela 16 – Avaliação e classificação qualitativa de falhas detectadas através das câmeras CT320 e CT160 para os protótipos 2 e 3 77

Tabela 17 – Tabela comparativa de avaliação qualitativa sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações para superfície de cor clara e superfícies lisas e rugosas com a CT320 e CT160 81

Tabela 18 – Avaliação e classificação qualitativa de falhas detectadas através das câmeras CT320 e CT160 para os protótipos 1 e 2 82

Tabela 19 – Tabela comparativa de avaliação quantitativa com apresentação das áreas detectadas por termografia e medidas para as duas câmeras com diferentes IFOV's, CT320 e CT160 e seus respectivos erros relativos 84

Tabela 20 – Tabela comparativa de avaliação quantitativa com apresentação dos erros relativos entre a área detectada e medida por termografia e a área real do inserte para as duas câmeras com diferentes IFOV's, CT320 e CT160 e seus respectivos erros relativos 85

Tabela 21 – Tabela comparativa de avaliação quantitativa sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas variações para superfície de cor clara avaliadas com a CT320 e CT160. Acima são as áreas detectadas e medidas (cm²) e abaixo seus respectivos erros relativos (%)..... 92

Tabela 22 – Tabela comparativa de avaliação quantitativa sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas variações para superfície de cor escura

avaliadas com a CT320 e CT160. Acima são as áreas detectadas e medidas (cm²) e abaixo seus respectivos erros relativos (%)93

Tabela 23 – Avaliação e classificação qualitativa em abordagem passiva de falhas detectadas através das câmeras CT320 e CT160 para os protótipos 4 e 5 – dia ensolarado.....97

Tabela 24 – Avaliação e classificação qualitativa em abordagem passiva de falhas detectadas através das câmeras CT320 e CT160 para os protótipos 4 e 5 – dia nublado 106

Tabela 25 – Comparação do erro relativo na medição das falhas detectadas através das técnicas de percussão e de termografia na etapa laboratorial..... 111

Tabela 26 – Comparação da quantidade e erro relativo das falhas detectadas através das técnicas de percussão e termografia para os protótipos 4 e 5 – Dia ensolarado..... 113

Tabela 27 – Drone utilizado para o desenvolvimento do estudo de caso 1..114

Tabela 28 – Quantificação das áreas detectadas para ambas as técnicas em suas respectivas fachadas, além da comparação entre as duas técnicas – Estudo de caso 1..... 123

Tabela 29 – Drone utilizado para o desenvolvimento do estudo de caso 2..129

Tabela 30 – Quantificação das áreas detectadas para ambas as técnicas em suas respectivas fachadas, além da comparação entre as duas técnicas – Estudo de caso 2..... 141

Tabela 31 – Protocolo proposto com os respectivos 5 pilares de iteração dinâmica para a inspeção de fachadas revestidas aderidas com utilização de termografia infravermelha embarcada em drone..... 158

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Radiação eletromagnética emitida por um corpo negro em equilíbrio térmico a uma temperatura definida.	27
Gráfico 2 – Emissividades x comprimento de onda para os corpos: negro, cinzento, real e espelho perfeito	28
Gráfico 3 – Variação da emissividade em função do ângulo de observação para exemplares de não-metais: (1) madeira; (2) papel; (3) vidro	29
Gráfico 4 – Variação da emissividade em função do ângulo de observação para exemplares de metais: (1) níquel polido (2) níquel baço; (3) crómio; (4) alumínio ...	29
Gráfico 5 – Variação da emissividade em função da temperatura para exemplares materiais não-metálicos: (1) borracha; (2) porcelana; (3) cortiça; (4) papel; (5) argila refratária	30
Gráfico 6 – Medição da radiação média global incidida sobre os protótipos com posterior desligamento dos painéis radiantes e indicação dos intervalos de medição	49
Gráfico 7 – Medição da radiação média global incidida sobre o protótipo 1 com posterior desligamento dos painéis radiantes, indicação dos intervalos de medição, além de temperaturas máxima, média e mínima da superfície dos protótipos	68
Gráfico 8 – Medição da radiação média global incidida sobre os protótipos 2 e 3 com posterior desligamento dos painéis radiantes, indicação dos intervalos de medição, além de temperaturas máxima, média e mínima da superfície dos protótipos medidas em conjunto.....	68
Gráfico 9 – Quantidade de falhas detectadas e classificadas em “sim”, “levemente” e o total detectado com a somatória de ambos em função do intervalo de temperatura superficial avaliadas com a CT320 e CT160	75
Gráfico 10 – Quantidade de falhas detectadas e classificadas em “sim”, “levemente” e o total detectado com a somatória de ambos em função do intervalo de	

temperatura superficial. Ao lado esquerdo para o protótipo 2 em superfície de cor clara. Ao lado direito para o protótipo 3 com superfície em cor escura, ambos avaliados com a CT320 e CT16078

Gráfico 11 – Quantidade de falhas detectadas e classificadas em “sim”, “levemente” e o total detectado com a somatória de ambos em função do intervalo de temperatura superficial. Ao lado esquerdo para o protótipo 1 em superfície lisa. Ao lado direito para o protótipo 2 com superfície rugosa (fosca), ambos avaliados com a CT320 e CT160.....83

Gráfico 12 – Histograma de frequência dos erros relativos e média dos erros para todas as medições classificadas qualitativamente em “sim” do protótipo 1 em placas cerâmicas brancas e lisas e avaliadas com a câmera térmica CT320 e CT16086

Gráfico 13 – Desenho esquemático da frequência dos erros relativos avaliadas com a câmera térmica CT320 e CT16 em função do tamanho de falha analisada...87

Gráfico 14 – Ao lado esquerdo histograma de frequência dos erros relativos e média dos erros anterior avaliadas com a câmera térmica CT160 e ao lado direito histograma de erros relativos após retirada dos valores de falhas no tamanho de 10x10cm.....87

Gráfico 15 – *Boxplot* de erros relativos mensurados com a CT320 relacionados as profundidades simuladas e detectadas88

Gráfico 16 – Áreas medidas com a CT320 relacionados as profundidades de falhas simuladas e detectadas. Os resultados demonstram a medição de áreas cada vez menores com o aumento da profundidade, se comparadas com as áreas reais simuladas, ilustradas no gráfico através de linha vermelha nas áreas de 900, 400 e 100 cm²89

Gráfico 17 – Ao lado esquerdo *boxplot* de erros relativos mensurados com a CT160 relacionados as profundidades simuladas e detectadas, além de grande quantidade de outliers relacionados aos erros relativos das falhas de 10x10 cm simuladas. Ao lado direito *boxplot* do erro relativo sem a influência do tamanho de falha 10x10cm medida90

Gráfico 18 – *Boxplot* da frequência de erros relativos mensurados com a CT320 e CT160 (sem tamanho de 10x10cm) e relacionados as distâncias de análise 91

Gráfico 19 – Na parte superior histograma de frequência dos erros relativos e média dos erros relativos avaliadas com a câmera térmica CT320 para os protótipos 2 e 3 com core clara e escura apenas classificadas em “sim”. Na parte inferior histograma de erros relativos avaliados com a câmera térmica CT160 94

Gráfico 20 – Medição da irradiância média global incidida sobre os protótipos 4 e 5 na etapa de campo com dia ensolarado, além de temperatura ambiente e superficiais..... 96

Gráfico 21 – Quantidade de falhas detectadas e classificadas em “sim”, “levemente” e o total detectado em função do intervalo de temperatura superficial. Ao lado esquerdo para o protótipo 4 em superfície de cor clara. Ao lado direito para o protótipo 5 com superfície em cor escura, ambos avaliados com a CT320 e CT160 – dia ensolarado 98

Gráfico 22 – Ao lado esquerdo histograma de frequência dos erros relativos e média dos erros do protótipo em superfície clara e avaliado com as duas câmeras. Ao lado direito histograma de erros relativos ao protótipo de cor escura avaliado com as duas câmeras 101

Gráfico 23 – *Boxplot* de erros relativos mensurados em função do tamanho de falha avaliados com as câmeras CT320 e CT160 para os protótipos com superfície clara e escura 102

Gráfico 24 – Ao lado esquerdo histograma de frequência dos erros relativos e média dos erros do protótipo em superfície clara e avaliado com as duas câmeras. Ao lado direito histograma de erros relativos ao protótipo de cor escura avaliado com as duas câmeras 103

Gráfico 25 – *Boxplot* e histograma de frequência de erros relativos mensurados com a CT320 e CT160 (sem tamanho de 10x10cm) e relacionados as profundidades de 1cm, 4cm e 6cm simuladas e detectadas em abordagem passiva..... 104

Gráfico 26 – Medição da irradiância média global incidida sobre os protótipos 4 e 5 em abordagem passiva com dia ensolarado, além de temperatura ambiente e superficiais 105

Gráfico 27 – Quantidade de falhas detectadas e classificadas em “sim”, “levemente” e o total detectado em função do intervalo de temperatura superficial. Ao lado esquerdo para o protótipo 4 em superfície de cor clara. Ao lado direito para o protótipo 5 com superfície em cor escura, ambos avaliados com a CT320 e CT160 – dia nublado..... 107

Gráfico 28 – Temperatura ambiente para o dia 11 de abril de 2019 em que foi realizada a inspeção térmica do estudo de caso 1..... 117

Gráfico 29 – Temperatura ambiente para o dia 01 de outubro de 2019 em que foi realizada a inspeção térmica do estudo de caso 2..... 129

LISTA DE SIGLAS

- A**
- AABIC – Associação das Administradoras de Bens Imóveis e Condomínios
 - ABENDI – Associação Brasileira de Ensaaios Não Destrutivos e Inspeção
 - ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
 - ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil
 - ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações
 - ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres
 - ANS – Antes do Nascer do Sol
 - ARP – Aeronave Remotamente Pilotada
 - ART – Anotação de Responsabilidade Técnica
 - ASPACER – Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento
- B**
- BVLOS – *Beyond Visual Line of Sight*
- C**
- CAU/RS – Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Rio Grande do Sul
 - CCB – Centro Cerâmico do Brasil
 - CRC – Centro de Revestimento Cerâmico
 - CREA/MA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de Maranhão
 - CREA/RS – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de Rio Grande do Sul
- D**
- DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo da Aeronáutica

- E** END – Ensaios Não Destrutivos
 EPS – *Expanded PolyStyrene* (Poliestireno expandido)
 EVLOS – *Extended Visual Line of Sight*
- F** FOV – *Field of View*
 FPS – *Frames per Second*
- G** GPS – *Global Positioning System*
- H** HFOV – *Horizontal Field of View*
- I** IBAPE/SP – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São
Paulo
 ICA – Instrução do Comando da Aeronáutica
 IEC – *International Electrotechnical Commission*
 IFOV – *Instantaneous Field of View*
 ITC – *Infrared Training Center*
- L** LIP – Laudo de Inspeção Predial
 LITE – Laudo de Inspeção Técnica de Edificação
 LTIP – Laudo Técnico de Inspeção Predial
 LTVP – Laudo Técnico de Vistoria Predial
- M** MA – Metodologia Ativa
 MFOV – *Measurement Field Of View*
 MP – Metodologia Passiva

- N** NBR – Norma Técnica Brasileira
NDT – *Non-Destructive Techniques*
- O** OACI – Organização da Aviação Civil Internacional
- P** PCC – Departamento de Engenharia de Construção Civil
PVC – Policloreto de Vinila
- R** RBAC – Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Espacial
RETA – Responsabilidade Civil do Explorador ou Transportador Aéreo
RGB – *Red, Green and Blue*
RPA – *Remotely Piloted Aircraft*
- S** SARPAS – Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas
SISANT – Sistema de Aeronaves não Tripuladas
SVVIE – Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas
- U** UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*
UFSCar – Universidade Federal de São Carlos
USB – *Universal Serial Bus*
- V** VANT – Veículos Aéreos Não Tripulados
VFOV – *Vertical Field of View*
VLOS – *Visual Line of Sight*
VUP – Vida Útil de Projeto

SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	4
1.2 METODOLOGIA.....	5
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	7
 2. INSPEÇÕES PREDIAIS EM FACHADAS ADERIDAS	 9
2.1 LEGISLAÇÕES COM DETERMINAÇÃO DE EXECUÇÃO DE INSPEÇÕES PERIÓDICAS.....	11
2.2 PROCESSO PARA DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS E ARGAMASSADOS.....	14
 3. TERMOGRAFIA INFRATERMELHA.....	 19
3.1 TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS	19
3.2 FUNCIONAMENTO DA TERMOGRAFIA INFRATERMELHA.....	20
3.2.1 Parâmetros de medição	26
3.2.1.1 Emissividade.....	26
3.2.1.2 Temperatura aparente refletida	30
3.2.1.3 Distância	30
3.2.1.4 Umidade relativa do ar.....	31
3.2.1.5 Temperatura ambiente atmosférica.....	31
3.2.2 Aplicação da técnica de termografia infratermela	31
3.2.3 Termografia infratermela na construção civil.....	34
3.2.4 Utilização da termografia infratermela na detecção de destacamento de revestimentos aderidos	36
 4. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	 47
4.1 ETAPA LABORATORIAL.....	47
4.1.1 Protótipos e variáveis de estudo	49
4.1.2 Equipamentos e software de análise.....	54
4.1.3 Avaliação qualitativa	57
4.1.4 Avaliação quantitativa.....	58
4.2 ETAPA DE CAMPO	61
4.3 COMPARAÇÃO ENTRE A DETECÇÃO DE FALHAS INDUZIDAS POR TERMOGRAFIA INFRATERMELHA E PERCUSSÃO.....	63

4.4	ETAPA DE ESTUDO DE CASO	64
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
5.1	ETAPA LABORATORIAL.....	67
5.1.1	Resultados qualitativos.....	69
5.1.1.1	<i>Avaliação do protótipo 1 em revestimento de cor branca e superfície lisa com utilização das câmeras CT320 e CT160</i>	<i>69</i>
5.1.1.2	<i>Avaliação dos protótipos 2 e 3 em revestimento de cor clara, escura e superfície porosa com utilização das câmeras CT320 e CT160</i>	<i>75</i>
5.1.1.3	<i>Avaliação do protótipo 1 em revestimento superfície lisa e o protótipo 2 com superfície porosa, ambos com cores claras, avaliadas com utilização das câmeras CT320 e CT160</i>	<i>80</i>
5.1.2	Resultados quantitativos.....	83
5.1.2.1	<i>Avaliação do protótipo 1 em revestimento de cor branca e superfície lisa com utilização das câmeras CT320 e CT160</i>	<i>83</i>
5.1.2.2	<i>Avaliação dos protótipos 2 e 3 em revestimento de cor clara, escura e superfície porosa com utilização das câmeras CT320 e CT160</i>	<i>91</i>
5.2	ETAPA DE CAMPO.....	95
5.2.1	Dia ensolarado.....	95
5.2.1.1	<i>Resultados qualitativos</i>	<i>96</i>
5.2.1.2	<i>Resultados quantitativos</i>	<i>100</i>
5.2.2	Dia nublado.....	104
5.2.2.1	<i>Resultados qualitativos</i>	<i>105</i>
5.3	COMPARAÇÃO ENTRE DETECÇÃO POR TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA E PERCUSSÃO DOS PROTÓTIPOS AVALIADOS	109
5.3.1	Etapa laboratorial.....	109
5.3.2	Etapa de campo.....	111
5.4	ESTUDOS DE CASO.....	113
5.4.1	Estudo de caso 1	113
5.4.1.1	<i>Comparativo entre mapeamento por percussão x mapeamento por termografia – Estudo de caso 1</i>	<i>119</i>
5.4.1.2	<i>Considerações finais sobre o estudo de caso 1</i>	<i>123</i>
5.4.2	Estudo de caso 2	126
5.4.2.1	<i>Comparativo entre mapeamento por percussão x mapeamento por termografia – Estudo de caso 2.....</i>	<i>131</i>
5.4.2.2	<i>Considerações finais sobre o estudo de caso 2</i>	<i>141</i>

6. DIRETRIZ PARA INSPEÇÃO DE FACHADAS ADERIDAS COM TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA EMBARCADA EM DRONE	149
7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	159
7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	164
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	166
A – MÉTODOS DE MEDIÇÃO	178
A.I TEMPERATURA APARENTE REFLETIDA.....	178
A.II EMISSIVIDADE.....	180
B – DETALHAMENTO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA ETAPA DE CAMPO	184
B.I ETAPA DE CAMPO – DIA ENSOLARADO	184
B.II ETAPA DE CAMPO – DIA NUBLADO	192

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Marco da arquitetura e história de São Paulo, o edifício Copan passou por reformas de sua fachada com intervenção iniciada em meados de agosto de 2014. Obra de 35 andares distribuídos em 115 metros de altura e composta por 1.160 apartamentos apresenta área externa revestida de 46 mil metros quadrados de pastilhas. A reforma se fez necessária após a queda de partes de seu revestimento exterior afetando a segurança da circulação média de 22 mil transeuntes em seus arredores ao dia (Figura 1a). Tela de proteção foi instalada de modo a prevenir danos aos pedestres e obra de recuperação foi estimada em 23 milhões de reais, com término previsto para o ano de 2018 (Figura 1b) (FOLHA SP, 2015; VEIGA, 2015).

Em outro caso recente, parte do revestimento cerâmico da fachada de um prédio localizado em Santos, no litoral de São Paulo, desabou sobre carros no estacionamento, tendo sido encontrados estilhaços espalhados até próximo da calçada do empreendimento, em maio de 2018 (Figura 1c)(G1, 2018).

Em um terceiro caso, um condomínio de 672 unidades teve medida liminar de interdição dos prédios, com a decretação da imediata evacuação dos moradores, após terem sido constatadas diversas irregularidades na estrutura dos prédios localizados em São Luís, no Maranhão. Após denúncias de moradores e posteriores vistorias da Defesa Civil de São Luís, da Secretaria Municipal de Urbanismo e Habitação, do Corpo de Bombeiros e do CREA/MA, foram encontrados, dentre outros problemas, o destacamento de revestimentos cerâmicos (Figura 1d). A medida gerou custos da ordem de R\$13.440.000,00 para cobrir despesas iniciais de reparo e dos moradores em um período inicial de 6 meses (O ESTADO MA, 2018).

Figura 1 – Casos de destacamento

FONTE: (a) J. Duran Machfee (b) Folha de São Paulo (c) Ivair Vieira (d) O Estado MA

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) tem realizado levantamento sobre a abrangência da manifestação patológica e os dados verificados contam com mais de 2,6 milhões de metros quadrados de área destacadas, distribuídas em 157 obras, 66 cidades, 17 estados e envolve 49 construtoras e 14 fornecedores (CBIC, 2019).

Segundo a norma brasileira de desempenho das edificações habitacionais NBR 15575-1 (2013a), a vida útil de projeto do sistema de revestimento cerâmico deve atingir, no mínimo, 20 anos para revestimentos externos e fachadas, e 13 anos para revestimentos internos de parede e piso. Porém, as situações mais comuns de destacamento costumam ocorrer em menos de cinco anos após a conclusão da obra (CAMPANTE; SABBATINI, 2000). Segundo estes autores, 50,9% dos edifícios estudados apresentavam sinais patológicos de destacamento nas fachadas antes dos cinco anos de uso, período muito inferior ao especificado pela NBR 15575-1 (2013a).

Na busca por ações que possam mitigar estes indicadores, legislações que obriga inspeções prediais são instituídas em algumas cidades do estado de São Paulo. A prefeitura de Bauru, por exemplo, obriga a apresentação de laudo técnico de regularidade das edificações com mais de três andares a cada três anos (BAURU, 1999). A lei complementar nº 261 de 16 de novembro de 1999 decretada em Jundiaí

impõe vistoria a cada 5 anos para os primeiros 15 anos e a cada 2 anos para edificações mais antigas, com áreas construídas igual ou superior de 750 m². A vistoria deve ser composta por Laudo Técnico e emissão de Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) junto ao órgão responsável (JUNDIAÍ, 1998). O município de Ribeirão Preto obriga a obtenção de Laudo Técnico de Certificação de Inspeção Predial a cada 10 anos para edificações de até 20 anos de construção, a cada 5 anos para imóveis entre 20 e 30 anos de construção e inspeção a cada 3 anos para edificações acima de 30 anos (RIBEIRÃO PRETO, 2004). São Vicente obriga a obtenção da certificação a cada 5 anos (SÃO VICENTE, 2012). O Projeto de Lei nº 869, de 2016 busca instituir a Política Estadual de Inspeção Predial e a obrigatoriedade de inspeção periódica nas edificações em todo o Estado de São Paulo. No projeto de lei, o inciso I do artigo 4 obriga a realização de inspeção periódica de acordo com os conteúdos técnicos definidos nas normas técnicas vigentes, as boas práticas de engenharia e arquitetura e demais legislações aplicáveis. Destaca-se o inciso I do parágrafo primeiro que trata da obrigatoriedade da avaliação do estado de conservação das fundações, pilares, lajes, fachadas e marquises (SÃO PAULO, 2016).

A Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres (ANFACER) prescreve que manutenções preventivas devem ser realizadas de modo garantir a capacidade funcional durante a vida útil de projeto (VUP) de todos os componentes, elementos e sistemas da edificação com o objetivo de impedir que pequenas falhas progridam levando a manifestações patológicas de grandes extensões. A associação propõe programa de manutenção preventiva das fachadas com frequência de ao menos a cada dois anos, com atividades de limpeza e inspeção do sistema revestido (ANFACER, 2013).

A avaliação dos revestimentos aderidos tradicionalmente é feita por inspeções seguidas de testes de percussão, mapeamento e ensaios de resistência de aderência à tração por arrancamento. Trata-se de um procedimento moroso, caro e perigoso, pois necessita, em muitos casos, de instalação de balancins e ferramentas para alcance da fachada, acessórios de segurança e acessórios para trabalho em altura, além de habilitações para o serviço, no que diz respeito a infraestrutura para acessibilidade e mão de obra necessária para sua elaboração. Ainda assim, a confiabilidade dos resultados depende da equipe responsável.

Por isso avaliar, quantificar e qualificar o estado de conservação de fachadas de edifícios esbarra em um cenário de dificuldades na acessibilidade, seja pelo fato do edifício estar ocupado e pelos transtornos causados pelo processo de inspeção, ou ainda pelas elevadas alturas ou detalhes arquitetônicos da fachada que possam impedir o acesso por cadeirinhas ou balancins, prejudicando o processo de diagnóstico. A utilização de técnicas não destrutivas, principalmente aquelas que independem do contato com o objeto a ser analisado, possuem importantes vantagens nesta conjuntura.

Neste cenário a termografia infravermelha apresenta grande potencial de aplicação, porém ainda muito aplicada no campo da pesquisa e piloto. Através da captação da radiação térmica emitida por superfícies, câmeras termográficas as convertem em sinais elétricos amplificados que são transformados em uma imagem (termograma) na qual os pixels são proporcionais à sua resolução e a temperatura medida relacionada a uma escala de cores visíveis. Estas imagens possibilitam a compreensão do comportamento térmico da superfície de determinado objeto evidenciando possíveis fenômenos térmicos (AZENHA; FARIA; FIGUEIRAS, 2011). Quando aplicada para a avaliação de superfícies revestidas, pode contribuir para o diagnóstico destes sistemas evidenciando a presença de anomalias de forma instantânea, prática e econômica. Ademais, se embarcada em Aeronave Remotamente Pilotada (RPA/drone) viabiliza questões relacionadas à acessibilidade, otimização da aplicação, segurança para o processo de inspeção e eliminação de fatores influenciadores para a obtenção de termogramas precisos, ao exemplo da influência da distância e ângulo de observação. Diversas indústrias, tais como a da agricultura e mineração, já compreenderam os potenciais benefícios da termografia embarcada em drones, no entanto, a construção civil ainda se apresenta resistente no que diz respeito a implementar a técnica para a otimização das suas demandas.

1.1 **Objetivos**

O presente trabalho de pesquisa tem como objetivo principal avaliar a confiabilidade das inspeções de fachadas compostas por revestimentos aderidos argamassados e cerâmicos com utilização da termografia infravermelha embarcada em drone.

Como objetivos específicos podemos elencar:

1. Analisar a influência da simulação de falhas com diferentes tamanhos e em diferentes profundidades para o processo de detecção;
2. Avaliar a influência ambiental e as respectivas condições de exposição para a detecção de falhas em sistemas aderidos;
3. Avaliar o impacto da resolução da câmera infravermelha na obtenção dos resultados;
4. Comparar a confiabilidade da técnica com métodos tradicionais;
5. Propor protocolo com diretrizes para a aplicação da técnica baseado nas contribuições encontradas no decorrer da pesquisa.

1.2 **Metodologia**

A presente pesquisa surgiu como parte das ações tomadas para a busca por desenvolvimento técnico e tecnológico da cadeia da construção civil com possíveis soluções para a redução de casos de destacamento. Dentre estas ações a revisão das normas técnicas NBR 13753 (1996a), NBR 13754 (1996b) sobre procedimentos para a execução de pisos e paredes e, principalmente a NBR 13755 (2017) sobre revestimentos externos e de fachada nas quais o autor fez parte das comissões de estudos para suas respectivas revisões.

Outra iniciativa surgiu por parte das associações ANFACER e ASPACER em conjunto com universidades, laboratórios e especialistas na área da construção civil nos quais têm investigado Sistemas de revestimentos cerâmicos aderidos para Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE) com o objetivo de avaliar variáveis de projeto e execução que possam influenciar para o surgimento de destacamento dos revestimentos aderidos e, portanto, afetar diretamente a sua durabilidade.

Financiado por estas duas associações, projeto de longa duração foi proposto e se apresenta dividido em três partes. Sua primeira parte desenvolvida nas dependências do Centro de Revestimento Cerâmico (CRC) na UFSCar e investiga variáveis oriundas das placas cerâmicas, sua segunda parte elaborada no Centro Cerâmico do Brasil (CCB) e busca investigar a interface placa cerâmica com a argamassa colante e, por último, a parte 3 desenvolvida nas dependências do Departamento de Engenharia de Construção Civil (PCC) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Esta terceira busca correlacionar as variáveis que

compõem os sistemas revestidos aderidos que possam influenciar para o surgimento de descolamento. Nela é também proposta soluções tecnológicas que possam contribuir para o desenvolvimento da cadeia da construção civil e seu respectivo melhoramento, como a proposição da utilização de técnicas não destrutivas. A pesquisa contempla a participação de diversos pesquisadores da Universidade de São Paulo e tem seu desenvolvimento liderado pelo autor.

Como parte das metas traçadas pela equipe de pesquisa, surgiu a proposição de estudo sobre o uso da termografia infravermelha na engenharia de construção civil e o seu emprego na detecção e análise de anomalias em superfícies revestidas aderidas, focando na detecção de destacamento em sistemas de revestimentos aderidos.

A proposição é dividida em três partes, sendo a primeira com viés exploratório em ambiente laboratorial no qual se utiliza da prototipagem para a obtenção dos resultados. Nela são utilizadas avaliações qualitativas e quantitativas.

Existem duas abordagens disponíveis para avaliações com câmeras termográficas, àquelas relacionadas a fonte de indução passiva e a ativa. A abordagem passiva mede os perfis térmicos da superfície de um sistema em condições normais de aplicação através de uma indução térmica de fonte natural, enquanto a abordagem ativa utiliza-se de um estímulo artificial para gerar fluxo térmico no objeto de análise. Assim, a metodologia elaborada pretende usufruir dos dois campos de estudo, em vista que a termografia ativa permite a investigação das limitações da técnica de forma mais ágil, sem a dependência das condições climáticas para o desenvolvimento dos ensaios e análises. A simulação de áreas destacadas em ambiente laboratorial viabiliza o desenvolvimento inicial das diretrizes de avaliação com a técnica proposta e traz subsídios iniciais para a etapa seguinte em campo. Em outras palavras, com a metodologia ativa, através da utilização de uma fonte de calor artificial, é possível simular fluxos térmicos de maneira mais simples, rápida, uniforme e controlada, facilitando a avaliação dos protótipos da pesquisa e visualização de fenômenos térmicos com as falhas moldadas sem a dependência de condições climáticas adequadas.

Na segunda etapa é observada a influência das condições ambientais, agora com metodologia passiva e sob condições naturais de exposição dos sistemas revestidos submetidos a influência do clima e seu entorno. O fluxo térmico natural

ocasionado em dia ensolarado e nublado é avaliado. Além das condições climáticas, a avaliação dos períodos do dia com melhor condições de aplicação e aproveitamento da técnica é investigado. Nela também são usadas análises qualitativa e quantitativa para se obter os resultados apresentados.

Após etapas laboratorial e de campo é proposto estudo de caso com aplicação da técnica em casos reais. Dentre os resultados obtidos nesta etapa, contempla a proposição de diretrizes para a aplicação com confiabilidade da termografia infravermelha para a detecção de destacamento em sistemas aderidos.

Em paralelo a estas iniciativas o autor tem atuado como consultor técnico frente a duas empresas de engenharia civil. Uma focada em inspeções prediais, perícias, projetos, consultorias e especificações de sistemas da construção. Outra de viés tecnológico com foco em utilização de drones para o atendimento a demandas da construção civil com inspeções de edifícios, infraestruturas, obras de arte, dentre outras aplicações. O autor tem atuado na aplicação das contribuições aqui propostas em mais de 8 edifícios e a utilização de drone é bastante tradicional em suas demandas de atuação.

1.3 Estrutura do trabalho

O Capítulo 1, acima apresentado, expõe a problemática na qual o tema proposto se encontra inserido. Os números e as evidências expostas mostram uma tendência de forte demanda da inspeção e diagnóstico de fachadas revestidas, complementando as justificativas do trabalho. Dada a complexidade relacionada ao processo de inspeção das fachadas dos edifícios, é apresentada solução que objetiva otimizar e viabilizar o atendimento a demanda apresentada. Por fim, são apresentados o objetivo geral, os objetivos específicos, metodologia de pesquisa e estrutura desta dissertação.

No capítulo 2, são definidos e caracterizados os processos de inspeção de fachadas e os sistemas alvo da metodologia e principais legislações vigentes e em projeto de lei. A dissertação expõe o processo de diagnóstico de sistemas aderidos de revestimento de fachadas dos edifícios tradicionalmente executado, além dificuldades para a realização do processo e as lacunas da ciência a serem exploradas e preenchidas.

O Capítulo 3 tem a finalidade de definir as técnicas não destrutivas, dentre elas apresentar a termografia infravermelha e destacar o potencial de sua aplicação como técnica não destrutiva para a otimização do processo de diagnóstico dos sistemas escopo. Fundamentação e variáveis do funcionamento do sistema são apresentadas. O desenvolvimento da tecnologia e sua técnica, além dos principais canais científicos de divulgação é exposto no decorrer do capítulo. De modo a esclarecer a viabilidade tecnológica da técnica, são apresentados os trabalhos mais relevantes sobre a aplicação do método na inspeção de fachadas no campo da Engenharia da Construção Civil. No decorrer do texto é evidenciado que se embarcada em aeronaves não tripuladas pode otimizar sua aplicação.

O capítulo 4 propõe metodologia de estudo com a finalidade de atender aos objetivos propostos, além da proposição de metodologias de ensaios, detalhamento dos objetos de estudo e os equipamentos utilizados para a melhor compreensão dos resultados. Este capítulo propõe a exploração da pesquisa em 3 etapas que contemplam etapa laboratorial, etapa de campo e etapa de estudos de casos.

O capítulo 5 expõem os resultados e discussões no que cerne as 3 etapas antes propostas e discorre sobre as contribuições encontradas.

O capítulo 6 propõe uma diretriz para a inspeção de fachadas aderidas de modo a otimizar o processo de detecção de destacamentos com utilização de termografia infravermelha embarcada em drone e garantir maior confiabilidade do processo.

Por fim, o capítulo 7 apresenta as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros sobre o tema.

2. INSPEÇÕES PREDIAIS EM FACHADAS ADERIDAS

A construção civil vem passando por um processo de autoquestionamento e requalificação fortemente influenciado por requisitos recentemente inseridos nas legislações e normas técnicas, como: durabilidade, vida útil e manutenibilidade (ABNT, 2013a, 2014a). Na temática, é abordada que a edificação deva ser projetada, planejada e construída de forma que seus subsistemas devam atender as necessidades de seus usuários durante determinado período. Para que isso ocorra, planos de manutenção/conservação necessitam ser contemplados de maneira que estes subsistemas possam alcançar ou ultrapassar a vida útil prevista (ABNT, 2012a; CEOTTO; BANDUK; NAKAKURA, 2005). A norma brasileira NBR 5674 (2012a) que estabelece os requisitos para o sistema de gestão de manutenção de edificações expressa que o proprietário ou condomínio deva elaborar programa de manutenção com orientação sobre a realização de inspeções do empreendimento e sua periodicidade, com posterior elaboração de laudo pericial de modo a dar auxílio para as atividades de conservação.

Para o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo (IBAPE/SP, 2012) inspeção predial é a avaliação das condições técnicas, de uso e de manutenção de uma edificação e seus subsistemas com a finalidade de dar subsídios a um plano de manutenções.

A inspeção predial é classificada em níveis relacionados as características técnicas do empreendimento, a complexidade e aprofundamento da constatação dos fatos, a necessidade de contratação de especialistas – ao exemplo de quando necessita de formação de equipe multidisciplinar para execução de trabalhos específicos – além do grau de risco das anomalias e manifestações patológicas apuradas no processo. Na inspeção predial, é avaliado o atendimento a condições de desempenho, risco, vida útil, conservação, manutenção, exposição ambiental e operação mediante a expectativa dos usuários. Tais níveis são divididos em 1, 2 e 3 (ABNT, 2012a; IBAPE, 2012):

- **Nível 1:** caracterizado por inspeção predial realizada em empreendimentos com baixa complexidade técnica, de manutenção e de operação de seus elementos, sistemas e subsistemas construtivos.

Tais como casas térreas, sobrados ou edifícios sem sistemas de elevadores. São empregadas para dar subsídios a edifícios com planos de manutenção simplificados ou ainda inexistentes;

- **Nível 2:** para edificações com média complexidade técnica, de manutenção e de operação de seus elementos, sistemas e subsistemas construtivos. Comumente empregada em edificações multipavimentos ou galpões industriais que utilizam de contratação de terceiros para o atendimento das demandas do empreendimento. Ao exemplo de edifícios que necessitem de contratações para serviços de manutenções elétricas, de sistemas mecânicos ou hidráulicos do empreendimento como elevadores e sistemas de refrigeração.
- **Nível 3:** quando realizada em edificações com alta complexidade técnica, de manutenção e de operação de seus elementos, sistemas e subsistemas construtivos. Geralmente caracterizada por inspeções prediais em edifícios que utilizam de altos padrões construtivos e sistemas tecnológicos complexos e sofisticados, além de sistemas de automação. Este nível necessita de conceitos, diretrizes e procedimentos expressos na norma brasileira NBR 5674 (2012a) sobre manutenção de edificações.

O processo de inspeção se difere da vistoria porque no processo de vistoria a constatação e avaliação de fatos não contempla a determinação do seu grau de risco. O Grau de risco é classificado em função do risco a qual expõe os usuários, o meio ambiente e os patrimônios próprios e adjacentes. O risco pertinente as anomalias e manifestações patológicas inspecionadas pode ser classificado em (IBAPE, 2002, 2012):

- **Risco mínimo:** quando possa causar pequenos prejuízos a estética, com baixo ou nenhum comprometimento do valor do empreendimento;
- **Risco médio:** quando acarreta a perda parcial do desempenho ou funcionalidade do edifício ou qualquer subsistema, ou ainda o conjunto destes, sem que impeça suas condições de uso e não provoque deterioração precoce.
- **Risco crítico:** quando existe a possibilidade de causar danos ou afete a integridade da saúde e segurança das pessoas e do meio ambiente,

além de perda excessiva de desempenho e funcionalidade ou ainda cause a interdição de áreas da edificação. Quando provoca o aumento excessivo de custo de manutenção e recuperação com comprometimento de vida útil.

A ausência de inspeções periódicas possibilita o agravamento de manifestações patológicas que, se ignoradas, repercutem em deteriorações aceleradas com diminuição da vida útil e elevados custos de manutenção. Em casos graves, negligenciar as atividades de manutenção podem acarretar riscos de acidentes com situações de colapso total de subsistemas, colocando em risco a segurança dos usuários do empreendimento. Neste sentido, inspeções periódicas viabilizam a identificação de anomalias com determinação do grau de risco e permite orientar os serviços de manutenção com maior prioridade e gerenciar com antecipação a verba necessária para a realização da intervenção.

2.1 Legislações com determinação de execução de inspeções periódicas

O surgimento de legislações com a determinação de execução de inspeções periódicas nas edificações e seus subsistemas são algumas das iniciativas com forte incentivo para a adoção de estratégias de manutenção preventiva de modo a fomentar o hábito da realização de planos e atividades de manutenção das edificações, viabilizando uma mudança cultural neste cenário (OLIVEIRA, 2013).

A cidade de Porto Alegre foi a primeira a implementar lei municipal que estabelece critérios para a conservação de elementos nas fachadas dos edifícios, proposta pela lei ordinária de nº 6.323 de dezembro de 1988 (PORTO ALEGRE, 1988). Desde então, outros municípios como Jundiaí, Bauru, Ribeirão Preto, Santos, Rio de Janeiro, Salvador, Olinda, dentre outros, têm buscado por legislações que obriguem manutenções e inspeções periódicas em suas edificações, conforme compilado por Oliveira (2013), complementada pelo autor deste trabalho e expressa na Tabela 1, organizadas em ordem cronológica.

Tabela 1 – Principais legislações vigentes e projetos de lei sobre inspeções prediais no Brasil

Local	Legislação	Objetivos / Obriga
Brasil	Projeto de lei n.º 491, de 18 de agosto de 2011	Determina a realização periódica de inspeções em edificações e cria o Laudo de Inspeção Técnica de Edificação (LITE)
Jundiaí – SP	Lei Complementar nº 261, de 16 de novembro de 1998	Prevê vistoria de edificações com área construída igual ou superior a 750 m²
Bauru – SP	Lei n. 4.444, de 21 de setembro de 1999	Torna obrigatório o Laudo Técnico de Regularidade das Edificações no município com mais de três andares
Santos - SP	Lei complementar n.º 441 de 26 de dezembro de 2001	Institui a auto vistoria das edificações não unifamiliares e dos seus elementos que estejam sobre logradouro público
Ribeirão Preto – SP	Lei complementar n.º 1.669 de 05 de Maio de 2004	Estabelece a obrigatoriedade de obtenção da certificação de inspeção predial nas edificações que especifica sua periodicidade e dá outras providências.
Santos - SP	Lei complementar n.º 441 de 26 de dezembro de 2001	Institui a auto vistoria das edificações não unifamiliares e dos seus elementos que estejam sobre logradouro público
Olinda - PE	Código de Obras de Olinda – Projeto de Lei n.º 013 de 2002	Prevê "Habite-se Renovado" a cada 5 anos
Bauru – SP	Decreto n.º 9230, de 02 de julho de 2002	Torna obrigatório o Laudo Técnico de Regularidade das Edificações no município com mais de três andares
Ribeirão Preto – SP	Lei complementar n.º 1.669 de 05 de Maio de 2004	Estabelece a obrigatoriedade de obtenção da certificação de inspeção predial nas edificações que especifica sua periodicidade e dá outras providências.
São Vicente – SP	Lei n.º 2854-A de 20 de abril de 2012	Estabelece a obrigatoriedade de obtenção da Certificação de Inspeção Predial nas edificações públicas e privadas do município
São José dos Campos – SP	Projeto de lei, de 2012	Institui a autovistoria, pelos condomínios, dos prédios residenciais multifamiliares e comerciais e suas instalações e dá outras providências
São Paulo	Projeto de lei n.º 241, de 12 de abril de 2012	Cria a exigência da inspeção previa e periódica em edificações do Estado de São Paulo, destinada à verificação das condições de estabilidade, segurança e manutenção
São Paulo	Projeto de lei n.º 869, de 2016	Institui a Política Estadual de Inspeção Predial e a obrigatoriedade de inspeção periódica nas edificações no Estado de São Paulo
São Paulo – SP	Projeto de lei nº 407, de 1º de agosto de 2001	Estabelece a obrigatoriedade de obtenção da Certificação de Inspeção Predial, nas edificações que especifica sua periodicidade e dá outras providências
São Paulo – SP	Projeto de lei n.º 489, de 2005	Dispõe sobre o “check-up” das edificações no âmbito do Município de São Paulo, e dá outras providências
São Caetano do Sul – SP	Projeto de Lei de 17 de abril de 2007	Institui o programa “Edifício Seguro” que dispõe sobre inspeção preventiva e periódica das instalações elétricas e do sistema condutor-terra de proteção nas edificações comerciais, residenciais, públicas e privadas no âmbito do município

Avaré – SP	Projeto de lei, de 2012	Dispõe regras para a obtenção de Certificado de Inspeção Predial
Brasília – DF	Lei n.º 3.684, de 13 de outubro de 2005	Dispõe sobre a obrigatoriedade da inspeção quinquenal de segurança global nos edifícios do Distrito Federal
Rio de Janeiro	Lei n.º 6.400 de 05 de março de 2013	Determina a realização periódica por autovistoria, a ser realizada pelos condomínios ou por proprietários dos prédios residenciais, comerciais e pelo poder público, nos prédios públicos, incluindo estruturas, fachadas, empenas, marquises, telhados e obras de contenção de encostas bem como todas as suas instalações e cria Laudo Técnico de Vistoria Predial (LTVP) no estado do rio de janeiro e dá outras providências
Rio de Janeiro	Lei complementar n.º 126 de 26 de março de 2013	Institui a obrigatoriedade de realização de vistorias técnicas nas edificações existentes no Município do Rio de Janeiro e dá outras providências
Rio de Janeiro – RJ	Decreto n.º 37.426, de 11 de julho de 2013	Regulamenta a aplicação da Lei Complementar n.º 126/13 e da Lei n.º 6400/13, que instituem, por autovistoria, a obrigatoriedade de realização de vistorias técnicas nas edificações existentes no Município do Rio de Janeiro
Porto Alegre – RS	Lei n.º 6323 de 30 de dezembro de 1988, regulamentada pelo Decreto n.º 9425 de 28 de abril de 1989	Estabelece critérios para a conservação de elementos nas fachadas dos prédios
Porto Alegre – RS	Decreto n.º 17.720 de 2 de abril de 2012 que regulamenta o art. 10 da Lei Complementar n.º 284, de 27 de outubro de 1992	Dispõe sobre as regras gerais e específicas a serem obedecidas na manutenção e conservação das edificações. Estabelece recomendações a serem adotadas, para fins de obtenção do Certificado de Inspeção Predial, através da apresentação de Laudo Técnico de Inspeção Predial (LTIP) elaborado por profissional habilitado junto ao CREA-RS ou CAU-RS atestando as condições de segurança das edificações, indicando patologias ou risco de acidentes
Balneário Camboriú - SC	Lei n.º 2.805, de 12 de março de 2008	Torna obrigatória a realização de vistorias periódicas nas edificações da cidade e dá outras providências
Belém – PA	Lei n.º 7.737, de 16 de novembro de 1994	Estabelece a vistoria de prédios pela Prefeitura Municipal de Belém e dá outras providências
Salvador - BA	Lei n.º 5.907 de 23 de janeiro de 2001, regulamentada pelo Decreto n.º 13.251 de 27 de setembro de 2001	A manutenção das edificações e equipamentos no Município do Salvador
Olinda - PE	Código de Obras de Olinda – Projeto de Lei n.º 013 de 2002	Prevê "Habite-se Renovado" a cada 5 anos
Pernambuco	Lei n.º 13.032, de 14 de junho de 2006	Dispõe sobre a obrigatoriedade de vistorias periciais e manutenções periódicas, em edifícios de apartamentos e salas comerciais, no âmbito do Estado de Pernambuco
Fortaleza – CE	Lei n.º 5.587 de 16 de julho de 2012	Dispõe sobre obrigatoriedade de vistoria técnica, manutenção preventiva e periódica das edificações e equipamentos públicos ou privados no âmbito do município de fortaleza, e dá outras providências

Cuiabá – MT	Lei n.º 5.587 de 03 de outubro de 2012	Determina a realização periódica de inspeção em edificações e cria o Laudo de Inspeção Predial (LIP)
-------------	--	--

FONTE: adaptado de Oliveira (2013); Leis Municipais (2019)

A Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo tem buscado instituir, através de projetos de lei, política estadual de inspeção predial com a obrigatoriedade de inspeções periódicas em edificações públicas e privadas, sejam elas “residenciais, comerciais, de prestação de serviços, industriais, culturais, esportivas e institucionais em todo o território do Estado” (SÃO PAULO, 2016). Dentre os objetivos do projeto de lei destacam-se a garantia de padrões de segurança das edificações, o fomento da cultura da segurança no uso da capacidade funcional das edificações com garantia por padrões de segurança de modo a proteger patrimônios e a vida dos usuários, promoção do monitoramento e acompanhamento do estado de conservação das edificações com identificação de falhas que possam comprometer a estabilidade das construções. O descumprimento dos dispositivos do projeto, no que diz respeito a possibilidade de se tornar lei, podem acarretar em penalidades administrativas como multas de 10 (dez) a 10.000 (dez mil) Unidades Fiscais do Estado de São Paulo (UFESP's), além de suspensão parcial ou total de atividades. O projeto aponta claramente como itens a serem inspecionados as fundações, pilares, lajes, marquises e as fachadas, objeto deste estudo.

2.2 Processo para diagnóstico de sistemas de revestimentos cerâmicos e argamassados

Quando um edifício apresenta manifestações patológicas, não é recomendável partir diretamente para os trabalhos de intervenção/reparação sem a realização de inspeção e diagnóstico adequado. Entende-se por diagnóstico o conjunto de procedimentos destinados a avaliação do estado de conservação e segurança do edifício e seus sistemas, a determinação das causas das anomalias observadas e o prognóstico.

Lichtenstein (1986) propõe um método para diagnosticar patologias nas construções na qual se baseia em três etapas distintas: (i) levantamento de subsídio; (ii) diagnóstico da situação e; (iii) definição da conduta. Em 2001, Campante (2001) apresentou sua metodologia para diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada, tendo se

baseado nos princípios antes apresentados por Lichtenstein (1986). As atividades como anamnese, entendimento das reclamações dos usuários, inspeções *in loco* e exames preliminares fazem parte desta primeira etapa. Com relação aos exames para o diagnóstico de destacamento de revestimento cerâmicos (principalmente nos casos onde as placas se encontram descoladas de sua base, mas ainda íntegras do ponto de vista estético), o processo convencional conta com a instalação de balancins ou cadeirinhas e martelinho com cabeça de PVC como ferramenta para o auxílio no exame de percussão conhecido como “bate-choco”, na busca por áreas com som cavo e que possuam risco de queda (Figura 2). Com o auxílio de uma planta de elevação das fachadas, é feito o mapeamento dos locais onde a patologia se manifesta para, posteriormente, ser executado o seu diagnóstico e o devido plano de recuperação. Na fachada do edifício também são feitas marcas para auxiliar este processo de mapeamento (Figura 3).

Com relação as fissuras, é feita apenas uma marcação sobre sua presença para que possa ser mapeada. Aplicações dessa metodologia são apresentadas em trabalhos como os de Just e Franco (2001), Galletto e Andrello (2013), Lordsleem e Faro (2017), Pacheco e Vieira (2017).

Figura 2 – (a) martelinho PVC como ferramenta para exame de percussão. (b) mapeamento de destacamento em fachada revestida em ensaio de percussão com a utilização de cadeirinha

Figura 3 – (a) utilização de balancim para exame e mapeamento da fachada (b) mapeamento de destacamento e fissura em fachada revestida

Essa atividade é intensiva em mão de obra, pois são necessários operadores de balancins ou cadeirinha, profissionais treinados de modo a obter a habilidade necessária para a detecção e avaliação da anomalia com a utilização do método de percussão, além de profissionais responsáveis pela transferência das informações das anomalias detectadas e mapeadas na fachada para planta da elevação. Uma força-tarefa é direcionada apenas para a detecção e mapeamento de destacamento das fachadas e, ainda assim, sua execução pode levar semanas ou meses. Habilitação e certificação para trabalho em altura fazem parte da burocracia e colaboram para a elevação do custo e lentidão do processo. Treinamento de equipe e gastos com equipamentos encarecem o procedimento.

Um ponto importante a ser destacado é que o mapeamento é uma atividade necessária a execução do próprio orçamento da reparação. Isso causa um impasse comercial, dado que o condomínio tem que arcar com custos iniciais antes mesmo de saber a extensão dos riscos ou mesmo por qual empresa optar em uma concorrência comercial. Síndicos comumente têm dificuldade de explicar aos condôminos a necessidade desses gastos que são interpretados pelos condôminos, como a “fundo perdido”. Assim, grande parte dos edifícios só realizam o procedimento de diagnóstico de suas fachadas quando o problema já se manifestou.

Os destacamentos das fachadas costumam se apresentar notável apenas após o empolamento dos revestimentos ou ainda após o seu desprendimento. Com o decorrer do tempo, as áreas que se apresentavam apenas descoladas de sua base – mas visualmente íntegras, sem estarem empoladas ou desprendidas – vão se intensificando e evoluindo sua área de extensão.

Por consequência, a proposição de inspeções periódicas, com diagnósticos rápidos que determinem o estado de conservação dos sistemas revestidos são decisivos para o plano de manutenção de uma edificação, permitindo intervenções com custos e gravidade reduzidas, ao contrário dos casos antes citados no capítulo 1. Neste cenário, a indústria da construção tem procurado por inovações tecnológicas, sejam elas incrementais ou disruptivas, que possibilitem aprimorar produtos e processos em prol de ganhos em qualidade, produtividade com diminuição em custos e prazos. Os ensaios e técnicas não destrutivas potencializam o processo de diagnóstico preventivo e corretivo possibilitando avaliar o comportamento dos sistemas revestidos com menores intervenções – ou ainda, ao menos toca-los como possível com a termografia –, viabilizando o monitoramento e o acompanhamento de variações ao longo do tempo e facilitando o atendimento a normativas e legislações municipais de inspeções periódicas (BARREIRA; DE FREITAS, 2007; ISRAEL, 2016).

3. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

A termografia infravermelha contempla uma das técnicas de testes não destrutivos existentes, tem como vantagem a aplicação sem contato com seu objeto de análise e é usada para determinar a temperatura superficial dos objetos. No seu funcionamento uma câmera com sensores térmicos (termovisor ou câmera infravermelha) coleta a radiação infravermelha emitida pela superfície, as convertem em sinais elétricos que, por fim, possibilita a criação de uma imagem térmica através de pontos (pixels) que mostram a distribuição superficial da temperatura do corpo através de imagem visual detalhada em um perfil de temperaturas associadas a uma escala de cores (termograma) (ABNT, 2016a; BARREIRA; DE FREITAS, 2007; BRIQUE, 2016). Outras tecnologias também contemplam o grupo das técnicas não e assim como a termografia infravermelha possibilitam trazer resultados sem a necessidade de danificar seu objeto de análise.

3.1 Técnicas não destrutivas

As Técnicas ou Ensaios Não Destrutivos (END), do inglês *Non-Destructive Techniques (NDT's)*, são definidas como técnicas aplicadas para a inspeção de sistemas, materiais e equipamentos sem danificá-los ou alterar as suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais, não interferindo, ainda, nas condições de utilização após o processo de inspeção (ABENDI, 2019).

As mais usuais são as análises de vibrações, ultrassom, emissão acústica, radiografia, radioscopia, gamagrafia, correntes parasitas, inspeção visual e termografia. São técnicas empregadas pelas indústrias nas etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção como controle de qualidade para detectar discontinuidades ou defeitos. São também muito utilizadas na indústria da construção civil no campo de atuação dos restauros e revitalizações de patrimônios históricos e monumentos devido as dificuldades de acessibilidade para avaliações e restrições mediante retirada de amostras destrutivas para análises e avaliações (ABENDI, 2019; KILIC, 2015; MOROPOULOU et al., 2013).

Moropoulou *et al.* (2013) apresentam estudos sobre END aplicados a superfícies da construção civil, sejam elas externas (fachadas) ou internas, e

concluem que a utilização destas técnicas demonstram importantes contribuições para a preservação de patrimônios. No estudo, os autores concluem que tais técnicas podem contribuir para o controle de qualidade de materiais, a avaliação do impacto ambiental sobre os sistemas construtivos, possibilita a avaliação de compatibilidade de sistemas e seus materiais, além de trazer subsídios sobre gestão de proteção do patrimônio com planejamento estratégico para os processos de intervenção.

Dentre as várias técnicas não destrutivas aplicadas na construção civil, a termografia infravermelha fornece informações bastante úteis para o processo de identificação de anormalidades térmicas oriundas de anomalias internas das estruturas e seus sistemas, possibilitando o apontamento de áreas, quantificação de variações térmicas e detecção com bastante agilidade.

3.2 Funcionamento da termografia infravermelha

A análise por termografia se baseia na medição e representação gráfica, na forma de termogramas, do perfil de temperatura e fluxo térmico da superfície de determinado objeto. O fenômeno de fluxo térmico ocorre sempre que existe interação entre corpos com diferentes temperaturas (Δt), ou entre um corpo e o ambiente, seguindo os princípios e conceitos da termodinâmica. Neste processo o calor é transportado das regiões de alta temperatura para as de baixa temperatura, na qual a capacidade de determinado material transferir calor é caracterizada por sua condutividade térmica.

A termografia é sensível a faixa espectral de infravermelhos e, por este motivo, a ciência denomina a técnica como termografia infravermelha. Uma vez que determinado objeto esteja com sua temperatura acima do zero absoluto 0 K (-273,15 °C), em processo de absorção de energia térmica, emite radiação gerada pelo aumento da energia vibracional dos átomos, que se propagam pela rede de ligações. A energia térmica vibracional, portanto, consiste em uma série destas ondas elásticas com uma faixa de distribuições e frequências (Figura 4) (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

Figura 4 – Modelo do espectro eletromagnético com a representação de suas respectivas faixas. Nele é detalhado a faixa do espectro visível, frisada a faixa de radiação infravermelha e ilustrada de forma figurativa o aumento do comprimento de onda com a diminuição da frequência

FONTE: adaptado de Stefenon (2015)

A detecção dos perfis de temperatura através da câmera termográfica está relacionada apenas a parcela radiativa de transferência de calor, trabalhando na faixa da região infravermelha do espectro eletromagnético. Sua região dos raios infravermelhos é subdividida ainda em cinco partes baseadas em limites espectrais de detectores de infravermelho, conforme a NBR 15424 (2016a): ondas próximas (0,78 μm – 1 μm); ondas curtas (1 μm – 3 μm); ondas médias (3 μm – 6 μm); ondas longas de infravermelhos (6 μm – 15 μm) e; as ondas muito longas (15 μm – 1000 μm). Quando os sensores contidos em uma câmera termográfica captam a radiação transmitida pelo objeto e o ambiente ao qual se encontra inserido, são convertidas em sinais elétricos permitindo a geração de um termograma com imagens em escalas de cinza ou em escala conforme paletas de cores representando a temperatura obtida. Por fim, o termograma possibilita a análise posterior com a utilização de softwares específicos (AZENHA; FARIA; FIGUEIRAS, 2011). Entretanto, a temperatura medida pela câmera não depende apenas da temperatura do objeto. A temperatura apresentada nos termogramas é influenciada pela emissividade da superfície, pela radiação emitida por objetos presente nos entornos do objeto em análise e, todas estas, influenciadas pelo efeito de absorção da atmosfera.

Na Figura 5 é apresentado de maneira ilustrativa o processo de captação de radiação pela câmera que é influenciada: por todo meio adjacente, pelo objeto e pela atmosfera. Quando o operador do termovisor aponta a câmera para o seu objeto alvo (2) as temperaturas apresentadas no termograma (5) são variáveis não apenas deste objeto, mas ainda dos objetos adjacentes que possam emitir radiação que pode ser

refletida pelo objeto em análise (1). Estas, por sua vez, sofrem influência da atmosfera (3) existente entre o receptor de radiação contido na câmera infravermelha (4) e o objeto alvo. Por este motivo, saber a distância de medição entre a câmera e o objeto é um parâmetro importante a ser inserido na câmera para a obtenção da temperatura com menos interferências e, conseqüentemente, com maior precisão.

Segundo afirmação presente no manual de operação de um dos principais fabricantes de câmeras termográficas do mundo, é possível que seja negligenciada a difusão de luz do sol na atmosfera ou ainda a radiação difusa proveniente de fontes de radiação intensa posicionada no entorno do campo de estudo, porém, em boa parcela das situações, estas ações são reduzidas a ponto de serem desprezíveis de modo que o esquema apresentado seja “uma descrição fiel das condições reais” (FLIR SYSTEMS, 2013).

Figura 5 – Representação esquemática do processo de captação de uma câmera termográfica infravermelha e os fatores influenciadores. Radiação emitida pelo: (1) meio adjacente; (2) objeto; (3) atmosfera. E detalhes da: (4) câmera termográfica e; (5) termograma

FONTE: adaptado de FLIR (2011)

Conforme a Lei de Stefan-Boltzmann, a intensidade de radiação térmica emitida e, conseqüentemente, a taxa de emissão de energia radiada pela superfície de um corpo (W) é dependente da sua temperatura elevada a quarta potência (T^4) e da capacidade deste em emitir radiação, dada pela sua emissividade (ϵ), conforme equação (1) (ALTOÉ; FILHO, 2012).

$$W = \varepsilon \cdot \beta \cdot T^4 \quad \text{Onde:} \quad (1)$$

W: taxa de emissão de energia radiante (W/m²);
 ε : emissividade do corpo (0 a 1);
 β : constante de Stefan-Boltzmann ($5,7 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$) e;
T: temperatura absoluta do corpo (K).

Se a potência de radiação recebida (W) da fonte radiante de um corpo negro com temperatura fixa T_{fonte} a uma distância curta e padronizada, geralmente 1 metro, e uma constante específica para cada curva (C) gera um sinal de saída (resultado) na câmera U_{fonte} proporcional a entrada da potência. Conforme descreve a equação (2):

$$U_{\text{fonte}} = C \cdot (T_{\text{fonte}}) \cdot W \quad \text{Onde:} \quad (2)$$

C: constante;
 T_{fonte} : temperatura da fonte;
W: potência de radiação.

Caso a fonte for um corpo negro com emitância ε , consequentemente a radiação recebida será conforme equação (3):

$$U_{\text{fonte}} = C \cdot \varepsilon \cdot T_{\text{fonte}} \cdot W \quad \text{Onde:} \quad (3)$$

C: constante;
 ε : emissividade do corpo;
 T_{fonte} : temperatura da fonte;
W: potência de radiação.

De acordo com a Figura 6, um corpo negro tem como característica absorver toda a radiação incidente sobre ele, em qualquer comprimento de onda e em qualquer direção (1). Sua concepção conta com uma caixa preta impermeável a luz, exceto em uma abertura em uma de suas faces com a presença de uma cavidade isotérmica constituída geralmente por material escuro absorvente e opaco que representa com perfeição as propriedades de um corpo negro (2). Qualquer radiação externa que entre pelo orifício é dissipada e absorvida por reflexões repetidas e, assim, apenas uma fracção infinitesimal pode, eventualmente, escapar. Com a presença de um sistema de aquecimento dentro desta caixa se obtém o que é conhecido por radiador de cavidade. Por fim, definida a concepção do corpo, uma cavidade isotérmica aquecida a uma temperatura uniforme gera radiação de corpo negro, cujas

características são determinadas exclusivamente pela temperatura da cavidade, pura e sem interferências externas.

Esta técnica permite correlacionar a temperatura interna conhecida com a radiação 100% emitida ($\varepsilon = 1$) pelo corpo negro e medida pelo equipamento. Diferentes corpos negros com diferentes temperaturas e intensidades de radiação formam uma curva de calibração para os termovisores (3). É a técnica tradicionalmente utilizada por laboratórios (5), com padrões de referência de fontes de temperatura e radiação, para calibrar medidores infravermelhos de temperatura e termovisores (4) (FLIR SYSTEMS, 2010, 2016).

Figura 6 – Representação esquemática do processo de calibração dos termovisores através de radiadores isotérmicos de cavidade (corpos negros) com diferentes temperaturas (padrão de calibração infravermelho)

FONTE: Elaborado pelo autor. Informações de FLIR Systems (2016) e ITC (2018)

Em síntese, as parcelas de radiação A, B e C ilustradas na Figura 5 são oriundas de (FLIR SYSTEMS, 2013):

- A.** A radiação emitida pelo objeto (W_{objeto}) ilustrado em (2) é influenciada pela emissividade de sua superfície ($\varepsilon_{\text{objeto}}$) e sua temperatura superficial (T_{objeto}), além disto, existe um volume atmosférico entre o objeto em análise e os sensores presente no termovisor, nesta condição a

transmitância da atmosfera ($\tau_{atmosfera}$) é presente formando a parcela captada $A = (\epsilon_{objeto} \cdot \tau_{atmosfera} \cdot W_{objeto})$;

B. A radiação presente nos objetos adjacentes ($W_{refletida}$) indicado em (1) é influência da reflexão do objeto ($1 - \epsilon$) e a temperatura das fontes de calor do entorno ($T_{refletida}$). Sendo, por fim, a parcela B o produto de $(1 - \epsilon_{objeto}) \cdot \tau_{atmosfera} \cdot W_{refletida}$;

C. A radiação emitida pela atmosfera ($W_{atmosfera}$) indicada em (3) é influência da emitância da atmosfera ($1 - \tau_{atmosfera}$). Formando, portanto, a parcela $C = (1 - \tau_{atmosfera}) \cdot W_{atmosfera}$.

Contudo, a potência de radiação total captada pela câmera infravermelha é expressa pela somatória das parcelas A, B e C, conforme equação (4):

$$W_{total} = \epsilon_{obj} \cdot \tau_{atm} \cdot W_{obj} + (1 - \epsilon_{obj}) \cdot \tau_{atm} \cdot W_{refl} + (1 - \tau_{atm}) \cdot W_{atm} \quad (4)$$

Logo, a potência de radiação do objeto é a operação da equação acima, e seu resultado é expresso na equação (5):

$$W_{objeto} = \frac{W_{total}}{\epsilon_{obj} \cdot \tau_{atm}} - \frac{(1 - \epsilon_{obj}) \cdot W_{refletida}}{\epsilon_{obj}} - \frac{(1 - \tau_{atm}) \cdot W_{atm}}{\epsilon_{obj} \cdot \tau_{atm}} \quad (5)$$

Substituindo a equação (1) em (5) e apresentando a solução da equação de modo a isolar temperatura do objeto (T_{objeto}), resultado procurado com a técnica obtemos a equação (6):

$$T_{objeto} = \sqrt[4]{\frac{W_{total}}{\epsilon_{obj} \cdot \tau_{atm} \cdot \beta} - \frac{(1 - \epsilon_{obj}) \cdot \beta \cdot T_{refletida}^4}{\epsilon_{obj} \cdot \beta} - \frac{(1 - \tau_{atm}) \cdot \beta \cdot T_{atm}^4}{\epsilon_{obj} \cdot \tau_{atm} \cdot \beta}} \quad (6)$$

Assim, para a obtenção de um termograma que represente bem a temperatura real do objeto, solucionando a equação (6), é necessário medir os seguintes parâmetros no momento da sua captura:

- Emissividade do objeto em análise (ϵ_{objeto});
- Temperatura refletida (T_{refl});
- Distância (D);
- Temperatura atmosférica (T_{atm});
- Umidade relativa do ar (%).

3.2.1 Parâmetros de medição

3.2.1.1 Emissividade

A emissividade é uma propriedade superficial dos materiais e está relacionada a capacidade de um objeto de emitir radiação eletromagnética (AVDELIDIS; MOROPOULOU, 2003; CALLISTER; RETHWISCH, 2016). As superfícies possuem uma gama de emissividades compreendida entre 0 e 1, na qual as superfícies extremamente polidas ou espelhadas chegam muito próximo de 0 e a pele humana entre 0,97 e 0,98, por exemplo. A emissividade de um corpo é calculada pela relação entre a energia irradiada por uma superfície (R) e a energia irradiada por um corpo negro (R_{cn}) teórico na mesma temperatura a um mesmo comprimento de onda, definida pela equação (7) (BARREIRA, 2004).

$$\epsilon(\lambda) = \frac{\frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda}}{\frac{dR_{\text{cn}}(\lambda, T)}{d\lambda}} \quad (7)$$

Como pode ser observado, é dependente ainda do comprimento de onda (λ), do ângulo de observação em relação a sua superfície (θ) e sua temperatura (T), equação (8).

$$\epsilon = f(\lambda, \theta, T) \quad (8)$$

Usamentiaga *et al.* (2014) mostram a distribuição de radiação emitida por corpos negros em diferentes temperaturas e diferentes comprimentos de onda. Os autores expõem que objetos com altas temperaturas emitem mais radiação nos comprimentos de ondas médias (Gráfico 1 a), enquanto objetos com baixas temperaturas emitem mais radiação nos comprimentos de ondas longas (Gráfico 1 b).

Gráfico 1 – Radiação eletromagnética emitida por um corpo negro em equilíbrio térmico a uma temperatura definida.

FONTE: Usamentiaga et al. (2014)

Para um corpo não-negro apenas uma parcela da radiação que incide sobre ele é absorvida (α), todo o restante é refletida (ρ) e transmitida (τ), sendo estas dependentes do comprimento de onda (λ). Portanto, para um determinado comprimento de onda, a soma das três parcelas é uma unidade, de acordo com a equação (9) baseada no princípio da conservação de energia:

$$\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad (9)$$

Segundo a Lei de Kirchhoff, materiais expostos a determinada temperatura e comprimento de onda, em condições de regime permanente, apresentam emissividade de sua superfície igual a sua absorvidade. Isto é, a capacidade do material de absorver radiação é igual a sua capacidade de emitir radiação (10):

$$\alpha(\lambda) = \varepsilon(\lambda) \quad (10)$$

Assim sendo, pode ser expressa a equação (11):

$$\varepsilon(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad (11)$$

Barreira (2004) apresenta estes parâmetros presentes em alguns matérias com características particulares (Gráfico 2):

Corpo negro	$\varepsilon(\lambda) = 1$	$\rho(\lambda) = 0$	$\tau(\lambda) = 0$
Corpo transparente	$\varepsilon(\lambda) = 0$	$\rho(\lambda) = 0$	$\tau(\lambda) = 1$
Espelho perfeito	$\varepsilon(\lambda) = 0$	$\rho(\lambda) = 1$	$\tau(\lambda) = 0$
Superfície opaca	$\varepsilon(\lambda) + \rho(\lambda) = 1$		$\tau(\lambda) = 0$
Corpo cinzento	$\varepsilon(\lambda) = \text{constante}; \quad R(\lambda) = \text{constante}$		

Gráfico 2 – Emissividades x comprimento de onda para os corpos: negro, cinzento, real e espelho perfeito

FONTE: Barreira (2004)

A variação da emissividade de uma superfície para um mesmo comprimento de onda para não-metais é praticamente nula para ângulos de observação entre 0° e 60° em relação a perpendicular da superfície em análise, seja no eixo horizontal ou vertical do ângulo de visão (Gráfico 3). Após estes valores, a emissividade tende a 0 rapidamente. Para os metais, conforme o tratamento de sua superfície, os valores de emissividade são comumente baixos e sem grandes variações em ângulos de observação entre 0° e 40°, com aumento acentuado após ângulos superiores (Gráfico 4) (BARREIRA, 2004).

Gráfico 3 – Variação da emissividade em função do ângulo de observação para exemplares de não-metais: (1) madeira; (2) papel; (3) vidro

FONTE: Barreira (2004)

Gráfico 4 – Variação da emissividade em função do ângulo de observação para exemplares de metais: (1) níquel polido (2) níquel baço; (3) crômio; (4) alumínio

FONTE: Barreira (2004)

Os materiais presentes na construção civil como os revestimentos geralmente apresentam emissividades maiores que 0,8, mas podem sofrer grandes variações com relação a temperatura de análise, ao tipo de cor e superfície, seja ela escura, clara, esmaltada, rugosa, limpa ou suja, etc. Em compensação, devido a análises em temperatura próximas às do ambiente, a temperatura não exerce influência tão representativa na emissividade destes materiais (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Variação da emissividade em função da temperatura para exemplares materiais não-metálicos: (1) borracha; (2) porcelana; (3) cortiça; (4) papel; (5) argila refratária

FONTE: Barreira (2004)

3.2.1.2 Temperatura aparente refletida

Segundo ilustrado anteriormente, a temperatura medida pelas câmeras térmicas é a somatória de 3 parcelas de radiação: do objeto (A); dos objetos do entorno (B) e; da atmosfera (C). A temperatura aparente refletida é o parâmetro de correção inserido na parcela de radiação dos objetos do entorno do alvo em análise (B), utilizado para compensar a radiação refletida no objeto. Tal radiação pode gerar erros na medição da temperatura do objeto de análise com relação a sua temperatura real. Se a emissividade for baixa e a temperatura da superfície do objeto for relativamente diferente da refletida, principalmente se as diferenças forem grandes, será importante definir e compensar corretamente a temperatura aparente refletida. O método de obtenção é padronizado e pode ser encontrado na norma brasileira NBR 16292 (2014b). A aplicação do método de obtenção do parâmetro pode ser realizada tanto em campo quanto em laboratório e utiliza de materiais de fácil disponibilidade e é detalhado no Apêndice A.

3.2.1.3 Distância

Consiste na distância entre o objeto e a lente frontal da câmera. É o parâmetro utilizado para compensar:

- A radiação do objeto alvo absorvida pela distância da atmosfera presente entre o sensor da câmera e o objeto radiante;
- A radiação da própria atmosfera.

3.2.1.4 Umidade relativa do ar

Além da distância entre o objeto e a lente frontal da câmera ser um dos parâmetros de correção da influência da atmosfera, a umidade relativa do meio também é um parâmetro fundamental para a compensação. Parte da radiação emitida pelo objeto e atenuada pela atmosfera se dá pela presença de teores de vapor de água na atmosfera. O termovisor também pode compensar o fato de a transmitância depender também da umidade relativa da atmosfera (FLIR SYSTEMS, 2013; ITC, 2018). É importante estar munido de psicrômetro para a definição da umidade relativa de modo correto.

3.2.1.5 Temperatura ambiente atmosférica

É a temperatura do ar da atmosfera existente entre a câmera e o objeto alvo presente no ambiente de análise. Quanto maior a temperatura ambiente e, consequentemente mais quente o ar, mais a atmosfera presente entre a câmera e o alvo irá emitir radiação e influenciar na medição real de temperatura.

Sua medição também se torna possível com a utilização de psicrômetro. Adicionalmente, algumas câmaras e programas de análise permitem compensar a temperatura atmosférica presente entre a câmera e o alvo.

3.2.2 Aplicação da técnica de termografia infravermelha

A técnica termográfica pode ser dividida em duas abordagens de análise: (i) passiva e; (ii) ativa. Na termografia passiva, é considerado que os objetos alvos contêm armazenamento interno de energia térmica para que seja possível gerar os gradientes térmicos e consequentemente evidenciar alguma anomalia, ao exemplo dos seres vivos, ou estes objetos são estimulados por uma fonte natural de calor, como energia solar. Em outras palavras, na termografia passiva são analisadas as diferenças de temperatura e o comportamento térmico de superfícies em condições naturais de aplicação (Figura 7). Em alternativa, na termografia ativa, os objetos em análise são submetidos a uma fonte artificial de aquecimento ou resfriamento com o objetivo de provocar o fluxo de calor necessário para geração das diferenças de temperatura notáveis na imagem térmica e que possa evidenciar algum fenômeno (KYLILI et al., 2014; YANG; HE, 2016). Dentre as fontes de calor artificiais é possível

destacar as lâmpadas de infravermelho, sopradores térmicos, resistências elétricas, aquecedores mecânicos, pulsos ultrassônicos, micro-ondas, lasers, etc.

Nesta abordagem, a fonte de calor artificial pode ser posicionada em frente a face/superfície em análise, ou seja, o fluxo térmico tem sentido de fora para dentro com relação ao ponto de visão, correspondendo a uma inspeção por reflexão (Figura 8a). A fonte de calor artificial pode ser posicionada também ao lado oposto a superfície em análise, no qual o fluxo térmico ocorre de dentro para fora com relação ao ponto de visão, ou seja, uma análise por transmissão (Figura 8b).

Figura 7 – Ilustração da aplicação da técnica de termografia em análise passiva com fluxo térmico de indução natural através do sol

Figura 8 – Ilustração da aplicação da técnica de termografia com análise ativa e fluxo térmico por indução artificial através de painel radiante: (a) fonte posicionada a frente da superfície em análise; (b) fonte posicionada posterior a superfície em análise

Em relação ao método de análise, a técnica termográfica pode ser classificada em qualitativa e quantitativa. Na análise qualitativa, os termogramas gerados são comparados com padrões térmicos ou interpretados com base no conhecimento do termografista de modo que seja buscado comportamentos térmicos ou anormalidades em seus objetos de análise. Nas análises qualitativas os termogramas são interpretados visualmente, com base em determinado critério de avaliação e a sua classificação depende do conhecimento do analista com relação ao comportamento do objeto de estudo. Nas análises quantitativas, medições são realizadas e os diferentes valores de temperatura medidos são comparados. Para este tipo de metodologia de análise a inserção dos parâmetros citados devem ser inseridos para garantir a precisão da temperatura nos pontos em análise. Estas temperaturas mensuradas são geralmente usadas para determinar a gravidade da anomalia detectada seguindo determinado critério de classificação de gravidade e com isso definida as medidas de intervenção necessárias (FLUKE CORPORATION, 2005).

Com relação aos subsídios da aplicação da técnica no mercado brasileiro, a Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção – ABENDI (2019) por meio da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT coordenou a elaboração de normas relativas a ensaios não destrutivos, nas quais abaixo são elencadas àquelas relacionadas a aplicação da termografia infravermelha:

- **NBR 15424:** Ensaios não destrutivos – Termografia – Terminologia (ABNT, 2016a);
- **NBR 15572:** Ensaios não destrutivos – Termografia – Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos (ABNT, 2013b);
- **NBR 15718:** Ensaios não destrutivos – Termografia – Guia para verificação de termovisores (ABNT, 2009a);
- **NBR 15763:** Ensaios não destrutivos – Termografia – Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência (ABNT, 2009b);
- **NBR 15866:** Ensaio não destrutivo – Termografia – Metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos (ABNT, 2010);

- **NBR 16292:** Ensaios não destrutivos – Termografia – Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas (ABNT, 2014b);
- **NBR 16485:** Ensaios não destrutivos – Termografia – Medição e compensação da emissividade utilizando câmeras termográficas ou radiômetros (ABNT, 2016b);
- **NBR 16554:** Ensaios não destrutivos – Termografia – Medição e compensação da transmitância de um meio atenuante utilizando câmeras termográficas (ABNT, 2016c).

Nota-se que os documentos brasileiros que normalizam a aplicação da técnica no mercado são voltados para a inspeção de sistemas elétricos. Apenas a padronização das nomenclaturas técnicas através da norma brasileira NBR 15424 (2016a) sobre terminologia e a padronização do método de medição, compensação da temperatura aparente refletida expresso na norma NBR 16292 (2014b) e também a NBR 16485 (2016b) sobre a compensação através da obtenção do parâmetro emissividade podem ser melhor usufruídas pelo campo da construção civil. Dispondo, portanto, de pouco material normativo para a aplicação da técnica para a otimização dos subsídios necessários para o processo de inspeção e diagnósticos das edificações, evidenciando a necessidade de desenvolvimento científico da técnica na construção civil.

3.2.3 Termografia infravermelha na construção civil

A bibliografia demonstra que os principais grupos de pesquisa sobre a aplicação da técnica da termografia infravermelha na construção civil estão concentrados no continente europeu e estão localizados em: Portugal, Espanha, Itália, Grécia e Suíça. Outros países como Estados Unidos, Canadá, China e Rússia também apresentam algumas publicações relevantes. No Brasil, boa parte das publicações sobre o tema vêm de Brasília, com algumas contribuições de Goiás, Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais e Pernambuco.

Com relação aos maiores canais destas publicações podemos destacar os Journals: Construction and Building Materials; Energy and Buildings; Automation in Construction; Applied Energy; Energy Procedia e Infrared Physics & Technology. Existem ainda, aqueles específicos sobre o assunto de técnicas não destrutivas como:

ANDRADE, R. P. – Uso da termografia infravermelha embarcada em drone como ferramenta para a inspeção de patologias em revestimentos aderidos de fachada

Nondestructive Testing and Evaluation e; Quantitative InfraRed Thermography. Dos canais de publicações nacionais, é possível encontrar trabalhos publicados em revistas como Ambiente Construído e congressos como Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto e Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas.

Na Engenharia de Construção Civil, a termografia infravermelha vem sendo estudada e utilizada na investigação do conforto térmico dos edifícios (BITTENCOURT; SILVA, 2007). Na avaliação e caracterização de materiais da construção (BARREIRA et al., 2015; BARREIRA; DE FREITAS, 2007; WINNEFELD et al., 2012). Na detecção, quantificação e avaliação de manifestações patológicas relacionadas a infiltrações e umidade das edificações (BARREIRA; ALMEIDA; FERREIRA, 2017; MAGALHÃES et al., 2008). Na inspeção de edifícios, identificação de estruturas e elementos ocultos (ALTOÉ; FILHO, 2012; KORDATOS et al., 2013; KYLILI et al., 2014). No controle térmico do processo de hidratação de concretos (AZENHA; FARIA; FIGUEIRAS, 2011). Na avaliação de desempenho térmico de fachadas, com detecção de falhas de isolamentos térmicos e infiltrações (EDIS; FLORES-COLEN; DE BRITO, 2014; LEHMANN et al., 2013; LUCCHI, 2018). Na avaliação de anomalias em sistemas de revestimentos (BAUER et al., 2015; BAUER; MILHOMEM; AIDAR, 2018; DE FREITAS; DE FREITAS; BARREIRA, 2014; FREITAS; CARASEK; CASCUDO, 2014; LOURENÇO; MATIAS; FARIA, 2017; MATEUS, 2013; MENEZES; GLÓRIA GOMES; FLORES-COLEN, 2015; THEODORAKEAS et al., 2014).

Em síntese, a termografia pode ser empregada como um método de ensaio não destrutivo para o campo da construção civil, dado o fato da possibilidade de avaliar o comportamento de determinado material sem precisar destruí-lo ou remove-lo de seu local de uso e aplicação, na qual se baseia no mapeamento térmico dos elementos que se desejam analisar, permitindo localizar regiões defeituosas ou com determinadas anomalias. Assim sendo, torna-se necessário fomentar iniciativas brasileiras de aplicação da técnica para a facilitação das atividades corriqueiras de manutenção e inspeções periódicas, seja elas preditivas e corretivas. A proposição de métodos que possam acessibilizar a utilização da técnica com confiabilidade é uma das lacunas a serem preenchidas e a exploração do tema pode estimular sua disseminação.

3.2.4 Utilização da termografia infravermelha na detecção de destacamento de revestimentos aderidos

A utilização da termografia infravermelha na detecção de anomalias em sistemas de revestimentos aderidos apresenta ter grande potencial de otimização do processo de levantamento de subsídios e diagnóstico do estado de conservação das fachadas quando comparado aos processos de diagnósticos convencionais, facilitando as atividades de inspeção.

Com base na análise de perfis de temperatura, a termografia infravermelha apresenta ser capaz de identificar anomalias pois o processo de condução térmica, afetado pela presença de falhas, inclusões, umidade, dentre outras intervenções, geram uma alteração na temperatura superficial do sistema em comparação a temperatura das áreas íntegras. A possibilidade de identificar as anomalias não vai depender somente das características e profundidade do defeito. Objetos em equilíbrio térmico ou higroscópico não permitem serem eficientemente estudados com a termografia (BARREIRA; DE FREITAS, 2007). A intensidade e sentido do fluxo de calor que atravessa o elemento vai determinar o momento em que a anomalia é visível e como a mesma vai aparecer no termograma, se é com região mais fria ou mais quente.

A espessura relativamente pequena da maioria das camadas do sistema de revestimento aderido e a presença de ar (vazios) entre as camadas – como resultado da perda de aderência com o substrato – são dois dos fatores que contribuem para a detecção deste fenômeno com a termografia infravermelha. Estas bolsas de ar entre as camadas dificultam a troca de calor nestas áreas, tornando o fenômeno perceptível para a tecnologia. Após a troca de calor entre a superfície e o ambiente através de uma fonte térmica, caso exista área destacada, o ar presente na cavidade destacada exercerá troca de calor diferente das áreas íntegras do revestimento, trabalhando como um isolante térmico devido as diferentes condutividades térmicas entre o ar ($\sim 0.0241 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$) e o revestimento cerâmico ($\sim 1,5 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$), facilitando o processo de visualização da anomalia. Neste sentido, durante o dia a área destacada do revestimento se apresentará mais quente que as camadas íntegras, uma vez que a região destacada tem menor espessura e conduz o calor mais rápido da superfície até a interface destacada, diferente do que ocorre na superfície íntegra com transferência mais lenta de calor entre suas camadas. Por outro lado, a área destacada é resfriada

mais rapidamente quando comparada com a área íntegra durante a noite ou após a queda da temperatura ambiente (Figura 9) (HIASA; BIRGUL; CATBAS, 2017). Em outras palavras, a área destacada troca calor de maneira mais rápida com o meio no qual está inserida.

Figura 9 – Princípio da detecção de anomalias em sistemas aderidos na qual a anomalia se apresenta mais evidente no período do início da manhã e no início da noite com maiores variações de temperatura entre as áreas íntegras e destacadas

FONTE: Hiasa; Birgul; Catbas (2017)

Freitas *et al.* (2014) conseguiram detectar simulações de descolamentos com indução de falhas em revestimentos de gesso polimérico através pesquisa feita em ambiente laboratorial. Os autores observaram que os descolamentos simulados e testados produziram temperaturas mais elevadas do que as áreas sem a presença de defeitos durante a exposição a uma fonte de calor com aplicação ativa (Figura 10). Em campo, Bauer e Pavón (2015) identificaram a patologia em dias de sol e nublado. As áreas descoladas se apresentaram visíveis com temperaturas mais elevadas do que o restante da fachada durante o dia e com temperaturas mais baixas com relação ao restante do pano revestido, quando a temperatura do ar foi diminuindo após o pôr do sol (Figura 11).

Figura 10 – Termogramas obtidos de protótipos com simulação de falha de descolamento em processo de aquecimento. (a) sem aquecimento. (b) início do aquecimento. (c) após 5 minutos. (d) após 10 minutos. (e) após 20 minutos. (f) após 30 minutos

FONTE: Freitas *et al.* (2014)

Figura 11 – Detecção de destacamento (D) em fachada de edifício no período da tarde em processo de resfriamento da fachada na qual a manifestação se apresenta mais fria que as demais regiões, aparentemente integras

FONTE: Bauer e Pavón (2015)

Lourenço *et al.* (2017) detectaram descolamentos em placas cerâmicas do tipo porcelanato em diferentes cores (branca e preta). Durante o dia, os descolamentos induzidos se apresentaram nos termogramas como áreas mais quentes e, no período da noite como áreas mais frias (Figura 12) conforme antes constatado por Bauer e Pavón (2015). Um fato interessante abordado neste estudo é que a presença de umidade pode ser detectada pela técnica, porém o comportamento térmico afetado por sua presença pode dificultar a avaliação do destacamento, de modo a mascarar os gradientes térmicos nestas regiões.

Figura 12 – Detecção de destacamento em ensaio laboratorial com termografia passiva. (a) no período da manhã a falha induzida se apresenta mais quente que as áreas sem a presença de falha. (b) no período da tarde em processo de resfriamento da fachada a falha se apresenta mais fria que as demais regiões

FONTE: Lourenço et al. (2017)

Embora possam ser detectadas anomalias internas, a termografia infravermelha é considerada uma técnica superficial, já que as anomalias que podem ser identificadas são as que ficam próximas da superfície (LAI; LEE; POON, 2015). Com as variáveis envolvidas, relativas aos materiais e as condições relacionadas ao ambiente, a identificação de patologia com a termografia se torna relativamente complexa e depende do sentido e da intensidade do fluxo de calor, que pode variar com relação a metodologia adotada em experimento na termografia ativa ou depender das condições climáticas na termografia passiva.

Rocha e Póvoas (2017) realizaram uma revisão bibliográfica sistemática dos artigos e materiais acadêmicos que abordaram a aplicação da termografia para a inspeção de pontes de concreto e contemplam a possibilidade de detecção de destacamento em relação ao seu tamanho, profundidade, metodologia proposta e horário recomendado para inspeção, para caso das inspeções passivas aplicadas em pontes e estruturas de concreto. Apesar de vasta relação de resultados sobre a aplicação, os resultados compilados são sobre aplicação em estruturas maciças de

concreto e suscita dúvidas sobre a relação que estes comportamentos encontrados tenham com sistemas revestidos em multicamadas (Tabela 2).

Tabela 2 – Levantamento bibliográfico sobre estudos de detecção de destacamentos em relação ao tamanho, profundidade, método de análise e horários recomendados para a inspeção de pontes de concreto

Autores	Profundidade de destacamento (cm)	Área do destacamento (cm ²)	Deteção	Horário de inspeção recomendado
Sakagami e Kubo (2002)	2 - 3 - 5	10x10	Sim	Termografia ativa
	10	10x10	Não	
Maierhofer et al. (2006)	2 - 4 - 6 - 8	20x20	Sim	Termografia ativa
	2 - 4 - 6 - 8	10x10	Sim	
Meola (2007)	1.5 a 7	12.5 a 78.5	Sim	Termografia ativa
Abdel-Qader et al. (2007)	2.54 a 7	19.35 a 103	Sim	Termografia ativa
	8.9 a 10.16	14.5 a 103	Não	
Yehia et al. (2007)	1.9 - 2.5 - 5.1	3.8x3.8 a 10.3x10.2	Sim	10 h às 15 h
	5.6 - 10.1	3.8x3.8 a 10.3x10.2	Não	Nenhuma hora do dia
Cheng, Cheng e Chiang (2008)	0.5 - 1 - 1.5 - 2 - 3	10x10	Sim	Termografia ativa
		5x5	Sim	
Washer, Fenwick e Bolleni (2009)	5.1	30x30	Sim	5 a 7 horas*
	7.6	30x30	Sim	7 a 9 horas*
Washer, Fenwick e Bolleni (2010)	2.5	30x30	Sim	5 horas e 40 minutos*
	12.7	30x30	Sim	Mais de 9 horas*
Washer (2012)	2.5	30x30	Não	1 hora*
	5.1	30x30	Não	1 hora e 30 minutos*
	7.6	30x30	Não	2 horas*
Kee et al. (2012)	6.35	30.5x30.5	Sim	45 Minutos
		61x30.5	Sim	3 horas e 45 minutos*
		61x61	Sim	7 horas e 45 minutos*
Gucunski et al. (2013)	6.35	30.5x30.5 e 61x30.5 e 61x61	Sim	40 minutos*
			Não	Meio dia
Vaguefi et al. (2015)	5.1 - 7.6	Destacamentos reais	Sim	Meio dia
Watase et al. (2015)	1-2-3	30x30	Sim	Meio dia
		30x30	Sim	Meia noite
Alfredo-Cruz et al. (2015)	2.5 - 5.0 - 7.5	15x15	Sim	8 h às 11 h
Hiasa et al. (2016)	1.27 - 2.54 - 5.08	10.2x10.2	Sim	Período noturno
	7.62	10.2x10.2	Não	Nenhuma hora do dia

*Após o amanhecer

FONTE: Rocha e Póvoas (2017)

A utilização da tecnologia de termografia infravermelha para detecção de anomalias em fachadas revestidas conta com alguns cuidados para a obtenção de dados e consequentemente termogramas relevantes. Em síntese, existem dois grupos principais de variáveis: as que dependem do equipamento e as relacionadas com o alvo.

As principais variáveis vinculadas ao equipamento são a resolução térmica da câmera, a resolução geométrica IFOV (*Instantaneous Field of View*), o foco e o ângulo de visão relacionado a lente da câmera. No caso das variáveis relacionadas ao alvo, as principais a serem consideradas são: a emissividade; a distância e; a reflexão.

Todas estas variáveis afetam, as vezes em maior ou menor escala, a precisão dos resultados e a sua interpretação, sendo imprescindível conhecer ou mensurar cada uma delas antes da realização da inspeção termográfica (ITC, 2018).

Dentre as principais variáveis relacionadas ao equipamento, podemos apresentar às relacionadas a resolução da câmera, ao IFOV (*Instantaneous Field of View*), ao foco e ao ângulo de visão.

Cada pixel presente no termograma é a representação de temperatura medida por um sensor que compõe a resolução da câmera. Estes sensores são conhecidos como microbolômetros e são sensíveis a radiação infravermelha na qual é medida a radiação incidida sobre eles (Figura 13a). O conjunto destes microbolômetros são conhecidos como Detectores de Plano Focal (Figura 13b) e a sua quantidade determina a resolução térmica do termovisor (Figura 13c). Os termovisores comercialmente disponíveis com maiores capacidades tecnológicas contam com resolução de 1024x768 pixels, porém os mais utilizados na indústria da construção, devido ao custo benefício, apresentam resolução média entre 320x240 e 480x360 pixels. Ou seja, para este último, os detectores de plano focal são compostos por uma malha de 480x360 pixels/microbolômetros (ITC, 2018).

Câmeras com menor valor de IFOV e maior resolução permitem fazer leituras mais precisas e obter termogramas com maior nitidez e clareza para a detecção de anomalias. Como visto, a resolução geométrica (FOV – *Field of View*) corresponde ao o tamanho do detector projetado através das lentes ao alvo e é medido pela quantidade de pixels (Figura 13d). Já o IFOV se representa na unidade de mrad (miliradianos) e define o menor objeto que se pode ser representado na imagem do visualizador segundo a distância da medição do sensor até o alvo (Figura 13e). O valor representado em mrad corresponde ao tamanho da aresta da área do pixel (mm) a uma distância de 1m. Para garantir a confiabilidade da medição é importante apresentar o MFOV (Resolução de Medição), no qual diz que seu objeto em análise deve ser menor que o IFOV x 3, de modo a garantir que ele esteja inteiramente dentro do campo de análise estantâneo e que pelo menos um dos pixels (sensores) seja completamente coberto pela radiação incidida pelo objeto alvo (Figura 13f) (ITC, 2018).

Figura 13 – (a) microbolômetro, (b) Ampliação e detalhe dos microbolômetros do detector de plano focal (c) Detectores de Plano Focal, (d) FOV, (e) IFOV e (f) MFOV = 3 x IFOV

FONTE: adaptado de FLIR Systems (2019a) ; ITC (2018)

O IFOV, foco e ângulo de visão da lente dependem da lente e não podem ser analisadas separadamente. Os valores de IFOV frequentemente encontrados quando se emprega apenas a lente própria do equipamento ficam entre 0,6 e 3,7 mrad, no qual o ângulo de visão das lentes podem variar entre 7 e 80 graus, sendo mais utilizadas as lentes de 15 e 25 graus. O valor do IFOV e o ângulo da lente são algumas das principais limitantes nos estudos de fachadas. Quanto maiores sejam estes parâmetros, menor será a resolução dos termogramas e a precisão do estudo, dado que cada pixel analisado na imagem vai corresponder a uma área maior de medição.

Das variáveis relacionadas ao objeto medido, em particular as fachadas revestidas, a emissividade tem grande impacto na representatividade do perfil de temperatura real de um pano revestido. A Figura 14 apresenta a fachada de um prédio onde foi utilizado o valor de emissividade de 0,95, configuração padrão (*default*) de fábrica para os termovisores. Neste exemplo, os elementos de proteção das aberturas que têm emissividade mais baixa, apresentaram valores de temperatura superiores aos reais, podendo afetar análises quantitativas, trazendo imprecisão nos resultados analisados. Além disso, pode-se observar como a variedade de materiais com emissividade diferente gera grande amplitude do perfil de temperaturas, dificultando análise criteriosa do termograma e o processo de detecção de anomalias em fachadas

(BAUER; PAVÓN, 2015). Ajustes pontuais são necessários para análises mais precisas em casos como estes.

Figura 14 – Termograma da fachada de edifício com presença de diferentes materiais com emissividades distintas. Esta distinção acarreta grandes diferenças de temperaturas entre as esquadrias, revestimentos e elementos de proteção devido aos diferentes valores de emissividade dos materiais, além de apresentar valores de temperatura diferente aos reais apresentados

FONTE: Bauer e Pavón (2015)

Não apenas o ângulo característico da lente da câmera, mas também o ângulo de visão com relação ao alvo apresenta grande variação com relação a inclinação do ângulo à determinada emissividade. A Figura 15 apresenta o termograma de determinada fachada revestida com cantos arredondados. De acordo com o termograma, estas regiões apresentam ter temperaturas mais baixas se comparada a sua face, na qual deveria apresentar temperaturas similares, evidenciando a influência do ângulo de visão na emissividade nestas regiões. Apesar de Barreira (2004) apresentar que a emissividade exerce pouca influência para materiais não metais até a angulação de 60°, Bauer e Pavon (2015) recomendam ângulo limite de 45° como limite para a obtenção de termogramas precisos.

Figura 15 – Influência do ângulo de inclinação do alvo e consequentemente a influência da inclinação da emissividade no resultado dos termogramas

FONTE: Bauer, Pavón (2015)

A presença de obstáculos posicionados nas áreas adjacentes a fachada analisada também influencia os resultados termográficos. A reflexão causada sobre a superfície alvo, às vezes proveniente de um objeto ou elemento posicionado no campo da imagem termográfica gera equívocos relacionados ao surgimento de manchas nos termogramas, principalmente quando os estudos são feitos sobre uma forte incidência solar. Na Figura 16 é possível notar o sombreamento de uma árvore localizada próximo a superfície em análise. Tal fato demonstra a importância da correta interpretação dos termogramas e o motivo real das variações neles apresentados.

A avaliação dos termogramas em conjunto com as imagens RGB podem auxiliar o processo de análise e identificação de anomalias térmicas e são importantes para uma correta interpretação dos termogramas.

Figura 16 – Sombra presente na fachada do edifício gerada pela presença de um elemento externo gerando interferência no processo de análise por termografia

Não obstante, a distância também apresenta influência nas medições termográficas. Com o aumento da distância, cada ponto corresponde a uma área maior da superfície e a radiação captada pelo equipamento passa a ser uma média da radiação emitida na área correspondente ao pixel, perdendo-se detalhes na imagem. Neste contexto, Barreira et al. (2015) realizaram pesquisa sobre a análise da sensibilidade da termografia infravermelha quantitativa. Os autores concluíram que distâncias de até 10 metros não influenciava de maneira significativa os valores de temperatura dos pontos em análise com a câmera utilizada por eles.

Evidências como estas, compiladas através de revisão bibliográfica fundamentam os primeiros conceitos relacionados ao desenvolvimento laboratorial proposto. Nessa circunstância, nota-se a importância do domínio da tecnologia e seus parâmetros, das condições ideais de aplicação e das limitações da técnica. A exploração laboratorial é importante para o desenvolvimento científico de metodologias menos suscetíveis a interferências ou equívocos de interpretação, mas as condições controladas de estudo laboratorial geralmente não representam uma simulação fiel das condições de aplicação em campo necessárias para um processo confiável de inspeção.

4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para alcançar os objetivos apresentados, propõe-se que a metodologia de pesquisa seja dividida em três etapas: (i) etapa laboratorial; (ii) etapa de campo e; (iii) etapa de validação da técnica com estudo de caso.

O detalhamento relacionado as características das etapas, especificação de protótipos, materiais e equipamentos utilizados, variáveis de estudo e métodos de avaliação são apresentados abaixo.

4.1 Etapa laboratorial

Na etapa laboratorial, em ambiente interno e com utilização de abordagem ativa, foram confeccionados e utilizados dois painéis radiantes compostos por lâmpadas halógenas como fonte de calor artificial de modo a garantir taxa de aquecimento e induzir fluxo térmico no objeto de estudo. Cada painel tem as dimensões de 2,0x2,0m com 15 unidades de lâmpadas halógenas de 500W dispostas em toda a área do painel e coberta por uma camada refletora aluminizada (Figura 17a). As lâmpadas utilizadas atuam na temperatura de cor de 2800K e emissão de radiação no espectro visível sem emissão de radiação nos comprimentos de onda ultravioleta e infravermelho.

Os dois painéis são posicionados a uma angulação de 45° (Figura 17b) com relação a face dos protótipos de modo a garantir aquecimento uniforme e radiação média global incidida sobre a face em $450\text{W/m}^2 \pm 20\text{W/m}^2$ monitorado em todo o processo de ensaio através de radiômetro posicionado sobre o centro da face dos espécimes ensaiados (Figura 17c). Além de medição da radiação incidida sobre os protótipos é realizada medição contínua da temperatura no vão existente entre os painéis radiantes e o protótipo, além de temperatura superficial em todas as faces estudadas (Figura 17d) com utilização de termopares do tipo T.

Para este estudo, é caracterizado como ambiente laboratorial interno espaço coberto, com portas e janelas fechadas, sem circulação natural de vento e variação térmica do ambiente entre 24°C a 25°C e umidade relativa do ar entre 50% a 57% no momento do ensaio.

Figura 17 – (a) Ilustração de exemplar dos painéis radiantes utilizados com locação das lâmpadas (b) ilustração da disposição dos painéis a 45° com relação aos protótipos estudados (c) imagem dos painéis no momento do aquecimento dos protótipos (d) visualização interna com detalhe na fixação do dispositivo medidor de radiação e termopares para medições de temperaturas superficiais e ambiente

Com a utilização dos equipamentos e configurações detalhadas acima é realizado o aquecimento e monitoramento dos protótipos de modo a se obter as temperaturas superficiais de 20°C (temperatura em equilíbrio ambiental), 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, 50°C e 55°C respectivamente, após indução de radiação térmica. O objetivo é obter variação térmica superficial (Δt) de 0°C, 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C e 35°C respectivamente, na qual após o aquecimento são capturados termogramas dos espécimes nas distâncias de 3, 5, 7 e 10 metros com relação a face dos protótipos.

No decorrer do ensaio, os protótipos ainda em equilíbrio térmico de suas superfícies, são expostos a radiação controlada no qual são avaliados a cada intervalo de 5°C. Atingido o intervalo de medição desejado, os painéis radiantes são retirados de seu posicionamento e afastado para não gerar interferências no processo de medição. Logo após a medição em um determinado intervalo de temperatura

superficial, os painéis radiantes são reposicionados e se inicia um novo processo de aquecimento até o novo intervalo de análise e, por fim, os respectivos intervalos de análise são apresentados abaixo e as medições de radiação média global incidente sobre os protótipos são medidos e ilustrados no Gráfico 6:

- **Intervalo 1:** temperatura superficial ambiente, em equilíbrio térmico, entre **20°C e 25°C**;
- **Intervalo 2:** temperatura superficial **entre 25°C e 30°C**, após primeiro ciclo de aquecimento com radiação controlada;
- **Intervalo 3:** temperatura superficial entre **30°C e 35°C** após ciclo de aquecimento com radiação controlada;
- **Intervalo 4:** temperatura superficial entre **35°C e 40°C** após ciclo de aquecimento com radiação controlada;
- **Intervalo 5:** temperatura superficial entre **40°C e 45°C** após ciclo de aquecimento com radiação controlada;
- **Intervalo 6:** temperatura superficial entre **45°C e 50°C** após ciclo de aquecimento com radiação controlada;
- **Intervalo 7:** temperatura superficial entre **50°C e 55°C** após ciclo de aquecimento com radiação controlada.

Gráfico 6 – Medição da radiação média global incidida sobre os protótipos com posterior desligamento dos painéis radiantes e indicação dos intervalos de medição

4.1.1 Protótipos e variáveis de estudo

Três protótipos de sistemas revestidos em cerâmica com dimensões de 200x100cm e 100x100cm foram executados e avaliados nesta etapa. As placas

cerâmicas utilizadas apresentam acabamento superficial liso e fosco, de cor clara e cor escura, conforme exposto na Figura 18.

A proposição de protótipos com placas cerâmicas lisas e porosas permite avaliar a influência da radiação refletida no processo de medição e detecção de falhas por termografia. Superfícies mais lisas tendem a refletir com maior incidência irradiações oriundas de objetos do entorno do espécime de análise. Com relação a proposição de placas claras e escuras, é avaliada a influência da cor na detecção das falhas propostas. As especificações das placas utilizadas nesta etapa estão contidas na Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5 de acordo com o especificado pelos respectivos fabricantes.

Figura 18 – Placas com superfícies: (a) lisa (esmalhada); (b) rugosa (fosca); (c) as placas rugosas nas tonalidades clara e escura

Tabela 3 – Placa cerâmica com superfície lisa esmalhada e cor clara (cerâmica 1)

CERÂMICA 1	ESPECIFICAÇÕES
Superfície	Lisa esmalhada
	Cor	Branco gelo (clara)
	Formato	24,0 cm x 5,4 cm
	Espessura	9 mm
	Absorção de água (tipologia)	A1
	Fabricante	Gail
	Modelo	Branco gelo BR
	Código do produto	2109_2250

FONTE: Gail (2019)

Tabela 4 – Placa cerâmica com superfície fosca e cor clara (cerâmica 2)

CERÂMICA 2		ESPECIFICAÇÕES
Superfície	Fosca/rugosa
	Cor	Marfim (clara)
	Formato	25,6 cm x 6,5 cm
	Espessura	5,5 mm
	Absorção de água (tipologia)	BIIB
	Fabricante	Pierini Revestimentos
	Modelo	Produtos parede
	Código do produto	470

FONTE: Pierini Revestimentos (2019a)

Tabela 5 – Placa cerâmica com superfície fosca e cor escura (cerâmica 3)

CERÂMICA 3		ESPECIFICAÇÕES
Superfície	Fosca/rugosa
	Cor	Imperial (escura)
	Formato	25,6 cm x 6,5 cm
	Espessura	5,5 mm
	Absorção de água (tipologia)	BIIB
	Fabricante	Pierini Revestimentos
	Modelo	Produtos parede
	Código do produto	510

FONTE: Pierini Revestimentos (2019b)

A composição e execução de cada camada do protótipo é realizada com utilização de base em alvenaria composta por blocos cerâmicos nas dimensões de 14x19x39cm e 14x19x19cm, camada de regularização em argamassa de emboço industrializada e camada adesiva em argamassa colante do tipo AC-II, conforme NBR 14081-1 e NBR 13755 (ABNT, 2012b, 2017), variando apenas a camada de revestimento conforme apresentado acima. As juntas de assentamento são executadas com espaçadores de 3 mm e preenchidas com rejunte cimentício tipo I conforme a norma NBR 14992 (ABNT, 2003). Os protótipos são devidamente executados dentro de artefato de concreto (aduela) com a simples funcionalidade de elemento portante para as paredes revestidas.

A simulação das falhas de aderência (áreas destacadas) se faz com a inserção de aparato de poliestireno expandido (EPS), com função de isolante térmico, de modo a retratar um “vazio” nas camadas abaixo das placas cerâmicas seguindo as

profundidades de 1,0 cm, 4,0 cm, 6,0 cm e 8,0 cm a partir da face da placa cerâmica. A geometria da falha é quadrada seguindo três variações de tamanho nas dimensões de 30x30 cm, 20x20 cm e 10x10 cm. Ainda que em casos reais áreas destacadas nas dimensões de 10x10 cm e 20x20 cm não apresentem grandes riscos de queda, no âmbito da pesquisa e laboratorial são propostas estas dimensões de modo a avaliar as limitações da técnica. O mesmo pode ser justificado com a utilização de EPS como material para simulação de falhas ao passo que este material apresenta propriedades de condução térmica diferentes com relação a câmara de ar presente nas áreas descoladas. Foi proposta a utilização deste material uma vez que seja difícil a garantia do tamanho real da falha e indução do vazio sem a presença de algum inserte. Ilustração das profundidades e disposição das falhas é apresentada conforme Figura 19.

A Tabela 6 apresenta estas variáveis dispostas para os três protótipos propostos na etapa 1 laboratorial.

Tabela 6 – Protótipos e variáveis propostas para o programa experimental em metodologia ativa com avaliação através de câmeras com alta e baixa resolução

Protótipo	Dimensões do protótipo (cm)	Distância (m)	Geometria e tamanho das falhas (cm)	Profundidades das falhas (cm)	Superfície	Cor
1	200x100cm	3, 5, 7 e 10	Quadrada: 30x30, 20x20 e 10x10	1; 4; 6; 8	Cerâmica lisa	Clara
2	100x100cm	3, 5, 7 e 10	Quadrada: 30x30, 20x20 e 10x10	4; 8	Cerâmica fosca	Clara
3	100x100cm	3, 5, 7 e 10	Quadrada: 30x30, 20x20 e 10x10	4; 8	Cerâmica fosca	Escura

Para garantir exequibilidade do protótipo 1, é realizada a colagem sobre a base em alvenaria dos insertes referente a profundidade de 8 cm. Posteriormente foi executada camada de emboço de 2 cm (um centímetro do aparato), mais um centímetro) para se obter a profundidade de 6 cm. Após a secagem da camada de emboço é realizada a colagem dos aparatos de 6 cm de profundidade com posterior execução de mais 2 cm de emboço para se obter a superfície para a colagem da falha caracterizada por 4 cm de profundidade. Por fim, é executado mais 2 centímetros de emboço com posterior colagem das placas de EPS sobre a sua superfície. Finalizando com a realização da colagem das placas com argamassa colante caracterizando a

profundidade de 1 centímetro. Para elucidar tal execução, o processo é ilustrado na Figura 20.

Figura 19 – Ilustração da alocação das falhas nos protótipos revestidos. (a) as profundidades de inserção das falhas em EPS alocadas em profundidades com relação a superfície do protótipo (b)

NOTA: O exemplar ilustrado em (a) procura elucidar as cotas de profundidade dos insertes em relação a superfície. No entanto, os insertes não foram executados sobrepostos como ilustrado e sim alocados conforme modelo gráfico a direita.

Figura 20 – Processo executivo dos protótipos 1, 2 e 3 com inserção das placas de simulação de falhas (vazios em EPS) em diferentes profundidades do sistema revestido. (a) execução da alvenaria; (b) colagem dos insertes referente a profundidade de 8cm sobre a base; (c) execução da camada de regularização até a próxima cota de profundidade de falha; (d) exemplar de inserção de falhas referente a 4cm de profundidade coladas sobre a camada de regularização; (e) execução da camada decorativa com assentamento das placas cerâmicas; (f) protótipos finalizados

4.1.2 Equipamentos e software de análise

Para a detecção de destacamento nos sistemas de revestimentos aderidos avaliados foram utilizadas duas câmeras térmicas com diferentes resoluções térmicas e diferentes IFOV's. A primeira com resolução térmica de 160x120 pixels, abertura angular de 55° e, consequentemente, alto IFOV (Tabela 7). Câmeras portáteis deste tipo estão sendo cada vez mais utilizadas nos processos de inspeções preliminares, tendo em vista a flexibilidade de aplicação somada ao baixo custo de aquisição, além da facilidade de utilização com possibilidade de serem até acopladas em *smartphones*, auxiliando na obtenção dos primeiros subsídios para a compreensão de manifestações patológicas e a tomada de decisões. A segunda câmera apresenta resolução térmica de 320x240 pixels, abertura angular de 25° e IFOV aproximadamente quatro vezes menor, para viabilizar comparação com uma câmera de melhor resolução térmica e baixo IFOV (Tabela 8).

Tabela 7 – Câmera de baixa resolução térmica utilizada e denominada aqui como CT160

CÂMERA TÉRMICA FLIR ONE Pro		ESPECIFICAÇÕES CT160
Resolução térmica	160 x 120 pixels = 19.200 pixels
	Faixa de temperatura aplicada	5°C – 120°C
	HFOV	55° ± 1°
	VFOV	43° ± 1°
	IFOV	6,0 mrad
	Precisão	± 5%
	Faixa espectral	8 µm a 14 µm
	Sensibilidade térmica	70 mK
	Dimensões (L x A x P)	6,8 cm x 3,4 cm x 1,4 cm
	Peso	36,5 g

FONTE: FLIR Systems (2019b)

Tabela 8 – Câmera com resolução térmica utilizada denominada aqui como CT320

CÂMERA TÉRMICA FLIR T-420		ESPECIFICAÇÕES CT320
Resolução térmica	320 x 240 pixels = 76.800 pixels
	Faixa de temperatura aplicada	0°C – 60°C
	HFOV	25°
	VFOV	19°
	IFOV	1,36 mrad
	Precisão	± 2%
	Faixa espectral	7,5 µm a 13 µm
	Sensibilidade térmica	< 45 mK
	Dimensões (L x A x P)	20,1 cm x 12,5 cm x 11,3 cm
	Peso	880 g

FONTE: FLIR Systems (2019c)

Além da resolução térmica, foi realizada avaliação do impacto da distância de análise entre o ponto de posicionamento da câmera e o objeto alvo e, por conseguinte, explorar a viabilidade da utilização de câmeras termográficas de baixa resolução para detecção de destacamento. Neste sentido, é proposta a análise dos protótipos nas distâncias de 3, 5, 7 e 10 metros.

Na avaliação das áreas com falhas utilizou-se o software Flir Tools para o tratamento dos termogramas. Nele é possível configurar os parâmetros relativos ao ambiente e objeto de estudo medidos no momento da captura dos termogramas. Paletas de cores otimizam a interpretação visual dos efeitos térmicos no termograma evidenciando superfícies mais quentes e mais frias. Em áreas de baixos gradientes

de intensidade de radiação (poucas variações de temperaturas ou emissividades em áreas relativamente grandes), normalmente demandam paletas de alto contraste de cores.

A temperatura ambiente e umidade relativa do ar é medida por meio do equipamento de psicrometria Extech modelo MO297. No processo, o aparelho é posicionado próximo ao ambiente de análise no qual permanece fixo até o término do procedimento de análise por termografia. A medição e aquisição dos dados é realizada em todo o processo de análise mediante conexão/pareamento via *Bluetooth* com a câmera termográfica e os parâmetros mensurados ficam armazenados de maneira automática nos termogramas capturados. As especificações técnicas do aparelho são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Psicrômetro de umidade para medição dos parâmetros de umidade relativa do ar e temperatura ambiente

PSICRÔMETRO MeterLink MO297	ESPECIFICAÇÕES
Medição de temperatura ambiente	-29°C até 77°C
	Precisão de temperatura	$\pm 2^{\circ}\text{C}$
	Medição de umidade relativa do ar	0% até 100%
	Precisão de umidade relativa do ar	$\pm 3\%$
	Pirômetro	-20°C até 200°C
	Precisão pirômetro	$\pm 4,5^{\circ}\text{C}$
	Emissividade fixa	0,95

FONTE: Extech Instruments (2019)

A temperatura aparente refletida é medida no momento da captura dos termogramas pelo método refletor que consiste na utilização de aparato refletor e procedimento estabelecido conforme norma técnica. Este procedimento é ilustrado no Apêndice A.

A emissividade superficial do material é obtida no momento da avaliação, com terminologia de método da emissividade conhecida. É um método válido para objetos com superfície opaca e tem seu procedimento regido pela norma NBR 16485. O detalhamento do procedimento é apresentado no Apêndice A.

A medição de irradiância solar global incidida sobre a superfície de análise é medida com a utilização do solarímetro Solar Survey 200R que trabalha na faixa espectral de 300 nm até aproximadamente 1000 nm e apresenta a unidade de

radiação medida em *watts* por metro quadrado (W/m^2). As especificações técnicas do equipamento utilizado são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Solarímetro com bússola, inclinômetro e termômetros de temperatura ambiente e de contato para medição de irradiação de superfície

SOLARÍMETRO Solar Survey 200R	ESPECIFICAÇÕES
Faixa de medição de irradiação	100 W/m^2 até 1250 W/m^2
	Faixa de comprimento de onda	300 nm até 1000 nm
	Resolução de irradiação	1 W/m^2
	Faixa de medição de temperatura	-30°C até 125°C
	Resolução de temperatura	1°C
	Faixa de medição de inclinação	0° até 90°
	Resolução de inclinação	1°
	Faixa de medição de bússola	0° até 360°
	Resolução de bússola	1°
	Intervalo de medição	1 até 60 minutos
	Memória interna	5.000 medições

FONTE: Seaward (2019)

Por meio do posicionamento do instrumento de medição sobre a superfície de análise é realizada a medição da irradiação incidida sobre o objeto, trazendo subsídios sobre o fluxo térmico responsáveis pelo fenômeno analisado através da termografia.

4.1.3 Avaliação qualitativa

Os protótipos estudados passaram por um processo de avaliação qualitativa e quantitativa. Na avaliação qualitativa foi avaliada a possibilidade de detecção de falhas nos protótipos em diferentes: (i) tamanhos de falhas; (ii) profundidades de falhas; (iii) câmeras e respectivas resoluções térmicas; (iv) distâncias de análise; (v) tipos de superfícies e; (vi) cores.

Esta avaliação procurou explorar tanto o campo da análise qualitativa, com a avaliação da detecção ou não das falhas e seus tamanhos para as respectivas profundidades, distâncias de análise e diferentes câmeras, além de análise quantitativa na qual é quantificado o tamanho da falha detectada por termografia e comparado com o tamanho real das falhas inseridas e obtido os respectivos erros relacionados a cada variável.

Na análise, os termogramas são avaliados sobre a possibilidade de visualização das falhas em:

- **Sim**: quando é possível visualizar a falha com facilidade, sendo evidenciada de maneira clara;
- **Levemente**: quando é possível visualizar a falha levemente e de maneira parcial;
- **Não**: quando não é possível visualizar a falha;

Na Figura 21 é apresentado exemplar de termograma no qual contempla as indicações apresentadas acima e a maneira como o resultado é apresentado na forma tabular, levando em consideração todas as variáveis de estudo.

Figura 21 – Método de indicações de avaliação qualitativa sobre a possibilidade de visualização das falhas em seus respectivos locais inseridos

4.1.4 Avaliação quantitativa

Na avaliação quantitativa as áreas com falhas detectadas são medidas via software e comparadas com a área real da falha induzida. A diferença entre estas áreas é apresentada na tabulação como o erro relativo percentual para cada uma das variáveis. Os erros referentes a cada avaliação são tabelados e um exemplar é apresentado (Figura 22).

Figura 22 – Método de indicações de avaliação quantitativa sobre a possibilidade de visualização das falhas em seus respectivos locais inseridos

Todo processo de medição de grandezas tem seus procedimentos associados a um erro e o processo aqui proposto para a quantificação dos erros relativos não é diferente. O repetitivo processo de escalonamento das imagens, contorno das falhas e medição são passíveis de determinado erro. Assim, é preciso ter conhecimento do peso que este erro pode gerar para os resultados e decidir se o método adotado é ideal para a quantificação dos resultados.

Para entender este erro relativo ao processo de medição das áreas é proposta a aplicação do procedimento em uma mesma imagem termográfica na qual o mecanismo de escalonamento da imagem, contorno da falha e medição é realizado por 20 vezes. Os resultados medidos (x) para uma mesma área de 900cm² (tamanho real – x') são apresentados na Tabela 11. O erro relativo (13) calculado é a razão entre o módulo do erro absoluto da medida da falha e o tamanho real da falha, no qual o erro absoluto (12) é a subtração do tamanho da falha medida com relação ao tamanho real. A confiabilidade da medição é dada por uma unidade (100%) menos o erro relativo Er, conforme equação (14).

Erro absoluto: $Ea = |x - x'|$ (12)

Erro relativo: $Er = \frac{|x - x'|}{x'}$ (13)

Confiabilidade: $Conf = 100\% - Er$ (14)

Tabela 11 – Medição do erro relativo médio para o processo de análise quantitativa para uma mesma área e imagem termográfica medidas por 20 vezes

Medição	X - Valor medido da falha (cm²)	X' - Tamanho real da falha (cm²)	Erro relativo (%)	Confiabilidade (%)
1	951	900	5,67%	94,33%
2	944,9	900	4,99%	95,01%
3	919,2	900	2,13%	97,87%
4	984,9	900	9,43%	90,57%
5	931,5	900	3,50%	96,50%
6	967,2	900	7,47%	92,53%
7	939,3	900	4,37%	95,63%
8	947,7	900	5,30%	94,70%
9	946,9	900	5,21%	94,79%
10	963,7	900	7,08%	92,92%
11	963,2	900	7,02%	92,98%
12	977,9	900	8,66%	91,34%
13	939,3	900	4,37%	95,63%
14	955,8	900	6,20%	93,80%
15	966	900	7,33%	92,67%
16	981,7	900	9,08%	90,92%
17	954,6	900	6,07%	93,93%
18	922,7	900	2,52%	97,48%
19	950,9	900	5,66%	94,34%
20	941,4	900	4,60%	95,40%

Média do erro relativo mensurado por 20 vezes = 5,83%

Confiabilidade do processo de medição de = 94,17%

Portanto o processo de medição adotado, levado em consideração o processo de escolonamento para possibilitar a medição em pixel, delimitação da área detectada e medição realizados por 20 vezes para uma mesma imagem apresentou um erro relativo médio de 5,83%, uma confiabilidade de 94,17% e se mostra ser viável para as avaliações quantitativas.

Após a captura dos termogramas é realizada quantificação do erro relativo referente a área medida por termografia e a área efetiva da falha os resultados são tabulados. A partir da massa de dados obtida, identificar comportamentos médios,

compará-los, evidenciar informações contidas e discrepâncias, além de revelar tendências, é necessário utilizar de ferramentas de análise estatística de dados com aplicação dos conceitos relacionados a análise exploratória dos dados quantificados (PINHEIRO et al., 20122).

4.2 Etapa de campo

A etapa de metodologia passiva se deu por meio de exposição natural dos protótipos. No processo, os corpos de prova foram monitorados com as duas câmeras termográficas (CT320 e CT160) em dois dias distintos, um deles ensolarado e outro nublado nos quais foram medidos parâmetros como irradiância global incidida sobre as superfícies, umidade relativa do ar, temperatura ambiente e temperatura superficial em todo o momento do ensaio.

Os protótipos executados possuem dimensões de 1,00 x 2,00 metros composto por camadas, conforme protótipos detalhadas no item anterior, logo base em alvenaria cerâmica, camada de emboço, camada adesiva em argamassa colante industrializada, revestimentos foscos de mesma tipologia apresentada na Tabela 4 e na Tabela 5 e juntas de assentamento rejuntadas com rejunte cimentício branco do tipo I. As falhas são inseridas seguindo mesma metodologia anterior e têm suas dimensões em 30x30 cm, 20x20 cm e 10x10 cm e profundidades de 1,0 cm, 4,0 cm, 6,0 cm e 8,0 cm a partir da face da placa cerâmica. O detalhamento dos protótipos é apresentado na Figura 23. A camada decorativa destes protótipos e falhas induzidas são divididas em duas partes iguais com as dimensões de 1,00 x 2,00 m cada e placas cerâmicas metade escura e metade clara. O processo executivo do protótipo é apresentado na Figura 24.

Foram realizadas captura de imagens antes do nascer do sol (ANS), no qual tem sua incidência sobre o protótipo por volta das 6h45 da manhã para os dias escolhidos. Logo após o ANS é realizada a captura de termogramas a cada 1 hora com a utilização das duas câmeras, assim sendo, 7h, 8h, 9h, 10h, 11h, 13h, 14h, 15h, 16h, 17h e 18h.

Assim como avaliado na etapa 1 laboratorial, foi realizada avaliação qualitativa e quantitativa na etapa de campo, seguindo os mesmos critérios antes apresentados.

Figura 23 – Ilustração da alocação das falhas nos protótipos revestidos. (a) as profundidades de inserção das falhas em EPS alocadas em profundidades com relação a superfície do protótipo (b)

NOTA: O exemplar ilustrado em (a) procura elucidar as cotas de profundidade dos insertes em relação a superfície. No entanto, os insertes não foram executados sobrepostos como ilustrado e sim alocados conforme modelo gráfico a direita.

Figura 24 – Processo executivo do protótipo para aplicação de metodologia passiva com inserção das placas de simulação de falhas (vazios) em diferentes profundidades do sistema revestido divididos em dois revestimentos: claro e escuro

Os protótipos se encontram na Zona Oeste da capital de São Paulo, no campus da USP. Sua coordenada é -23,554472 latitude Sul e -46,731166 longitude Oeste e

aproximadamente 750 metros de altitude. Sua face se encontra posicionada para a orientação cardinal Norte. Foram executados no intervalo entre 21 de janeiro de 2019 e 04 de março de 2019. A avaliação para o dia ensolarado proposto foi realizada no dia 12 de agosto de 2019 e a avaliação para o dia nublado realizada no dia 14 de agosto de 2019.

Carta com posição solar para o dia do ensaio em condições climáticas ensolarada são apresentadas na Figura 25.

Figura 25 – Posicionamento dos protótipos (em vermelho) e posição solar no dia de 12 de agosto de 2019 no qual foram realizados os ensaios na etapa de campo

FONTE: <https://www.sunearthtools.com>

4.3 Comparação entre a detecção de falhas induzidas por termografia infravermelha e percussão

Com objetivo de possibilitar comparação entre a técnica proposta para a detecção das falhas através da termografia infravermelha e a técnica tradicionalmente empregada de mapeamento por percussão, propõe-se avaliar os protótipos também por percussão de modo a viabilizar comparação entre a quantidade detectada assim como os respectivos erros relativos para as respectivas técnicas no âmbito laboratorial.

No processo de mapeamento por percussão, um técnico do laboratório foi treinado e instruído em como detectar e mapear as falhas procuradas. Sem saber dos

locais nos quais foram inseridas as falhas, este profissional é encarregado de detectar e mapear às áreas com presença de som cavo para todos os protótipos avaliados tanto na etapa laboratorial, quanto de campo.

Após mapeamento das áreas com presença de som cavo, estas áreas foram delimitadas e posteriormente mensuradas, de modo a possibilitar o cálculo do erro relativo para cada uma das falhas simuladas.

4.4 Etapa de estudo de caso

Estudos de campo utilizando casos reais de obras fazem parte do desenvolvimento do conhecimento e aprimoramento da técnica. Nesta fase são aplicadas as diretrizes desenvolvidas e aperfeiçoadas nas etapas 1 e 2 de modo a ser realizada a aplicação da técnica com inspeção por termografia de fachadas revestidas que contenham também mapeamento mediante metodologia tradicional. Isso possibilita uma comparação com a técnica proposta e avaliação da sua confiabilidade. Para concluir, aqui são feitos os ajustes finais das diretrizes e protocolos de aplicação da técnica e variáveis de campo.

Nesta etapa são propostas a inspeção de 2 edifícios com presença de manifestação patológica de destacamento nos quais passaram por processo de inspeção por percussão, para permitir posterior comparação. O detalhamento destas torres avaliadas, seu porte, tipo de revestimento de fachada, característica dos drones e câmeras térmicas utilizadas são apresentados nos tens 5.4.1 e 5.4.2 no subcapítulo de estudos de caso.

Após inspeção no local e coleta dos dados, estes são mapeamentos em projeto de elevação e permite comparação entre as duas técnicas de detecção. As áreas inspecionadas e que contemplam detecção de destacamento são apontadas em projeto de elevação das fachadas e suas respectivas áreas alocadas e delimitadas. As áreas destacadas e detectadas alocadas nos detalhes arquitetônicos não vistos pelo projeto de elevação são indicadas em seta vermelha sobre a sua posição na fachada. As áreas mapeadas por termografia se apresentam delimitadas em hachura na cor vermelha ao passo que as áreas mapeadas por percussão se apresentam representadas em hachura azul.

O processo de comparação aqui proposto se dará por meio da quantificação de áreas avaliadas por ambas as técnicas e classificadas entre:

- **Total detectado:** representa a quantidade total de áreas detectadas e delimitadas pela respectiva técnica de detecção;
- **Confere:** representa as áreas que tem áreas mapeadas muito próximas ou exatamente no mesmo local em ambas as técnicas avaliadas;
- **Converge:** representa áreas que apresentam mesmas características, ou seja, formatos similares e orientações muito próximas, porém foram mapeadas em locais ou andares distintos entre as duas técnicas.

A Figura 26a e Figura 26b apresentam exemplares de detecção em ambas as técnicas classificadas em “confere”. A área indicada em (1) se apresenta como área detectada por termografia infravermelha e é computada apenas no “total detectado”. O mesmo ocorre para a área indicada em (6) que representa uma área detectada por percussão e não é classificada nem em “confere” ou “converge”. As áreas indicadas em (2), (3), (4) e (5), por mais que apresentem tamanhos distintos são quantificadas no “total detectado” assim como áreas “confere”. Ainda que as áreas indicadas em (7), (8) e (9) se apresentem com pequeno deslocamento no processo de mapeamento, entende-se aqui por áreas similares detectadas por ambas as técnicas, porém mapeadas em locais um pouco deslocados e seus tamanhos delimitados de maneira distintas devido as diferenças relacionadas pelo processo de compreensão do tamanho da falha, e são contabilizadas como áreas “confere”.

A Figura 26c apresenta exemplar de área mapeada e quantificada com classificação em “converge”. Entende-se que áreas com formatos e locais muito similares no pano revestido, no entanto alocados em pavimentos distintos, sejam as mesmas áreas detectadas, porém por algum equívoco foram alocadas em pavimentos distintos. Ainda que esta hipótese seja verdadeira, estas são classificadas em “converge”, diferindo daquelas classificadas em “confere”.

Figura 26 – Método de classificação de áreas mapeadas com a técnica de detecção por percussão e por termografia. (a) e (b) exemplares de área mapeadas classificadas e quantificadas em “confere”. (c) exemplar de área classificada e quantificada em “converge”

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As discussões e os resultados encontrados com o desenvolvimento da pesquisa seguem a mesma ordem apresentada no capítulo anterior sobre métodos e ensaios, no qual são apresentadas as contribuições relacionadas a etapa laboratorial, posteriormente, etapa de campo e, por fim, os procedimentos adotados e os resultados relacionados a fase de estudo de caso.

5.1 Etapa laboratorial

Os experimentos realizados mostram que existem duas fontes principais de troca de calor na qual colaboram para o fluxo térmico no sistema. A primeira e principal, ocorre pelo processo de radiação incidida sobre a superfície através do painel radiante (representada em vermelho). Outra fonte influenciadora para a temperatura superficial é a troca térmica por convecção através do calor gerado no vão entre o painel radiante e a superfície do protótipo, representado em verde e medido por termopar. No entanto os termopares são utilizados apenas para aferição da temperatura superficial com relação as temperaturas medidas por termografia. À medida que o painel é acionado, a temperatura desta área aumenta ligeiramente e as duas fontes em conjunto proporciona o aquecimento da superfície de maneira gradual. A linha em azul claro representa a medição da temperatura superficial em um ponto ao centro do protótipo 1, enquanto as linhas laranja, amarela e azul escura representam as temperaturas máxima, média e mínima em todo o protótipo mensurados através dos termogramas (Gráfico 7).

Gráfico 7 – Medição da radiação média global incidida sobre o protótipo 1 com posterior desligamento dos painéis radiantes, indicação dos intervalos de medição, além de temperaturas máxima, média e mínima da superfície dos protótipos

As temperaturas superficiais dos protótipos 2 e 3 monitoradas no momento do ensaio são apresentadas nas linhas laranja, amarela e azul escura nas quais representam as temperaturas máxima, média e mínima das superfícies, medidas através dos termogramas (Gráfico 8).

Gráfico 8 – Medição da radiação média global incidida sobre os protótipos 2 e 3 com posterior desligamento dos painéis radiantes, indicação dos intervalos de medição, além de temperaturas máxima, média e mínima da superfície dos protótipos medidas em conjunto

5.1.1 Resultados qualitativos

5.1.1.1 Avaliação do protótipo 1 em revestimento de cor branca e superfície lisa com utilização das câmeras CT320 e CT160

Os resultados referentes a avaliação qualitativa com utilização da câmera CT320 e CT160 sobre a possibilidade de detecção das falhas induzidas para o protótipo 1 são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Tabela comparativa de avaliação qualitativa sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações para as duas câmeras com diferentes IFOV's, CT320 e CT160

CT320 (FLIR T-420)															
ANÁLISE QUALITATIVA															
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Branca Lisa - Protótipo 1															
Profundidade (cm)															
		Distância (m)	1			4			6			8			
			30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	
Intervalo de temperatura superficial	20°C/25°C	3 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		5 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		7 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		10 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
	25°C/30°C	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
	30°C/35°C	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
	35°C/40°C	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		7 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
	40°C/45°C	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Levemente	Levemente	
		5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Levemente	Levemente	
		7 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Levemente	Levemente	
		10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Levemente	Levemente	
	45°C/50°C	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Levemente	Não	Não	Não	Levemente	Levemente	
		5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Levemente	Levemente	
		7 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Levemente	Levemente	
		10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Levemente	Levemente	
	50°C/55°C	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Sim	Levemente	Não	Não	Sim	Levemente	
		5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Sim	Levemente	Não	Não	Sim	Levemente	
		7 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Sim	Levemente	Não	Não	Sim	Levemente	
		10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Sim	Levemente	Não	Não	Sim	Levemente	
CT160 (FLIR One)															
ANÁLISE QUALITATIVA															
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Branca Lisa - Protótipo 1															
Profundidade (cm)															
		Distância (m)	1			4			6			8			
			30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	
Intervalo de temperatura superficial	20°C/25°C	3 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		5 metros	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		7 metros	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
	25°C/30°C	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
	30°C/35°C	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
	35°C/40°C	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		7 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
		10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
	40°C/45°C	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Levemente	Levemente	
		5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Levemente	
		7 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	
		10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	
	45°C/50°C	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Sim	Levemente	Não	Não	Levemente	Levemente
		5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Sim	Levemente	Não	Não	Levemente	Levemente
		7 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	
		10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	
	50°C/55°C	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	
		5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	
		7 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	
		10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	

No que diz respeito a avaliação das diferentes resoluções térmicas, apesar da câmera CT320 ter aproximadamente um quarto do IFOV da CT160, qualitativamente ambas as câmeras apresentaram comportamentos próximos com relação a quantidade de combinações de falhas detectadas em “sim”. Do total de 336 combinações relacionadas ao intervalo de temperatura superficial, distância de captura dos termogramas, profundidades e tamanhos de falhas, com a câmera CT320 foi possível detectar 109 variáveis com clareza (Sim) com representação de 32,4% do total de falhas e combinações simuladas, 64 levemente (19,0%) e 163 combinações não foram possíveis de serem detectadas (48,5%). A câmera CT160 possibilitou a

detecção de 110 variáveis com clareza (Sim) e, portanto 32,7%, 41 combinações classificadas em levemente (12,2%) e 185 não foram possíveis de detectar com a metodologia proposta (55,1%), conforme Tabela 13.

Tabela 13 – Avaliação e classificação qualitativa de falhas detectadas através das câmeras CT320 e CT160

Câmera	Número de combinações	Classificação das falhas	Quantidades detectadas	Porcentagem detectada
CT320	336	Sim	109	32,4%
		Levemente	64	19,0%
		Não	163	48,5%
CT160	336	Sim	110	32,7%
		Levemente	41	12,2%
		Não	185	55,1 %

Agora ao avaliar as pequenas diferenças entre elas, a câmera CT320 apresentou melhor as falhas presentes no intervalo de temperatura superficial de 20-25°C, principalmente àquelas de tamanho 20x20cm se comparada a câmera CT160, tendo em vista ser o intervalo no qual os protótipos se apresentavam em equilíbrio térmico com o ambiente em que estavam alocados. A CT320 mostrou-se mais sensível na visualização de pequenas variações de temperaturas e isso pode ser explicado pelo IFOV característico desta, com relação direta com o campo de visão e a sua distribuição na resolução térmica do equipamento, que possibilita a medição e consequentemente visualização de áreas menores se comparado com a CT160.

Para elucidar esta diferença na sensibilidade entre as câmeras, são apresentados na Figura 27 termogramas referentes a CT320 e CT160 no intervalo de temperatura superficial de 20-25°C, capturados na mesma distância de 7 metros. É possível observar nos termogramas as diferenças referentes ao campo de visão com respectivos ângulos de visão de 25°x19° (HFOV x VFOV) para a CT320 e 55°x43° para a CT160, e demonstra a percepção do termograma da CT320 parecer mais próximo.

Através do software Flir Tools é traçado uma linha (em cor amarela) sobre a seção das falhas detectadas e outra sobre área adjacente em equilíbrio térmico (em cor roxa) e é realizada medição de temperatura na respectiva linha com obtenção do respectivo perfil térmico. Cada pixel presente no termograma representa a medição de temperatura em um ponto, e, portanto, para linhas nas seções similares é

observada grande diferença na quantidade de pixels/medições presentes para as duas câmeras conforme apresentado no eixo das abcissas presente nos gráficos. Enquanto as linhas traças no termograma da CT320 apresentaram 138 medições de temperatura, as linhas traças para a CT160 apresentaram 84 medições e demonstra a melhor definição para a medição de variações térmicas em áreas ou seções menores para a câmera de menor IFOV.

Quanto maior a variação térmica entre a área íntegra e com a presença de falha, maior a possibilidade de detecção destas falhas. Esta variação térmica (Δt) se apresenta na forma de picos e demonstra a possibilidade de detecção das falhas simuladas. Neste sentido, a câmera CT320 apresentou a medição da variação térmica entre a área íntegra e com falha de aproximadamente $0,1^{\circ}\text{C}$ para a falha de $10 \times 10 \text{ cm}$, não sendo possível a sua detecção, $0,2^{\circ}\text{C}$ e $0,25^{\circ}\text{C}$ para as falhas de $20 \times 20 \text{ cm}$ e $30 \times 30 \text{ cm}$ respectivamente, enquanto a câmera CT160 mensurou apenas a falha de $30 \times 30 \text{ cm}$ com variação térmica de aproximadamente $0,15^{\circ}\text{C}$. Isto explica os motivos pelo qual a câmera CT160 detectou uma quantidade menor das variáveis classificadas em “levemente” e, portanto, 41 das combinações totais, face a 64 detectadas pela CT320.

Figura 27 – Visualização dos termogramas referente ao intervalo de temperatura superficial de 20/25°C, na distância de 7 metros para as câmeras CT320 e CT160, além das respectivas temperaturas e variações térmicas das áreas com a falha e adjacente em equilíbrio ilustradas no gráfico a direita

Após o início do aquecimento, todas as falhas presentes na profundidade de 1cm foram detectadas com bastante clareza, assim como boa parte das falhas inseridas na profundidade de 4cm.

A câmera CT320 mostrou uma maior capacidade de detectar as falhas na profundidade de 8cm, na condição mais crítica simulada, no intervalo de temperatura superficial acima de 40/45°C ou Δt superficial de ao menos 20°C (Figura 28).

Figura 28 – Visualização dos termogramas referente ao intervalo de temperatura superficial de 45/50°C e 50/55°C, na distâncias de captura de 10 metros para as câmeras CT320 e CT160, no qual apresenta a possibilidade de visualização das falhas inseridas na profundidade de 8cm

A avaliação da influência do intervalo de temperatura superficial para a detecção de anomalias com utilização das duas câmeras utilizadas demonstrou que quanto maior o intervalo de temperatura superficial maior é a probabilidade de detecção das falhas simuladas com maior profundidade. Falhas antes não vistas nas profundidades de 4, 6 e 8cm para os intervalos de temperatura superficial de 30°C/35°C passam a serem vistas em intervalos de temperatura superiores (Gráfico 9).

Para pequenas variações térmicas, a CT320 se mostrou melhor na detecção de falhas classificadas em “levemente”. No intervalo inicial de análise (20°C/25°C) as pequenas variações térmicas das falhas foram mais bem observadas, assim como intervalos de temperatura superficial superiores a 40°C/45°C, principalmente as falhas classificadas em “levemente”.

É notada ainda estabilização da quantidade de falhas detectadas para o intervalo de temperatura superficial acima de 40°C/45°C seja para a avaliação com a CT320 ou a CT160. Desta forma, os resultados apresentados demonstram que variações da temperatura superficial em torno de 20°C se mostraram bastante representativos para a detecção de anomalias para a metodologia explorada.

Gráfico 9 – Quantidade de falhas detectadas e classificadas em “sim”, “levemente” e o total detectado com a somatória de ambos em função do intervalo de temperatura superficial avaliadas com a CT320 e CT160

5.1.1.2 Avaliação dos protótipos 2 e 3 em revestimento de cor clara, escura e superfície porosa com utilização das câmeras CT320 e CT160

Para os protótipos 2 e 3 é proposta a avaliação da influência da cor para a detecção das falhas. Assim, é proposta a simulação apenas as profundidades de falha de 4cm e 8cm.

Na Tabela 14 e Tabela 15 são apresentados os resultados qualitativos sobre a possibilidade de detecção classificação dos defeitos detectados para as superfícies com placas de cor clara e escuras, diferentes dimensões, distâncias de análise, profundidade e câmeras.

Tabela 14 – Tabela comparativa de avaliação qualitativa sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações para superfície de cor clara e escura avaliadas com a CT320 e CT160

CT320 (FLIR T-420)										CT160 (FLIR One)									
ANÁLISE QUALITATIVA										ANÁLISE QUALITATIVA									
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Clara Fosca - Protótipo 2										MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Clara Fosca - Protótipo 2									
Ditância (m)										Ditância (m)									
4										4									
8										8									
30x30 cm										30x30 cm									
20x20 cm										20x20 cm									
10x10 cm										10x10 cm									
3 metros										3 metros									
5 metros										5 metros									
7 metros										7 metros									
10 metros										10 metros									
Intervalo de temperatura superficial										Intervalo de temperatura superficial									
20°C/25°C										20°C/25°C									
25°C/30°C										25°C/30°C									
30°C/35°C										30°C/35°C									
35°C/40°C										35°C/40°C									
40°C/45°C										40°C/45°C									
45°C/50°C										45°C/50°C									
50°C/55°C										50°C/55°C									

Tabela 15 – Tabela comparativa de avaliação qualitativa sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações para superfície de cor escura avaliadas com a CT320 e CT160

CT320 (FLIR T-420)										CT160 (FLIR One)									
ANÁLISE QUALITATIVA										ANÁLISE QUALITATIVA									
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Escura Fosca - Protótipo 3										MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Escura Fosca - Protótipo 3									
Ditância (m)										Ditância (m)									
4										4									
8										8									
30x30 cm										30x30 cm									
20x20 cm										20x20 cm									
10x10 cm										10x10 cm									
3 metros										3 metros									
5 metros										5 metros									
7 metros										7 metros									
10 metros										10 metros									
Intervalo de temperatura superficial										Intervalo de temperatura superficial									
20°C/25°C										20°C/25°C									
25°C/30°C										25°C/30°C									
30°C/35°C										30°C/35°C									
35°C/40°C										35°C/40°C									
40°C/45°C										40°C/45°C									
45°C/50°C										45°C/50°C									
50°C/55°C										50°C/55°C									

Na Tabela 16 é apresentado um quadro resumo dos resultados. Em todas os intervalos de temperatura superficial induzidos aquelas detectadas e classificadas em “sim” se mostraram semelhantes (em torno de 35%), independentemente da cor da cerâmica e do tipo de câmera utilizada.

Já para os casos de não detecção ou pequena variação térmica entre a área com falha e área íntegra a cor da cerâmica exerce maior importância, em vista que a CT320 tem maior capacidade de visualizar mais falhas classificadas em levemente que a CT160.

Tabela 16 – Avaliação e classificação qualitativa de falhas detectadas através das câmeras CT320 e CT160 para os protótipos 2 e 3

Superfície (cor)	Câmera	Número de combinações	Classificação das falhas	Quantidades detectadas	Porcentagem detectada
Cor clara	CT320	168		60	35,7%
			25	14,9%
			83	49,4%
Cor clara	CT160	168		59	35,1%
			18	10,7%
			91	54,2 %
Cor escura	CT320	168		60	35,7%
			12	7,1%
			96	57,1%
Cor escura	CT160	168		59	35,1%
			9	5,4%
			100	59,5%

O Gráfico 10 apresenta a quantidade de falhas detectadas e classificadas em função do intervalo de temperatura superficial e tipo de cor da superfície cerâmica. A segmentação dos resultados permite um maior aprofundamento na sua avaliação e extração de informações.

Gráfico 10 – Quantidade de falhas detectadas e classificadas em “sim”, “levemente” e o total detectado com a somatória de ambos em função do intervalo de temperatura superficial. Ao lado esquerdo para o protótipo 2 em superfície de cor clara. Ao lado direito para o protótipo 3 com superfície em cor escura, ambos avaliados com a CT320 e CT160

Os resultados mostram que na superfície de cor clara é observada maior quantidade de falhas detectadas e classificadas em “levemente” no intervalo de temperatura acima de 45/50°C se comparada a de cor escura. Este comportamento pode ser explicado pela maior condutividade térmica da superfície escura que consequentemente colabora para o equilíbrio térmico superficial de maneira mais rápida, sendo as pequenas variações térmicas superficiais insuficientes para permitir uma visualização qualitativa da falha através da câmera termográfica (Figura 29).

O intervalo de temperatura superficial 45/50°C e 50/55°C apresentado na Figura 29 demonstra este comportamento. Termogramas capturados com a CT320 nos respectivos intervalos de temperatura superficial e na mesma distância de análise de 5 metros discriminam o perfil térmico para as duas superfícies. As falhas na profundidade de 4 centímetros são facilmente detectadas e classificadas com “sim” para ambas as cores, ao passo que aquelas na profundidade de 8 centímetros são melhor visualizadas na superfície de cor clara que a escura.

Através de linhas traçadas sobre as falhas detectadas e em área adjacente em equilíbrio térmico são observados picos de variação térmica (Δt) de aproximadamente 3,8°C referente a falha de 30x30cm e 2,4°C referente a falha de 20x20cm e estes picos possibilitam a detecção das falhas na superfície de cor clara. Já para a superfície de cor escura, não é observada a presença destes picos de variação térmica no qual não permite a detecção das falhas simuladas.

Portanto, é observado que a detecção das falhas de maneira visual e qualitativa se dá pela presença de picos de variação térmica (Δt) relacionados as diferenças térmicas entre as áreas íntegras e com presença de falha. A não existência destes picos impossibilita a visualização da falha e consequentemente impossibilita a sua detecção de maneira visual, por mais que exista uma variação térmica entre a área com falha e a área íntegra.

Observa-se que sistemas revestidos de fachadas de edifícios expostas a dias ensolarados possibilitam chegar em temperaturas de até 60°C no qual pode representar maiores temperaturas superficiais que àquelas nos intervalos explorados pela pesquisa e, assim sendo, temperaturas acima dos intervalos estudados, nas quais evidenciam a possibilidade de detecção em ambiente real.

Figura 29 – Visualização dos termogramas referente ao intervalo de temperatura superficial de 50/55°C, na distância de análise de 5 metros capturados com a CT320. Acima é apresentado o termograma referente ao P2 e respectivos perfis térmicos para áreas com e sem anomalia térmica. Abaixo o respectivo local para o P3 no qual não possibilitou a visualização e sem os respectivos picos

5.1.1.3 Avaliação do protótipo 1 em revestimento superfície lisa e o protótipo 2 com superfície porosa, ambos com cores claras, avaliadas com utilização das câmeras CT320 e CT160

Para os protótipos 1 e 2 é proposta a avaliação da influência do tipo de superfície para a detecção das falhas. Para este caso de estudo são comparados dois protótipos revestidos compostos por cerâmicas de superfície lisa e porosa. Uma vez

que para o protótipo 2 foi simulado somente as profundidades de 4 e 8cm, as avaliações aqui realizadas contemplam somente os resultados referente a estas mesmas profundidades para o protótipo 1.

Na Tabela 17 são apresentados os resultados qualitativos sobre a possibilidade de detecção classificação dos defeitos detectados para as superfícies com placas de cor clara, de superfície lisa, diferentes dimensões, distâncias de análise, profundidade e câmeras, obtidos através do protótipo 1, extraídos apenas os resultados relacionados as profundidades de 4 e 8 cm da Tabela 12. Os resultados relacionados aos protótipos de superfície rugosa são compilados e apresentados na Tabela 14.

Tabela 17 – Tabela comparativa de avaliação qualitativa sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações para superfície de cor clara e superfícies lisas e rugosas com a CT320 e CT160

CT320 (FLIR T-420)										CT160 (FLIR One)									
ANÁLISE QUALITATIVA										ANÁLISE QUALITATIVA									
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Branca Lisa - Protótipo 1										MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Branca Lisa - Protótipo 1									
Profundidade (cm)										Profundidade (cm)									
Intervalo de temperatura superficial	Distância (m)	4			8					Intervalo de temperatura superficial	Distância (m)	4			8				
		30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm					30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm		
20°C/25°C	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não			20°C/25°C	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não		
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não				5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não		
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não				7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não		
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não				10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não		
25°C/30°C	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não			25°C/30°C	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não		
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não				5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não		
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não				7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não		
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não				10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não		
30°C/35°C	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não			30°C/35°C	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não		
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não				5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não		
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não				7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não		
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não				10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não		
35°C/40°C	3 metros	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não			35°C/40°C	3 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não		
	5 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não				5 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não		
	7 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não				7 metros	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não		
	10 metros	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não				10 metros	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não		
40°C/45°C	3 metros	Sim	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Levemente			40°C/45°C	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Levemente	Levemente		
	5 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Levemente	Levemente				5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Levemente		
	7 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Levemente	Levemente				7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não		
	10 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Levemente	Levemente				10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não		
45°C/50°C	3 metros	Sim	Sim	Não	Não	Levemente	Levemente			45°C/50°C	3 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Levemente	Levemente		
	5 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Levemente	Levemente				5 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Levemente	Levemente		
	7 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Levemente	Levemente				7 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Levemente	Levemente		
	10 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Levemente	Levemente				10 metros	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não		
50°C/55°C	3 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Sim	Levemente			50°C/55°C	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Levemente	Levemente		
	5 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Sim	Levemente				5 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Levemente	Levemente		
	7 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Sim	Levemente				7 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não		
	10 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Sim	Levemente				10 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não		

Na Tabela 18 é apresentado um quadro resumo dos resultados. Os resultados obtidos demonstram uma maior quantidade de falhas detectadas para a superfície de cor rugosa quando comparada a superfície de cor lisa, para ambas as câmeras utilizadas. Assim como visto anteriormente, nota-se maior possibilidade de detecção de falhas classificadas em “levemente” com a CT320 quando comparada com a CT160.

As demais falhas induzidas com posterior detecção e classificação de “levemente” apresentaram pequena variação sobre a possibilidade de detecção quando comparadas as superfícies lisas e rugosas, não demonstrando grande influência.

Tabela 18 – Avaliação e classificação qualitativa de falhas detectadas através das câmeras CT320 e CT160 para os protótipos 1 e 2

Superfície lisa ou rugosa	Câmera	Número de combinações	Classificação das falhas	Quantidades detectadas	Porcentagem detectada
Lisa (protótipo 1)	CT320	168	Sim	33	19,6%
			Levemente	37	22,0%
			Não	98	58,3%
Lisa (protótipo 1)	CT160	168	Sim	35	20,8%
			Levemente	23	13,7%
			Não	110	65,5 %
Rugosa (protótipo 2)	CT320	168	Sim	60	35,7%
			Levemente	25	14,9%
			Não	83	49,4%
Rugosa (protótipo 2)	CT160	168	Sim	59	35,1%
			Levemente	18	10,7%
			Não	91	54,2 %

O Gráfico 10 apresenta a quantidade de falhas detectadas e classificadas em função do intervalo de temperatura superficial e tipo de cor da superfície cerâmica. A segmentação dos resultados permite um maior aprofundamento na sua avaliação e extração de informações.

Gráfico 11 – Quantidade de falhas detectadas e classificadas em “sim”, “levemente” e o total detectado com a somatória de ambos em função do intervalo de temperatura superficial. Ao lado esquerdo para o protótipo 1 em superfície lisa. Ao lado direito para o protótipo 2 com superfície rugosa (fosca), ambos avaliados com a CT320 e CT160

Por fim, os resultados para esta comparação demonstram maior possibilidade de detecção em placas de superfície escura não apenas para câmera com maior resolução térmica quanto para a câmera de menor resolução térmica. Ainda, a superfície fosca apresentou a possibilidade de detecção de falhas em intervalos de temperatura superficial menores que a superfície lisa estudada.

5.1.2 Resultados quantitativos

5.1.2.1 Avaliação do protótipo 1 em revestimento de cor branca e superfície lisa com utilização das câmeras CT320 e CT160

É na abordagem quantitativa que as duas câmeras começam a apresentar diferenças mais representativas. Na Tabela 19 e Tabela 20 são apresentados os resultados das combinações de falhas simuladas detectadas por termografia e as medições de suas respectivas áreas e erros relativos.

Tabela 19 – Tabela comparativa de avaliação quantitativa com apresentação das áreas detectadas por termografia e medidas para as duas câmeras com diferentes IFOV's, CT320 e CT160 e seus respectivos erros relativos

CT320 (FLIR T-420)												
ANÁLISE QUANTITATIVA												
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Branca Lisa - Protótipo 1												
Profundidade (cm)												
Intervalo de temperatura superficial	Distância (m)	1			4			6			8	
		30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm
Intervalo de temperatura superficial	20°C/25°C	3 metros	741,9	263,7	0	0	0	0	0	0	0	0
		5 metros	553,1	149,5	0	0	0	0	0	0	0	0
		7 metros	484,1	150,3	0	0	0	0	0	0	0	0
		10 metros	496,8	137,4	0	0	0	0	0	0	0	0
	25°C/30°C	3 metros	863,9	387,1	116,6	0	0	0	0	0	0	0
		5 metros	855,7	394	109,4	0	0	0	0	0	0	0
		7 metros	950,7	440,4	133,9	0	0	0	0	0	0	0
		10 metros	781,1	376,3	119,9	0	0	0	0	0	0	0
	30°C/35°C	3 metros	707,6	290,5	79,4	0	0	0	0	0	0	0
		5 metros	924	420,4	92,1	0	0	0	0	0	0	0
		7 metros	813,3	384,2	114,6	0	0	0	0	0	0	0
		10 metros	872,7	458,6	132,1	0	0	0	0	0	0	0
	35°C/40°C	3 metros	771,8	317,8	98	628,8	253	75,4	0	0	0	0
		5 metros	909	446	106,9	765,5	324,9	98,1	0	0	0	0
		7 metros	908,4	426,6	116,6	779,8	340,5	182,2	0	0	0	0
		10 metros	794,8	348,6	97,6	619,1	209,1	0	0	0	0	0
	40°C/45°C	3 metros	724,1	310,8	88,7	650,1	258,9	52,7	523,8	154,8	0	576,1
		5 metros	826,7	413,6	82	821,8	424,2	89,6	678,1	289,3	0	325,4
		7 metros	685,8	331	86,6	609,8	269,7	118,3	580,4	187,6	0	495,7
		10 metros	795,5	374,9	99,8	668,6	256,6	127,7	432,8	216,5	0	457,1
	45°C/50°C	3 metros	649,5	304,7	78,1	708,3	275,5	0	426,3	0	0	483,3
		5 metros	788,9	347,8	122,4	692,9	325,6	164,5	649,9	224,5	0	555,3
		7 metros	667,3	332	101,1	563	296,2	201,5	508	250	0	331,5
		10 metros	702,4	284,6	66	615,7	266,5	244,5	614,4	122,9	0	243,2
	50°C/55°C	3 metros	753,8	347,4	95	893,6	363,8	249,9	532,9	260,7	0	580,6
		5 metros	802,5	423,1	119,4	776,3	334,4	230,6	694,6	343,2	0	425,8
		7 metros	637,1	349,3	76,9	616,3	249,7	196,7	516,1	230,1	0	395,7
		10 metros	712,8	333,6	77,5	668,5	384,8	182,7	559,2	299	0	418

CT160 (FLIR One)												
ANÁLISE QUANTITATIVA												
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Branca Lisa - Protótipo 1												
Profundidade (cm)												
Intervalo de temperatura superficial	Distância (m)	1			4			6			8	
		30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm
Intervalo de temperatura superficial	20°C/25°C	3 metros	795,6	432	0	0	0	0	0	0	0	0
		5 metros	829,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		7 metros	868,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		10 metros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25°C/30°C	3 metros	951,3	479,5	202	0	0	0	0	0	0	0
		5 metros	1123,4	613	271	0	0	0	0	0	0	0
		7 metros	1178,1	590	256,8	0	0	0	0	0	0	0
		10 metros	1275,3	713,8	228,6	0	0	0	0	0	0	0
	30°C/35°C	3 metros	1100,3	544,1	222,7	0	0	0	0	0	0	0
		5 metros	1075,2	495,1	226,2	0	0	0	0	0	0	0
		7 metros	972,8	483,5	160,1	0	0	0	0	0	0	0
		10 metros	855,1	422,1	155,1	0	0	0	0	0	0	0
	35°C/40°C	3 metros	1003,1	508,6	135,6	1199,4	474,1	219,2	0	0	0	0
		5 metros	1170,2	516,9	132,4	1033,2	438,5	297,9	0	0	0	0
		7 metros	873,2	358,9	101,7	654,1	376,5	0	0	0	0	0
		10 metros	839,7	371,5	158,2	645,5	254,8	0	0	0	0	0
	40°C/45°C	3 metros	1033,1	538,6	165,6	1229,4	511,9	249,2	1024,5	586,5	0	658,5
		5 metros	1200,5	536,8	162,4	1063,2	468,5	327,9	1200,8	516,5	0	351,8
		7 metros	923,5	425,6	131,7	684,1	406,5	201,8	1058,4	0	0	0
		10 metros	869,2	436,5	188,2	675,5	284,8	185,4	1035,7	0	0	0
	45°C/50°C	3 metros	784,3	406,2	128,6	1110,7	462,4	384,2	842,6	348,7	0	618,4
		5 metros	960	395,6	189,8	822	480,4	291,3	800,7	288,5	0	432,6
		7 metros	925,1	403,4	155,2	689,1	287,5	291,1	731,1	0	0	712,7
		10 metros	896,3	380,4	168,7	863,4	421,1	0	643,9	0	0	0
	50°C/55°C	3 metros	843,6	421,2	112,7	1146,8	559,7	328	617,6	444,8	0	595,1
		5 metros	924,9	348,3	191,7	848	414	246,3	620,1	351,1	0	456,2
		7 metros	861,1	388,9	201,4	949,8	398	182,9	927,2	666,9	0	0
		10 metros	801	377,8	231,4	690,1	311,9	192,3	750,1	0	0	0

Tabela 20 – Tabela comparativa de avaliação quantitativa com apresentação dos erros relativos entre a área detectada e medida por termografia e a área real do inserte para as duas câmeras com diferentes IFOV's, CT320 e CT160 e seus respectivos erros relativos

CT320 (FLIR T-420)														
ANÁLISE QUANTITATIVA														
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Branca Lisa - Protótipo 1														
Profundidade (cm)														
		Distância (m)	1			4			6			8		
			30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
Intervalo de temperatura superficial	20°C/25°C	3 metros	17,6%	34,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	38,5%	62,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	46,2%	62,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	44,8%	65,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	25°C/30°C	3 metros	4,0%	3,2%	16,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	4,9%	1,5%	9,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	5,6%	10,1%	33,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	13,2%	5,9%	19,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	30°C/35°C	3 metros	21,4%	27,4%	20,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	2,7%	5,1%	7,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	9,6%	4,0%	14,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	3,0%	14,7%	32,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	35°C/40°C	3 metros	14,2%	20,6%	2,0%	30,1%	36,8%	24,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	1,0%	11,5%	6,9%	14,9%	18,8%	1,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	0,9%	6,7%	16,6%	13,4%	14,9%	82,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	11,7%	12,9%	2,4%	31,2%	47,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	40°C/45°C	3 metros	19,5%	22,3%	11,3%	27,8%	35,3%	47,3%	41,8%	61,3%	100,0%	100,0%	44,0%	181,9%
		5 metros	8,1%	3,4%	18,0%	8,7%	6,1%	10,4%	24,7%	27,7%	100,0%	100,0%	18,7%	297,4%
		7 metros	23,8%	17,3%	13,4%	32,2%	32,6%	18,3%	35,5%	53,1%	100,0%	100,0%	23,9%	221,0%
		10 metros	11,6%	6,3%	0,2%	25,7%	35,9%	27,7%	51,9%	45,9%	100,0%	100,0%	14,3%	312,8%
	45°C/50°C	3 metros	27,8%	23,8%	21,9%	21,3%	31,1%	100,0%	52,6%	100,0%	100,0%	100,0%	20,8%	188,3%
		5 metros	12,3%	13,1%	22,4%	23,0%	18,6%	64,5%	27,8%	43,9%	100,0%	100,0%	38,8%	174,4%
		7 metros	25,9%	17,0%	1,1%	37,4%	26,0%	101,5%	43,6%	37,5%	100,0%	100,0%	17,1%	155,9%
		10 metros	22,0%	28,9%	34,0%	31,6%	33,4%	144,5%	31,7%	69,3%	100,0%	100,0%	39,2%	81,1%
	50°C/55°C	3 metros	16,2%	13,2%	5,0%	0,7%	9,1%	149,9%	40,8%	34,8%	100,0%	100,0%	45,2%	348,7%
		5 metros	10,8%	5,8%	19,4%	13,7%	16,4%	130,6%	22,8%	14,2%	100,0%	100,0%	6,5%	287,3%
		7 metros	29,2%	12,7%	23,1%	31,5%	37,6%	96,7%	42,7%	42,5%	100,0%	100,0%	1,1%	174,8%
		10 metros	20,8%	16,6%	22,5%	25,7%	3,8%	82,7%	37,9%	25,3%	100,0%	100,0%	4,5%	212,8%

CT160 (FLIR One)														
ANÁLISE QUANTITATIVA														
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Branca Lisa - Protótipo 1														
Profundidade (cm)														
		Distância (m)	1			4			6			8		
			30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
Intervalo de temperatura superficial	20°C/25°C	3 metros	11,6%	8,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	7,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	3,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	25°C/30°C	3 metros	5,7%	19,9%	102,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	24,8%	53,3%	171,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	30,9%	47,5%	156,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	41,7%	78,5%	128,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	30°C/35°C	3 metros	22,3%	36,0%	122,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	19,5%	23,8%	126,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	8,1%	20,9%	60,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	5,0%	5,5%	55,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	35°C/40°C	3 metros	11,5%	27,2%	35,6%	33,3%	18,5%	119,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	30,0%	29,2%	32,4%	14,8%	9,6%	197,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	3,0%	10,3%	1,7%	27,3%	5,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	6,7%	7,1%	58,2%	28,3%	36,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	40°C/45°C	3 metros	14,8%	34,7%	65,6%	36,6%	28,0%	149,2%	13,8%	46,6%	100,0%	100,0%	64,6%	576,1%
		5 metros	33,4%	34,2%	62,4%	18,1%	17,1%	227,9%	33,4%	29,1%	100,0%	100,0%	100,0%	251,8%
		7 metros	2,6%	6,4%	31,7%	24,0%	1,6%	101,8%	17,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	3,4%	9,1%	88,2%	24,9%	28,8%	85,4%	15,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	45°C/50°C	3 metros	12,9%	1,6%	28,6%	23,4%	15,6%	284,2%	6,4%	12,8%	100,0%	100,0%	54,6%	232,7%
		5 metros	6,7%	1,1%	89,8%	8,7%	20,1%	191,3%	11,0%	27,9%	100,0%	100,0%	8,2%	252,9%
		7 metros	2,8%	0,8%	55,2%	23,4%	28,1%	191,1%	18,8%	100,0%	100,0%	100,0%	78,2%	260,0%
		10 metros	0,4%	4,9%	68,7%	4,1%	5,3%	100,0%	28,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	50°C/55°C	3 metros	6,3%	5,3%	12,7%	27,4%	39,9%	228,0%	31,4%	11,2%	100,0%	100,0%	48,8%	435,7%
		5 metros	2,8%	12,9%	91,7%	5,8%	3,5%	146,3%	31,1%	12,2%	100,0%	100,0%	14,1%	392,2%
		7 metros	4,3%	2,8%	101,4%	5,5%	0,5%	82,9%	3,0%	66,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	11,0%	5,6%	131,4%	23,3%	22,0%	92,3%	16,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Para as análises de estatística exploratória dos dados é realizado um filtro dos resultados de modo a evitar interpretação equivocada dos comportamentos encontrados. As falhas detectadas e classificadas como “levemente” não têm seus contornos bem delineados e muitas vezes torna difícil contornar a área detectada de modo a obter uma área representativa sobre a falha detectada. Deste modo, a abordagem quantitativa aqui apresentada utilizará apenas os resultados referente a avaliação qualitativa classificada em “sim” e, portanto, 109 combinações detectadas e

classificadas em “sim” (em verde) para a câmera CT320 e 110 combinações classificadas em “sim” para a câmera CT160.

A análise dos resultados através do Gráfico 12 demonstra que a câmera com maior resolução térmica apresenta uma distribuição dos erros relativos e uma média bastante diferente da câmera de menor resolução. Os erros relativos para as 109 combinações detectadas pela CT320 apresentaram uma média de 17,0% e um desvio padrão de 11,1%. A CT160 apresentou uma média de 37,0% com desvio padrão de 14,9%. Ainda assim 80% dos valores medidos pela CT160 se encontram no intervalo de até 40% de erro relativo.

Gráfico 12 – Histograma de frequência dos erros relativos e média dos erros para todas as medições classificadas qualitativamente em “sim” do protótipo 1 em placas cerâmicas brancas e lisas e avaliadas com a câmera térmica CT320 e CT160

Os resultados quantitativos demonstram pequenos erros relativos das medições com a CT320 com valores no intervalo aproximado de 0% a 50%, enquanto a CT160 apresenta grandes erros para a medição das falhas de tamanho de 10x10 cm, no intervalo aproximado de 0% até 230%.

Os desvios padrão dos resultados para as falhas de 10x10cm, 20x20cm e 30x30cm através da CT360 são 10,0%; 11,2% 11,6% respectivamente, enquanto para a CT160 57,3%; 14,1% e; 11,5%. Estes resultados demonstram a dificuldade da câmera com baixo IFOV para a detecção de pequenas falhas além de pequenas variações térmicas como antes exposto. Portanto, a CT160 apresentou maior incerteza na quantificação de pequenas áreas (10x10 cm) se comparada com a CT320, ainda que seja possível a detecção qualitativa das combinações de falhas avaliadas. Enquanto isto, a avaliação com a CT320 não se mostrou influenciada pelos

tamanhos de falhas analisados, no qual apresentou intervalos de erros relativos e desvios padrão muito próximo para ambos os tamanhos.

Gráfico 13 – Desenho esquemático da frequência dos erros relativos avaliadas com a câmera térmica CT320 e CT160 em função do tamanho de falha analisada

Uma vez excluindo os erros relativos do tamanho de falha 10x10cm nos resultados da CT160, é encontrado novo erro relativo médio de 16,6% e, consequentemente, 20,4% abaixo do valor de erro médio antes encontrado sob influência dos grandes erros gerados pela medição das falhas detectadas em 10x10cm. Novo histograma é apresentado após excluída a influência do tamanho de falha de 10x10cm para a câmera CT160, de modo a ilustrar a influência apresentada (Gráfico 14).

Gráfico 14 – Ao lado esquerdo histograma de frequência dos erros relativos e média dos erros anterior avaliadas com a câmera térmica CT160 e ao lado direito histograma de erros relativos após retirada dos valores de falhas no tamanho de 10x10cm

A influência do tamanho da falha induzida é apresentada no Gráfico 15. Os resultados demonstram pequeno aumento de erro à medida que se aumenta a profundidade da falha detectada para a câmera CT320. Na busca por investigar os motivos do aumento destes erros, os resultados apresentados no Gráfico 16 demonstram ainda que estes erros aumentam devido a medição de áreas cada vez menores das falhas detectadas devido a dissipação térmica com relação a troca de calor entre a superfície do protótipo e as falhas mais profundas. Portanto, além da dificuldade relacionada a detecção de falhas profundas, àquelas medidas se apresentaram com uma tendência de se mostrarem menores que realmente são.

Gráfico 15 – *Boxplot* de erros relativos mensurados com a CT320 relacionados as profundidades simuladas e detectadas

Gráfico 16 – Áreas medidas com a CT320 relacionados as profundidades de falhas simuladas e detectadas. Os resultados demonstram a medição de áreas cada vez menores com o aumento da profundidade, se comparadas com as áreas reais simuladas, ilustradas no gráfico através de linha vermelha nas áreas de 900, 400 e 100 cm²

Já com relação a câmera CT160, apenas 3 combinações foram detectadas e classificadas em “sim” para a profundidade de 6 centímetros e nenhuma falha detectada e classificada em “sim” para a profundidade de 8 cm. Sendo estas 3 combinações detectadas, todas no tamanho de 30x30cm, nas distâncias de análise de 3 e 5 metros para os autos intervalos de temperatura superficial, 45/50°C e 50/55°C respectivamente, conforme antes apresentadas na Tabela 20. Diversos outliers são encontrados com o aumento da profundidade da falha induzida e assim como antes vistos, estes estão relacionados aos grandes erros encontrados com a medição das falhas de tamanho 10x10cm (Gráfico 17a). Após a retirada da variável 10x10cm os resultados do erro relativo em função da profundidade se mostram mais estáveis (Gráfico 17b).

Gráfico 17 – Ao lado esquerdo *boxplot* de erros relativos mensurados com a CT160 relacionados as profundidades simuladas e detectadas, além de grande quantidade de outliers relacionados aos erros relativos das falhas de 10x10 cm simuladas. Ao lado direito *boxplot* do erro relativo sem a influência do tamanho de falha 10x10cm medida

Os resultados relacionados a influência da distância de medição das falhas detectadas demonstram que a câmera CT320 apresentou menor intervalo de erro relativo para a distância de medição de 5 metros. Esta distância de medições apresentou erros relativos entre 0,7% e 23,5% e um desvio padrão entre os valores medidos de 6,5%, apontando ser a melhor distância para análise na metodologia proposta.

A distância de medição não mostrou grandes interferências no que se refere a quantidade de falhas detectadas em função da distância e, portanto, 25, 26, 26, e 24 combinações detectadas para 3, 5, 7 e 10 metros respectivamente.

A CT160 demonstrou erros menores para a distância de medição de 3 metros, com intervalo de erro relativo entre 1,6% e 39,9% com desvio padrão de 11,8%. Se comparado com a CT320, na medida que é aumentada a distância de análise com a CT160, foi detectada uma quantidade cada vez menor de combinações de falhas detectadas e quantificadas em 22, 21, 19 e 18 para as distâncias de 3, 5, 7 e 10 metros respectivamente (Gráfico 18).

Gráfico 18 – *Boxplot* da frequência de erros relativos mensurados com a CT320 e CT160 (sem tamanho de 10x10cm) e relacionados as distâncias de análise

5.1.2.2 Avaliação dos protótipos 2 e 3 em revestimento de cor clara, escura e superfície porosa com utilização das câmeras CT320 e CT160

A Tabela 21 e Tabela 22 apresentam os resultados das áreas medidas e dos erros relativos em função do tipo de placa cerâmica, da câmera utilizada, do tamanho da falha induzida e sua profundidade, da distância de análise e do intervalo de temperatura superficial.

Tabela 21 – Tabela comparativa de avaliação quantitativa sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas variações para superfície de cor clara avaliadas com a CT320 e CT160. Acima são as áreas detectadas e medidas (cm²) e abaixo seus respectivos erros relativos (%)

CT320 (FLIR T-420)								
ANÁLISE QUANTITATIVA								
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Clara Fosca - Protótipo 2								
Área medida (cm²)								
Ditância (m)	4			8				
	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm		
Intervalo de temperatura superficial	20°C/25°C	3 metros	0	0	0	0	0	0
		5 metros	0	0	0	0	0	0
		7 metros	0	0	0	0	0	0
		10 metros	0	0	0	0	0	0
	25°C/30°C	3 metros	675	313,7	0	0	0	0
		5 metros	821,1	295,6	201,2	0	0	0
		7 metros	935,5	532,9	161,2	0	0	0
		10 metros	795,3	380,7	166,8	0	0	0
	30°C/35°C	3 metros	745,3	324,4	221,5	0	0	0
		5 metros	886,6	417,4	227,2	0	0	0
		7 metros	914,2	482,2	261,6	0	0	0
		10 metros	794	323,3	120,3	0	0	0
	35°C/40°C	3 metros	805,3	361,8	134,7	0	0	0
		5 metros	936	435,6	177	0	0	0
		7 metros	893,2	441,3	128,9	0	0	0
		10 metros	709,9	391,7	144	0	0	0
	40°C/45°C	3 metros	843,5	405,7	139,5	0	0	0
		5 metros	902,9	459,8	151,7	0	0	0
		7 metros	836,1	439,9	133,2	0	0	0
		10 metros	847,2	471,5	158,7	0	0	0
	45°C/50°C	3 metros	895,9	530,3	131,5	395,3	0	0
		5 metros	888,4	428,1	159,3	680,2	0	0
		7 metros	874	461,2	127,4	759,9	229,8	0
		10 metros	741,4	404,6	115,2	554,3	204,4	0
	50°C/55°C	3 metros	911,8	513	155,6	670,7	156,6	0
		5 metros	963,6	492,7	182,9	719,2	294,7	0
		7 metros	734,5	416,4	174,5	786,1	244,6	0
		10 metros	653,6	391,9	116,2	474,5	162,4	0

CT160 (FLIR One)								
ANÁLISE QUANTITATIVA								
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Clara Fosca - Protótipo 2								
Área medida (cm²)								
Ditância (m)	4			8				
	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm		
Intervalo de temperatura superficial	20°C/25°C	3 metros	0	0	0	0	0	0
		5 metros	0	0	0	0	0	0
		7 metros	0	0	0	0	0	0
		10 metros	0	0	0	0	0	0
	25°C/30°C	3 metros	1056,5	516,8	287,2	0	0	0
		5 metros	931,2	490,7	146,7	0	0	0
		7 metros	863,8	456,9	191,1	0	0	0
		10 metros	0	0	0	0	0	0
	30°C/35°C	3 metros	950,9	554,6	218	0	0	0
		5 metros	1165	575,1	186,1	0	0	0
		7 metros	929	517,4	220,9	0	0	0
		10 metros	1031,7	601,1	318,5	0	0	0
	35°C/40°C	3 metros	984,5	550,7	225,6	0	0	0
		5 metros	1008,4	550	194,4	0	0	0
		7 metros	913,8	501,9	153,5	0	0	0
		10 metros	763,8	396,7	141,6	0	0	0
	40°C/45°C	3 metros	989,6	552,05	199,3	0	0	0
		5 metros	989,9	498,6	206,35	0	0	0
		7 metros	869	432,8	173,15	0	0	0
		10 metros	744,15	414,55	164,85	0	0	0
	45°C/50°C	3 metros	994,7	553,4	173	793,4	275,9	0
		5 metros	971,4	447,2	218,3	874,6	321,6	0
		7 metros	824,2	363,7	192,8	0	0	0
		10 metros	724,5	432,4	188,1	0	0	0
	50°C/55°C	3 metros	992,8	478,2	193,8	747,3	337,4	0
		5 metros	1010,4	481,3	226,1	695,1	329	0
		7 metros	744,3	352,5	169,2	0	0	0
		10 metros	554,8	329,5	114,7	0	0	0

CT320 (FLIR T-420)								
ANÁLISE QUANTITATIVA								
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Clara Fosca - Protótipo 2								
Erro relativo (%)								
Ditância (m)	4			8				
	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm		
Intervalo de temperatura superficial	20°C/25°C	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	25°C/30°C	3 metros	25,0%	21,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	8,8%	26,1%	101,2%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	3,9%	33,2%	61,2%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	11,6%	4,8%	66,8%	100,0%	100,0%	100,0%
	30°C/35°C	3 metros	17,2%	18,9%	121,5%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	1,5%	4,3%	127,2%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	1,6%	20,6%	161,6%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	11,8%	19,2%	20,3%	100,0%	100,0%	100,0%
	35°C/40°C	3 metros	10,5%	9,6%	34,7%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	4,0%	8,9%	77,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	0,8%	10,3%	28,9%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	21,1%	2,1%	44,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	40°C/45°C	3 metros	6,3%	1,4%	39,5%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	0,3%	15,0%	51,7%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	7,1%	10,0%	33,2%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	5,9%	17,9%	58,7%	100,0%	100,0%	100,0%
	45°C/50°C	3 metros	0,5%	32,6%	31,5%	56,1%	100,0%	100,0%
		5 metros	1,3%	7,0%	59,3%	24,4%	100,0%	100,0%
		7 metros	2,9%	15,3%	27,4%	15,6%	42,6%	100,0%
		10 metros	17,6%	1,2%	15,2%	38,4%	48,9%	100,0%
	50°C/55°C	3 metros	1,3%	28,3%	55,6%	25,5%	60,9%	100,0%
		5 metros	7,1%	23,2%	82,9%	20,1%	26,3%	100,0%
		7 metros	18,4%	4,1%	74,5%	12,7%	38,9%	100,0%
		10 metros	27,4%	2,0%	16,2%	47,3%	59,4%	100,0%

CT160 (FLIR One)								
ANÁLISE QUANTITATIVA								
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Clara Fosca - Protótipo 2								
Erro relativo (%)								
Ditância (m)	4			8				
	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm		
Intervalo de temperatura superficial	20°C/25°C	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	25°C/30°C	3 metros	17,4%	29,2%	187,2%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	3,5%	22,7%	46,7%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	4,0%	14,2%	91,1%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	30°C/35°C	3 metros	5,7%	38,7%	118,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	29,4%	43,8%	86,1%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	3,2%	29,4%	120,9%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	14,6%	50,3%	218,5%	100,0%	100,0%	100,0%
	35°C/40°C	3 metros	9,4%	37,7%	125,6%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	12,0%	37,5%	94,4%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	1,5%	25,5%	53,5%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	15,1%	0,8%	41,6%	100,0%	100,0%	100,0%
	40°C/45°C	3 metros	10,0%	38,0%	99,3%	100,0%	100,0%	100,0%
		5 metros	10,0%	24,7%	106,4%	100,0%	100,0%	100,0%
		7 metros	3,4%	8,2%	73,2%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	17,3%	3,6%	64,9%	100,0%	100,0%	100,0%
	45°C/50°C	3 metros	10,5%	38,4%	73,0%	11,8%	31,0%	100,0%
		5 metros	7,9%	11,8%	118,3%	2,8%	19,6%	100,0%
		7 metros	8,4%	9,1%	92,8%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	19,5%	8,1%	88,1%	100,0%	100,0%	100,0%
	50°C/55°C	3 metros	10,3%	19,6%	93,8%	17,0%	15,7%	100,0%
		5 metros	12,3%	20,3%	126,1%	22,8%	17,8%	100,0%
		7 metros	17,3%	11,9%	69,2%	100,0%	100,0%	100,0%
		10 metros	38,4%	17,6%	14,7%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabela 22 – Tabela comparativa de avaliação quantitativa sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas variações para superfície de cor escura avaliadas com a CT320 e CT160. Acima são as áreas detectadas e medidas (cm²) e abaixo seus respectivos erros relativos (%)

CT320 (FLIR T-420)									
ANÁLISE QUANTITATIVA									
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Escura Fosca - Protótipo 3									
		Área medida (cm²)							
		Profundidade							
		4		8					
Distância (m)		30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm		
Intervalo de temperatura superficial	20°C/25°C	3 metros	0	0	0	0	0	0	
		5 metros	0	0	0	0	0	0	
		7 metros	0	0	0	0	0	0	
		10 metros	0	0	0	0	0	0	
	25°C/30°C	3 metros	831,6	380	103,1	0	0	0	
		5 metros	819,7	409,1	127,9	0	0	0	
		7 metros	695,3	410,2	126,7	0	0	0	
		10 metros	728,2	415,6	182,5	0	0	0	
	30°C/35°C	3 metros	924,7	362,3	128,2	0	0	0	
		5 metros	817,8	333,5	172,4	0	0	0	
		7 metros	857,6	309	132,4	0	0	0	
		10 metros	1011	380,2	160,3	0	0	0	
	35°C/40°C	3 metros	1000,8	385,7	150,1	0	0	0	
		5 metros	945	335,1	134,5	0	0	0	
		7 metros	880,7	280,4	123,7	0	0	0	
		10 metros	980,1	386,2	162,8	0	0	0	
	40°C/45°C	3 metros	972,8	433,3	122,8	0	0	0	
		5 metros	976,7	490,5	109,9	0	0	0	
		7 metros	973,3	494,1	128,7	0	0	0	
		10 metros	936,9	454,7	137,3	0	0	0	
	45°C/50°C	3 metros	1030,6	402,3	130,9	0	0	0	
		5 metros	920,8	297,5	91,6	0	0	0	
		7 metros	771,5	285,5	101	0	0	0	
		10 metros	875,2	344,5	123,3	0	0	0	
	50°C/55°C	3 metros	916,2	347,5	130,9	0	0	0	
		5 metros	1009,4	307,9	58,5	0	0	0	
		7 metros	1157,7	519,4	108	0	0	0	
		10 metros	727,3	233,3	89,1	0	0	0	

CT320 (FLIR T-420)									
ANÁLISE QUANTITATIVA									
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Escura Fosca - Protótipo 3									
		Erro relativo (%)							
		Profundidade							
		4		8					
Distância (m)		30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm		
Intervalo de temperatura superficial	20°C/25°C	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
		5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
		7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
		10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
	25°C/30°C	3 metros	7,6%	5,0%	3,1%	100,0%	100,0%	100,0%	
		5 metros	8,9%	2,3%	27,9%	100,0%	100,0%	100,0%	
		7 metros	22,7%	2,6%	26,7%	100,0%	100,0%	100,0%	
		10 metros	19,1%	3,9%	82,5%	100,0%	100,0%	100,0%	
	30°C/35°C	3 metros	2,7%	9,4%	28,2%	100,0%	100,0%	100,0%	
		5 metros	9,1%	16,6%	72,4%	100,0%	100,0%	100,0%	
		7 metros	4,7%	22,8%	32,4%	100,0%	100,0%	100,0%	
		10 metros	12,3%	5,0%	60,3%	100,0%	100,0%	100,0%	
	35°C/40°C	3 metros	11,2%	3,6%	50,1%	100,0%	100,0%	100,0%	
		5 metros	5,0%	16,2%	34,5%	100,0%	100,0%	100,0%	
		7 metros	2,1%	29,9%	23,7%	100,0%	100,0%	100,0%	
		10 metros	8,9%	3,5%	62,8%	100,0%	100,0%	100,0%	
	40°C/45°C	3 metros	8,1%	8,3%	22,8%	100,0%	100,0%	100,0%	
		5 metros	8,5%	22,6%	9,9%	100,0%	100,0%	100,0%	
		7 metros	8,1%	23,5%	28,7%	100,0%	100,0%	100,0%	
		10 metros	4,1%	13,7%	37,3%	100,0%	100,0%	100,0%	
	45°C/50°C	3 metros	14,5%	0,6%	30,9%	100,0%	100,0%	100,0%	
		5 metros	2,3%	25,6%	8,4%	100,0%	100,0%	100,0%	
		7 metros	14,3%	28,6%	1,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
		10 metros	2,8%	13,9%	23,3%	100,0%	100,0%	100,0%	
	50°C/55°C	3 metros	1,8%	13,1%	30,9%	100,0%	100,0%	100,0%	
		5 metros	12,2%	23,0%	41,5%	100,0%	100,0%	100,0%	
		7 metros	28,6%	29,9%	8,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
		10 metros	19,2%	41,7%	10,9%	100,0%	100,0%	100,0%	

CT160 (FLIR One)									
ANÁLISE QUANTITATIVA									
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Escura Fosca - Protótipo 3									
		Área medida (cm²)							
		Profundidade							
		4		8					
Distância (m)		30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm		
Intervalo de temperatura superficial	20°C/25°C	3 metros	0	0	0	0	0	0	
		5 metros	0	0	0	0	0	0	
		7 metros	0	0	0	0	0	0	
		10 metros	0	0	0	0	0	0	
	25°C/30°C	3 metros	749,3	432,7	138,5	0	0	0	
		5 metros	805,4	454,8	169,6	0	0	0	
		7 metros	863,9	568	0	0	0	0	
		10 metros	0	0	0	0	0	0	
	30°C/35°C	3 metros	811	360,8	188,7	0	0	0	
		5 metros	1002,9	379,1	169,5	0	0	0	
		7 metros	957,7	377	74,7	0	0	0	
		10 metros	669,6	300,4	137,6	0	0	0	
	35°C/40°C	3 metros	895	285,4	128,3	0	0	0	
		5 metros	1054,2	378,6	157,3	0	0	0	
		7 metros	1127,9	558,5	118	0	0	0	
		10 metros	1140	517,9	158,6	0	0	0	
	40°C/45°C	3 metros	958,6	325,7	136,5	0	0	0	
		5 metros	923,7	412,7	92,4	0	0	0	
		7 metros	991,8	532,4	141	0	0	0	
		10 metros	1015,3	551,8	163,8	0	0	0	
	45°C/50°C	3 metros	1026,3	449,5	146,2	0	0	0	
		5 metros	971,4	361,1	147,6	0	0	0	
		7 metros	861,6	423,8	110,3	0	0	0	
		10 metros	1112,4	507,1	136,3	0	0	0	
	50°C/55°C	3 metros	980,1	358,9	75,7	0	0	0	
		5 metros	937,2	361,1	104,7	0	0	0	
		7 metros	1008,9	594,9	99,4	0	0	0	
		10 metros	1091,5	674,7	200,9	0	0	0	

CT160 (FLIR One)									
ANÁLISE QUANTITATIVA									
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Escura Fosca - Protótipo 3									
		Erro relativo (%)							
		Profundidade							
		4		8					
Distância (m)		30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm		
Intervalo de temperatura superficial	20°C/25°C	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
		5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
		7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
		10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
	25°C/30°C	3 metros	16,7%	8,2%	38,5%	100,0%	100,0%	100,0%	
		5 metros	10,5%	13,7%	69,6%	100,0%	100,0%	100,0%	
		7 metros	4,0%	42,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
		10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
	30°C/35°C	3 metros	9,9%	9,8%	88,7%	100,0%	100,0%	100,0%	
		5 metros	11,4%	5,2%	69,5%	100,0%	100,0%	100,0%	
		7 metros	6,4%	5,8%	25,3%	100,0%	100,0%	100,0%	
		10 metros	25,6%	24,9%	37,6%	100,0%	100,0%	100,0%	
	35°C/40°C	3 metros	0,6%	28,7%	28,3%	100,0%	100,0%	100,0%	
		5 metros	17,1%	5,3%	57,3%	100,0%	100,0%	100,0%	
		7 metros	25,3%	39,6%	18,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
		10 metros	26,7%	29,5%	58,6%	100,0%	100,0%	100,0%	
	40°C/45°C	3 metros	6,5%	18,6%	36,5%	100,0%	100,0%	100,0%	
		5 metros	2,6%	3,2%	7,6%	100,0%	100,0%	100,0%	
		7 metros	10,2%	33,1%	41,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
		10 metros	12,8%	38,0%	63,8%	100,0%	100,0%	100,0%	
	45°C/50°C	3 metros	14,0%	12,4%	46,2%	100,0%	100,0%	100,0%	
		5 metros	7,9%	9,7%	47,6%	100,0%	100,0%	100,0%	
		7 metros	4,3%	6,0%	10,3%	100,0%	100,0%	100,0%	
		10 metros	23,6%	26,8%	36,3%	100,0%	100,0%	100,0%	
	50°C/55°C	3 metros	8,9%	10,3%	24,3%	100,0%	100,0%	100,0%	
		5 metros	4,1%	9,7%	4,7%	100,0%	100,0%	100,0%	
		7 metros	12,1%	48,7%	0,6%	100,0%	100,0%	100,0%	
		10 metros	21,3%	68,7%	100,9%	100,0%	100,0%	100,0%	

Gráfico 19 – Na parte superior histograma de frequência dos erros relativos e média dos erros relativos avaliadas com a câmera térmica CT320 para os protótipos 2 e 3 com core clara e escura apenas classificadas em “sim”. Na parte inferior histograma de erros relativos avaliados com a câmera térmica CT160

Ao avaliar termogramas das cerâmicas clara e escura para o mesmo intervalo de temperatura superficial (35/40°C), na distância de 3 metros é observado que os picos de temperatura gerado pela variação térmica entre a área íntegra e com a falha (Δt) se apresentam maiores e mais bem delineados na cerâmica escura se comparadas a de superfície clara (Figura 30). A cerâmica clara apresentou variação térmica entre 3 e 4°C aproximadamente, ao passo que a cerâmica escura, picos mais uniformes em torno de 6,5°C. Estes picos mais uniformes podem ter colaborado para a melhor medição da área detectada e consequentemente menores erros relativos encontrados.

Figura 30 – Visualização dos termogramas referente ao intervalo de temperatura superficial de 35/40°C, na distância de análise de 3 metros capturados com a CT320. Acima é apresentado o termograma referente ao P2 e respectivos perfis térmicos para áreas com e sem anomalia térmica. Abaixo o respectivo local para o P3 e as diferenças de variação térmica encontrada entre eles

5.2 Etapa de campo

Analisar os resultados de medição com aplicação da técnica de termografia proposta em dias de sol e nublados fazem parte desta etapa. Este tipo de análise trará subsídio para os dias, condições climáticas e os respectivos horários ideais para serem feitas as análises em estudo de campo através de avaliação de dois extremos de condições meteorológicas possíveis.

5.2.1 Dia ensolarado

O dia escolhido para avaliação é datado em 12 de agosto de 2019 no qual contempla características de dia típico ensolarado com medições de temperatura

ambiente em mínima de 16°C, máxima de 37°C e, consequentemente, amplitude térmica de 21°C respectivamente.

Por meio da utilização de medidor de irradiância solar global e sensores de temperatura são mensurados a irradiância incidida sobre as superfícies dos protótipos 4 e 5 (P4 e P5). Sensores de temperatura medem temperatura ambiente e temperatura em um ponto nas superfícies. O Gráfico 20 apresenta estas medições em que a linha em vermelho pontilhado representa a irradiância global incidida sobre a superfície medida em W/m^2 e deste modo a radiação solar direta e indireta incidida sobre as superfícies analisadas. Na medida que é incidida a radiação sobre o protótipo e seu entorno é observado o aumento da temperatura ambiente, indicada em verde e medida por termopar presente no radiômetro, temperatura da superfície do protótipo 4 com sensor termopar posicionado em 1 ponto, em cor clara representada no gráfico em linha amarela, assim como a temperatura superficial do protótipo 5 em cor escura, representada em uma linha marrom. A irradiância média global apresentada no gráfico se apresenta a um limite de $100W/m^2$ no qual se apresenta o limite inferior de medição do equipamento. Neste intervalo a irradiância média global se apresenta entre $100W/m^2$ a $0W/m^2$.

Gráfico 20 – Medição da irradiância média global incidida sobre os protótipos 4 e 5 na etapa de campo com dia ensolarado, além de temperatura ambiente e superficiais

5.2.1.1 Resultados qualitativos

Os resultados qualitativos obtidos após avaliação dos protótipos 4 e 5 após avaliação com as câmeras CT160 e CT320 são apresentados no Apêndice B. Um resumo destes resultados é apresentado na Tabela 23.

Com a utilização da CT320 o protótipo 4 de superfície com cor clara possibilitou detectar 177 combinações classificadas em “sim” (30,7%), 82 classificadas em “levemente” (14,2%) e 317 classificadas em “não” (55,0%) do total de 576 combinações simuladas. Já a CT160, 61 classificadas em “sim” (10,6%), 69 classificadas em “levemente” (12,0%) e 446 classificadas em “não” (77,4%).

O protótipo 5 com superfície escura e avaliado com a CT320 detectou 198 combinações classificadas em “sim” (34,4%), 61 classificadas em “levemente” (10,6%) e 317 em classificadas em “não” (55,0%) do total de 576 combinações simuladas. Já a CT160, 93 classificadas em “sim” (16,1%), 82 classificadas em “levemente” (14,2%) e 401 classificadas em não (69,6%).

Em correspondência aos resultados encontrados na etapa laboratorial, a etapa de campo mostrou maior possibilidade de detecção de falhas para a CT320, além de melhor detecção de falhas para placas claras, quando comparada às escuras. A CT320 detectou o total de 259 falhas classificadas em “sim” e “levemente”, ao passo que a CT160 130 para a cor clara e para a superfície em cor escura a CT320 detectou 259 e a CT160 um total de 175 respectivamente.

Tabela 23 – Avaliação e classificação qualitativa em abordagem passiva de falhas detectadas através das câmeras CT320 e CT160 para os protótipos 4 e 5 – dia ensolarado

Superfície / Protótipo	Câmera	Número de combinações	Classificação de avaliação qualitativa	Quantidades detectadas	Porcentagem detectada
Cor clara	CT320	576		177	30,7%
			82	14,2%
			317	55,0%
Cor clara	CT160	576		61	10,6%
			69	12,0%
			446	77,4 %
Cor escura	CT320	576		198	34,4%
			61	10,6%
			317	55,0%
Cor escura	CT160	576		93	16,1%
			82	14,2%
			401	69,6%

Ao analisar os parâmetros mensurados em campo é denotado que as falhas superficiais se apresentam notáveis mediante as variações térmicas ambientais assim como após a incidência solar sobre a sua superfície. A medida em que o sol nasce e

a irradiação solar é incidida sobre o ambiente, pode ser observado o aumento da temperatura ambiente, com posterior aumento da temperatura da superfície dos protótipos. O inverso também é observado, à medida que cessa a irradiância solar, é observada a queda da temperatura ambiente assim como a queda da temperatura superficial (Gráfico 20).

No processo, é observado o aumento na capacidade de detecção de falhas com o aumento da irradiância solar e temperatura ambiente sobre os protótipos e consequentemente o aumento da possibilidade de detecção de falhas mais profundas. Neste sentido, os resultados demonstram que, de maneira geral, o melhor intervalo do dia para a detecção de falhas mais profundas se encontra entre as 9 horas da manhã até as 16h horas da tarde, período em que é possível a detecção de falhas até a profundidade de 6 centímetros aproximadamente (Gráfico 21).

Gráfico 21 – Quantidade de falhas detectadas e classificadas em “sim”, “levemente” e o total detectado em função do intervalo de temperatura superficial. Ao lado esquerdo para o protótipo 4 em superfície de cor clara. Ao lado direito para o protótipo 5 com superfície em cor escura, ambos avaliados com a CT320 e CT160 – dia ensolarado

Ao analisar os termogramas logo no início da manhã e antes do nascer do sol (ANS) é observado que as temperaturas nas áreas com falhas induzidas se apresentam mais frias quando comparadas as áreas íntegras, com temperatura mais elevada (Figura 31a). É observado a presença de falhas por termografia até a profundidade de 4 centímetros neste período do dia. Logo após a incidência solar sobre a superfície revestida (aproximadamente 6h45 da manhã) às áreas com falha

induzidas aumentando de temperatura e é observado um equilíbrio térmico em todo o sistema revestido, agora com aumento da dificuldade de detecção das falhas por termografia (Figura 31b). Próximo das 8 horas da manhã as falhas induzidas na profundidade se apresentam muito bem delineadas e é possível observar o início da aparição das falhas na profundidade de 4 centímetros para o protótipo de cor escura (Figura 31c). Após as 10 horas da manhã é possível observar as falhas simuladas nas profundidades de 4 centímetros e 6 centímetros (Figura 31d) e este comportamento perdura até próximo das 16 horas (Figura 31e/f/g). Após as 15h30 inicia a queda da temperatura ambiente e este comportamento pode ser observado no termograma da Figura 31h nas quais as áreas com presença de falha antes mais quentes se apresentam em equilíbrio térmico e é possível observar apenas as falhas induzidas na profundidade de 1cm agora com temperaturas mais frias que as áreas íntegras do sistema revestido. Estas áreas tendem a se apresentarem mais frias e mais bem delineadas no decorrer da noite com características de superfícies mais frias (Figura 31i).

Figura 31 – Visualização dos termogramas capturados com a CT320 na distância de 7 metros e seus respectivos horários do dia para condições climáticas com características de dia ensolarado com elevadas temperaturas e irradiância solar

5.2.1.2 Resultados quantitativos

No que diz respeito a uma análise quantitativa, os erros relativos médios são menores para as combinações de falhas avaliadas com a CT320 se comparada com a CT160. As falhas detectadas no protótipo com superfície escura apresentaram menor erro relativo médio quando comparado com as de cor clara. O erro relativo médio para o protótipo de cor clara é de 16,9% e 17,1% para a CT320 e CT160. Para o protótipo em superfície escura, 16,0% e 15,1% na devida ordem (Gráfico 22).

Gráfico 22 – Ao lado esquerdo histograma de frequência dos erros relativos e média dos erros do protótipo em superfície clara e avaliado com as duas câmeras. Ao lado direito histograma de erros relativos ao protótipo de cor escura avaliado com as duas câmeras

Da mesma forma que observado na abordagem ativa, as falhas simuladas em tamanho 10x10cm apresentaram maior erro relativo se comparada com as demais dimensões simuladas. As dimensões de falhas de 20x20cm e 30x30cm apresentaram média e mediana dos erros relativos muito próximos, para ambas as superfícies analisadas, assim como para ambas as câmeras utilizadas (Gráfico 23).

Os *outliers* de 46,3% e 43,5% encontrados para o tamanho de falha 20x20cm (P1 – Cor clara) representam medições realizadas na distância de 10m. Já os *outliers* de 41,1% e 42,1% expostos para as medições das falhas 30x30cm estão associados à profundidade de 6 cm, no qual está sujeita a maiores erros relativos.

O protótipo 2, em cor escura, avaliado com a CT160 também apresentaram outliers associados a profundidade de 6 cm para as falhas de 30x30cm simuladas, com erros relativos de 43,7% e 37,6%.

Gráfico 23 – *Boxplot* de erros relativos mensurados em função do tamanho de falha avaliados com as câmeras CT320 e CT160 para os protótipos com superfície clara e escura

A análise após a exclusão dos resultados das falhas induzidas na dimensão de 10x10cm mostraram importante diminuição dos erros relativos. O protótipo em superfície clara (P4) antes com erro relativo médio de 16,9% e 17,1% para a CT320 e CT160, agora apresentam erro relativo médio de 13,6% e 12,3%. O mesmo ocorre com o P5 em superfície escura, antes com erro relativo médio de 16,0% e 15,1%, agora 14,2% e 13,1% (Gráfico 24).

Por último, após isolada a influência dos erros relativos relacionados ao tamanho de falha 10x10cm é observado que o aumento da profundidade das falhas simuladas também exerceu aumento do erro relativo médio assim como suas respectivas medianas. O Gráfico 25 apresenta *boxplot* dos erros relativos para ambos os protótipos avaliados com a CT320 e CT160 em função da profundidade das falhas simuladas.

Gráfico 24 – Ao lado esquerdo histograma de frequência dos erros relativos e média dos erros do protótipo em superfície clara e avaliado com as duas câmeras. Ao lado direito histograma de erros relativos ao protótipo de cor escura avaliado com as duas câmeras

Gráfico 25 – *Boxplot* e histograma de frequência de erros relativos mensurados com a CT320 e CT160 (sem tamanho de 10x10cm) e relacionados as profundidades de 1cm, 4cm e 6cm simuladas e detectadas em abordagem passiva

5.2.2 Dia nublado

O dia escolhido para avaliação é datado em 14 de agosto de 2019 no qual contempla características de dia típico nublado com condições climáticas com mínima de 10°C, máxima de 14°C e, consequentemente, amplitude térmica de 4°C da temperatura ambiente.

Por meio da utilização de medidor de irradiância solar global e sensores de temperatura são mensurados a irradiância incidida sobre as superfícies dos protótipos 4 e 5 (P4 e P5). O Gráfico 26 apresenta estas medições em que a linha em vermelho pontilhada representa a irradiância global incidida sobre a superfície medida em W/m² e representa a radiação solar direta e indireta sobre as superfícies analisadas. Por se tratar de um dia nublado a irradiância incidida sobre os protótipos analisados se

apresentavam no intervalo de 0W/m^2 a 100W/m^2 que contempla o limite inferior de medição do equipamento sendo, portanto, um dia de baixa influência da radiação solar.

Na medida que é observado o aumento da temperatura ambiente (em verde), há um aumento da temperatura superficial do protótipo 4, em cor clara representada no gráfico em linha amarela, assim como é observado o aumento da temperatura superficial do protótipo 5 em cor escura, representada em uma linha marrom. Uma vez que inicia a queda da temperatura ambiente após as 14h, denota-se a consecutiva queda da temperatura superficial dos protótipos analisados.

Gráfico 26 – Medição da irradiância média global incidida sobre os protótipos 4 e 5 em abordagem passiva com dia ensolarado, além de temperatura ambiente e superficiais

5.2.2.1 Resultados qualitativos

Para este tipo de condições climáticas a avaliação qualitativa do protótipo 4, com superfície de cor clara e utilizada a CT320, possibilitou detectar 110 combinações classificadas em “sim” (19,1%), 49 classificadas em “levemente” (8,5%) e 417 classificadas em “não” (72,4%) do total de 576 combinações simuladas. Já a CT160, 29 classificadas em “sim” (5,0%), 27 classificadas em “levemente” (4,7%) e 520 classificadas em “não” (90,3%).

Para o protótipo 5 com superfície escura a CT320 apresentou detectar 99 combinações classificadas em “sim” (17,2%), 81 classificadas em “levemente” (14,1%) e 396 em classificadas em “não” (68,8%) do total de 576 combinações simuladas. Já a CT160, 40 classificadas em “sim” (6,9%), 25 classificadas em “levemente” (4,3%) e

511 classificadas em não (88,7%). A Tabela 24 apresenta a compilação destes resultados e permite melhor compreensão da possibilidade de detecção após avaliação qualitativa. As tabelas de classificação referentes a todas as combinações de simulação de falhas para as respectivas câmeras são anexadas no Apêndice B.

Tabela 24 – Avaliação e classificação qualitativa em abordagem passiva de falhas detectadas através das câmeras CT320 e CT160 para os protótipos 4 e 5 – dia nublado

Superfície / Protótipo	Câmera	Número de combinações	Classificação de avaliação qualitativa	Quantidades detectadas	Porcentagem detectada
Cor clara / Protótipo 4	CT320	576	Sim	110	19,1%
			Levemente	49	8,5%
			Não	417	72,4%
Cor clara / Protótipo 4	CT160	576	Sim	29	5,0%
			Levemente	27	4,7%
			Não	520	90,3 %
Cor escura / Protótipo 5	CT320	576	Sim	99	17,2%
			Levemente	81	14,1%
			Não	396	68,8%
Cor escura / Protótipo 5	CT160	576	Sim	40	6,9%
			Levemente	25	4,3%
			Não	511	88,7%

A avaliação da etapa de campo em dia nublado mostrou maior possibilidade de detecção de falhas para a CT320 que a CT160. A CT320 detectou 159 simulações de falhas classificadas em “sim” e “levemente” para a superfície de cor clara, ao passo que a CT160 56. Na superfície de cor escura (P5) a CT320 detectou 259 e a CT160 um total de 175.

O levantamento das falhas detectadas para as respectivas câmeras analisadas, assim como para o P4 e P5 são apresentados no Gráfico 27. As tabelas referentes as medições dos erros relativos para as combinações exploradas se encontram anexadas no Apêndice B.

Gráfico 27 – Quantidade de falhas detectadas e classificadas em “sim”, “levemente” e o total detectado em função do intervalo de temperatura superficial. Ao lado esquerdo para o protótipo 4 em superfície de cor clara. Ao lado direito para o protótipo 5 com superfície em cor escura, ambos avaliados com a CT320 e CT160 – dia nublado

Logo no início da manhã, após noite com temperaturas caracteristicamente mais baixas que no período do dia, as falhas detectadas se apresentam com suas áreas mais frias em comparação com as áreas íntegras dos sistemas revestidos simulados (Figura 32a e Figura 32b). Os resultados relacionados a temperatura ambiente coletados e apresentados no Gráfico 26 demonstram estabilização até próximo das 9h com posterior aumento da temperatura (Figura 32c). Justamente neste instante é observado que as falhas induzidas passam a ser detectadas com característica de áreas mais quentes. Isso denota a quantidade de falhas detectadas até as 8h com posterior queda as 9h relacionada a inversão da temperatura superficial acima das falhas simuladas.

Próximo das 10h ocorre a queda da temperatura ambiente e os termogramas referentes a este horário se apresentam com quantidades menores ou nenhuma falha detectada (Figura 32d). Por volta das 12h a temperatura ambiente volta a subir e consequentemente as falhas se apresentam novamente com suas superfícies mais quentes (Figura 32e). Após as 14h ocorre novamente a queda da temperatura ambiente e as falhas voltam a se estabilizar termicamente até que voltam a se apresentarem detectáveis agora com suas superfícies mais frias, após queda da temperatura ambiente. Alguns exemplares dos termogramas capturados para os

respectivos horários são apresentados e ilustram o comportamento térmico das falhas aqui abordado e influenciadas pelas condições climáticas.

Figura 32 – Visualização dos termogramas capturados com a CT320 na distância de 7 metros e seus respectivos horários do dia para condições climáticas com características de dia nublado, baixas temperaturas e baixa irradiância solar

Estas evidências demonstram que a possibilidade de detectar a falha é também influenciada pela variação térmica do ambiente ao qual a superfície revestida se encontra inserida, além das características antes observadas. O comportamento térmico do ambiente evidencia o momento em que a falha pode ou não ser detectada. Os resultados demonstram que uma vez iniciado aumento da temperatura ambiente maior a probabilidade de detectar falhas mais profundas. Tão quanto o inverso é válido. Uma vez que a temperatura ambiente inicia o processo de queda da temperatura, a permanência do processo de diminuição de temperatura colabora para a probabilidade de visualização de falhas mais profundas. Ou seja, quanto maior a taxa de variação térmica maior a probabilidade de detecção. No entanto, uma vez que a temperatura ambiente para o seu processo de aquecimento ou resfriamento existe a tendência de estabilização da temperatura superficial e consequente dificuldade de visualização das falhas. Portanto, períodos do dia nos quais ocorre a inversão do fluxo

térmico devem ser evitados para a realização da avaliação por termografia. O período das 10h monitorado, característico de dia nublado, ou até mesmo o período das 14h, no qual passa por uma troca de fluxo térmico com processo de resfriamento para aquecimento ou de aquecimento para resfriamento, devem ser evitados devido à dificuldade da visualização das falhas pela inversão da temperatura superficial das áreas com anomalia.

5.3 Comparação entre detecção por termografia infravermelha e percussão dos protótipos avaliados

5.3.1 Etapa laboratorial

A Figura 33 apresenta ao lado esquerdo fotografia dos protótipos 1, 2 e 3 da etapa laboratorial após mapeamento por percussão, ao passo que a figura ao lado direito apresenta o mesmo protótipo após captura de termograma em condições ideais de detecção, ou seja, no intervalo de temperatura superficial de 40/45°C na distância de 5 metros com a utilização da CT320.

Figura 33 – Detecção de falhas simuladas para os protótipos 1, 2 e 3 da etapa laboratorial após avaliação pela técnica de: lado esquerdo – percussão; lado direito – termografia infravermelha

Com a técnica de percussão foi possível detectar falhas nas profundidades de 1 e 4 centímetros. Ainda assim, não se conseguiu detectar as falhas nas dimensões de 10x10cm para nenhuma das profundidades simuladas. As falhas induzidas nas profundidades de 6 e 8 centímetros não foram possíveis de serem detectadas por percussão.

Estes mesmos protótipos quando submetidos a um aquecimento da temperatura superficial até próximo dos 50°C, é denotada a possibilidade de detecção das falhas até a profundidade de 8 cm com relação a superfície com a utilização da termografia. As falhas simuladas nas profundidades se apresentam claramente visíveis até a profundidade de 4 cm, ao passo que as profundidades de 6 e 8 cm permitem a visualização das falhas de 20x20cm e 30x30cm apenas e com leve contraste térmico.

Na Tabela 25 é apresentada a comparação dos resultados das técnicas de percussão e termografia (através de termograma em condições ideais de detecção, conforme Figura 33). Nela são apresentadas as falhas simuladas e detectadas, além da área detectada e o respectivo erro relativo para as diferentes técnicas.

Do total de 12 combinações de falhas presente no protótipo 1 apenas 4 foram detectadas por percussão enquanto com termografia infravermelha foram detectadas 10 combinações das 12 possíveis. As áreas delimitadas por percussão se apresentaram menores que as áreas reais conhecidas. Para a termografia, as áreas detectadas se apresentaram muito próximas às áreas reais induzidas para a profundidade de 1 cm.

Para o protótipo 2 e 3, das 6 combinações de falhas induzidas, 2 foram detectadas por percussão e 3 detectadas por termografia.

Os erros relativos mensurados após processo de percussão se apresentaram maiores que aqueles encontrados por termografia, com valores de erro relativo menores.

Tabela 25 – Comparação do erro relativo na medição das falhas detectadas através das técnicas de percussão e de termografia na etapa laboratorial

Protótipo	Profundidade (cm)	PERCUSSÃO Área medida (cm ²)			TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA Área medida (cm ²)		
		30x30cm	20x20cm	10x10cm	30x30cm	20x20cm	10x10cm
P1	1	763,5	288,9	Não det.	826,7	413,6	82,0
	4	222,1	333,2	Não det.	821,8	424,2	89,6
	6	Não det.	Não det.	Não det.	678,1	289,3	Não det.
	8	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	325,4	394,7
P2	4	542,9	187,4	Não det.	902,9	459,8	151,7
	8	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.
P3	4	619,9	164,7	Não det.	976,7	490,5	109,9
	8	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.
Protótipo	Profundidade (cm)	PERCUSSÃO Erro relativo (%)			TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA Erro relativo (%)		
		30x30cm	20x20cm	10x10cm	30x30cm	20x20cm	10x10cm
P1	1	15,2%	27,8%	Não det.	8,1%	3,4%	18,0%
	4	75,3%	16,7%	Não det.	8,7%	6,1%	10,4%
	6	Não det.	Não det.	Não det.	24,7%	27,7%	Não det.
	8	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	18,7%	297,4%
P2	4	39,7%	53,2%	Não det.	0,3%	15,0%	51,7%
	8	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.
P3	4	31,1%	58,8%	Não det.	8,5%	22,6%	9,9%
	8	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.

5.3.2 Etapa de campo

A Figura 34 apresenta ao lado esquerdo fotografia dos protótipos 4 e 5 após mapeamento por percussão e a figura ao lado direito apresenta protótipos após captura de termograma referente ao dia ensolarado no horário das 16h na distância de 5 metros com a utilização da CT320.

Figura 34 – Detecção de falhas simuladas para os protótipos 4 e 5 da etapa de campo após avaliação pela técnica de: lado esquerdo – percussão; lado direito – termografia infravermelha

O processo de percussão possibilitou detectar todas as falhas para a profundidade de 1 centímetro, ao passo que detectou apenas as falhas nas dimensões de 20x20cm e 30x30cm para a profundidade de 4 centímetros. As falhas induzidas nas profundidades de 6 e 8 centímetros também não foram detectadas na etapa de campo.

Com termografia infravermelha foi possível identificar as falhas até a profundidade de 6 cm com relação a superfície. As falhas simuladas nas profundidades se apresentam claramente visíveis até a profundidade de 4 cm, ao passo que as profundidades de 6 permite a visualização das falhas 30x30cm de maneira clara e a falha de 20x20cm com leve contraste térmico.

Na Tabela 26 é apresentada a comparação dos resultados das técnicas de percussão e termografia (através de termogramas nas melhores condições de detecção em dia ensolarado e em dia nublado). Nela são apresentadas as áreas detectadas e mensuradas e seus respectivos erros relativos.

A comparação dos resultados mostra erros relativos muito menores para as áreas detectadas por termografia se comparado aos erros encontrados por percussão na medida que se aumenta a profundidade e diminui o tamanho das falhas induzidas.

Do total de 12 combinações de falhas simuladas no protótipo 4 apenas 5 foram detectadas por percussão ao passo que foram detectadas 7 combinações para a termografia infravermelha. Para o protótipo 5 das 12 combinações de falhas simuladas 5 foram detectadas por percussão e 9 detectadas por termografia para ambos os protótipos (Tabela 26).

Tabela 26 – Comparação da quantidade e erro relativo das falhas detectadas através das técnicas de percussão e termografia para os protótipos 4 e 5 – Dia ensolarado

Protótipo	Profundidade (cm)	PERCUSSÃO Área medida (cm ²)			TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA Área medida (cm ²)		
		30x30cm	20x20cm	10x10cm	30x30cm	20x20cm	10x10cm
P4	1	862,5	377,4	67,0	717,5	339,7	89,9
	4	227,6	212,3	Não det.	1081,4	454,7	Não det.
	6	Não det.	Não det.	Não det.	793,3	578,3	Não det.
	8	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.
P5	1	857,7	378,7	101,7	958,7	434,4	144
	4	375,8	185,9	Não det.	942,7	414,6	139,2
	6	Não det.	Não det.	Não det.	899,8	318,1	Não det.
	1	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.
Protótipo	Profundidade (cm)	PERCUSSÃO Erro relativo (%)			TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA Erro relativo (%)		
		30x30cm	20x20cm	10x10cm	30x30cm	20x20cm	10x10cm
P4	1	4,2%	5,7%	33,0%	20,3%	15,1%	10,1%
	4	74,7%	46,9%	Não det.	20,2%	13,7%	Não det.
	6	Não det.	Não det.	Não det.	11,9%	44,6%	Não det.
	8	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.
P5	1	4,7%	5,3%	1,7%	6,5%	8,6%	44,0%
	4	58,2%	53,5%	Não det.	4,7%	3,7%	39,2%
	6	Não det.	Não det.	Não det.	0,0%	20,5%	Não det.
	1	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.	Não det.

5.4 Estudos de caso

Os casos presentes neste item contemplam empreendimentos com manifestação patológica de destacamento no qual também foram avaliados através da metodologia de percussão e permite uma comparação com o mapeamento realizado por meio da termografia infravermelha embarcada em drone.

5.4.1 Estudo de caso 1

O empreendimento avaliado está localizado na Zona Sul de São Paulo – SP, na região de Santo Amaro. Condomínio constituído por 7 torres construídas entre 1987 e 2012, o edifício estudado é composto por 32 pavimentos executados em estrutura de concreto armado, sistema de vedação vertical em alvenaria com blocos cerâmicos e revestimento de fachada com pastilhas esmaltadas de 1,5 x 1,5 cm na cor branco gelo e juntas preenchidas com rejunte branco.

Após 8 anos de sua construção manifestações patológicas de destacamento, fissuração e manchas surgem em suas fachadas. A interface de colapso do sistema se encontra entre a argamassa colante e placa cerâmica, no qual ocorre a queda geralmente das pastilhas e partes da argamassa colante. O processo de inspeção foi realizado com câmera infravermelha embarcada em drone assim como por técnica de percussão de maneira simultânea em todo o revestimento da fachada do empreendimento.

O drone utilizado para esta inspeção tem suas especificações técnicas apresentadas na Tabela 27. Através da utilização de drone com câmera térmica CT160 embarcada de maneira mecânica e, portanto, sem estabilização da imagem térmica é feita a inspeção térmica da fachada. Com a utilização da função de filmagem é realizada a vistoria e gravação das imagens térmicas e digitais (RGB) de todas as fachadas delimitadas na metodologia.

Tabela 27 – Drone utilizado para o desenvolvimento do estudo de caso 1

Drone		
Parrot Bebop-Pro Thermal		
ESPECIFICAÇÕES
Autonomia	25 minutos
	Câmera térmica embarcada	Flir One Pro (Tabela 7)
	Distância máxima de voo	2 Km
	Altura máxima de voo	150 m
	Velocidade máxima horizontal	16 m/s
	Peso total	604 g
	Resolução de foto em RGB	4096 x 3072 pixels
	Resolução de vídeo em RGB	1920 x 1080 pixels (30fps)
	Memória interna	32 GB

FONTE: Parrot (2019)

No processo de inspeção foi realizado pedido de autorização junto aos responsáveis pelo empreendimento sobre voo em propriedade privada. Procedimento de anuência dos condôminos foi realizada através de comunicados nos quadros informativos e disparo de e-mail informando os dias e horários que seriam realizados os procedimentos.

Anterior a visita no local da inspeção, foi realizada pesquisa com o intuito de compreender a localização do empreendimento, a orientação cardinal das fachadas, empreendimentos do entorno e uma visualização prévia dos possíveis locais para voo. Foi observada a existência de empreendimentos próximos as duas fachadas laterais

porém a distância entre as torres não apresentou risco ou qualquer impeditivo para o processo de inspeção (Figura 35).

A identificação adotada para os panos revestidos é apresentada na Figura 36. As informações levantadas demonstram que o plano de voo tem seu início através da inspeção da fachada lateral esquerda com orientação leste, com posterior inspeção da fachada frontal, fachada posterior, lateral direita e, por fim, novamente a fachada posterior ao final do período de inspeção, conforme numerais indicados na figura, evidenciando o plano de voo para o empreendimento.

Figura 35 – Vista do empreendimento objeto de estudo e seu entorno além de previsão do ambiente para a realização da inspeção

Figura 36 – Formato da planta do empreendimento com detalhes da arquitetura, numerais de indicação de sequência de voo e identificação das fachadas: (a) fachada frontal – FF; (b) fachada lateral direita – FD; (c) fachada lateral esquerda – FE; (d) fachada posterior – FP

Para o processo de percussão foi utilizado de sistema de rapel para acesso aos panos revestidos e a percussão foi realizada mediante martelo em PVC. Como requisito para o desenvolvimento da atividade, o síndico do edifício solicita que não sejam realizadas marcas para a delimitação das áreas destacadas da fachada, na qual, torna necessária a utilização de rádio para comunicação entre o profissional responsável pelo ensaio de percussão e o profissional responsável pela documentação do processo.

Foram necessários 3 profissionais, sendo um técnico encarregado em descer sobre o pano revestido de análise, realizar processo de percussão, identificar e apontar as áreas destacadas através da percepção de som cavo no sistema revestido. Com a identificação destas áreas, o técnico aciona via rádio outro técnico alocado em solo e incumbido em delimitar estas áreas em planta baixa, impressa e disponível no momento do processo.

Um terceiro profissional é demandado com responsabilidade sobre a preparação do sistema de rapel para as seguintes fachadas a serem inspecionadas. Este último processo conta com a fixação e lançamento das cordas sobre a fachada a ser inspecionada, com o objetivo de deixar o sistema pronto para a próxima descida do profissional que executa o serviço a fim de agilizar o processo. Este profissional é responsável também pelo desmonte e recolhimento do sistema de rapel após a inspeção de determinada área enquanto o outro profissional sobe por elevador para a inspeção de nova área da fachada.

O processo de detecção das áreas destacadas por percussão foi executado no período de 12 dias de trabalho. Após o levantamento das áreas com anomalias da fachada e seu apontamento nos croquis da elevação da fachada in loco, estes são tratados e transferidos para planta digital em escritórios.

A inspeção por termografia foi programada e realizada no dia 11 de abril de 2019 com previsão de tempo ensolarado, 15% de probabilidade de chuva, 5% de capa de nuvem e temperatura aparente refletida de 24,3 °C. Seguindo as premissas climáticas de aplicação da técnica de maneira efetiva, foi escolhido este dia dada as características de grande amplitude térmica observada no decorrer do dia de 8°C, conforme Gráfico 28.

Gráfico 28 – Temperatura ambiente para o dia 11 de abril de 2019 em que foi realizada a inspeção térmica do estudo de caso 1

A inspeção teve início às 8h30 e foi finalizada próximo das 16h30. A fachada lateral esquerda teve inspeção iniciada por volta das 8h30. A fachada frontal por volta das 9h30. A fachada posterior por volta das 12h30. Posteriormente a fachada lateral

direita por volta das 14h00 e, por fim, novamente a fachada posterior por volta das 15h00.

A processo de inspeção no local teve seu início as 7h30 com a chegada no empreendimento e vistoria do objeto de estudo, periferia do empreendimento com confirmação dos locais de voo específicos para cada fachada, previsão de locais secundários para pouso, locais para alocação de equipamentos disposto de tomadas para carregamento dos equipamentos (Figura 37). Este processo demorou aproximadamente 1 hora e se apresentou suficiente para o preparo do procedimento de voo e foi compatível com o horário combinado para o início das atividades, no qual a gestão do empreendimento permite a realização de serviços técnicos a partir das 8h30.

Figura 37 – Exemplos das áreas previstas para decolagem e pouso do drone específicos para cada fachada do empreendimento

Todo o processo de inspeção foi realizado com velocidade do vento abaixo da escala de Beaufort de classe 4, designada de brisa moderada e velocidade do vento entre 20 a 28 Km/h (5,5 a 7,9 m/s). A velocidade do drone no processo de aquisição era de 2 m/s em deslocamentos verticais de subida e descida. A distância de inspeção que se apresentou ideal para o enquadramento do objeto de análise foi num intervalo entre 5 e 10 metros de distância. Mais detalhes sobre o método de ensaios utilizado são apresentados no capítulo 6 no qual é proposta protocolo com diretrizes sobre a aplicação de maneira confiável da técnica.

É de suma importância se atentar aos objetos do entorno não apenas na elaboração do plano de voo, mas também em todo o momento da inspeção. Este caso estudado continha grande quantidade de árvores que compunham o paisagismo do empreendimento em toda a sua periferia. Neste sentido os andares mais baixos foram inspecionados com bastante cautela para o processo de voo. Pilotar o drone em

velocidade reduzida colaborou para a aplicação da técnica de maneira segura, porém aumentou o tempo de inspeção nestas áreas (Figura 38).

Figura 38 – Exemplos de objetos que devem ser constantemente observados no processo de inspeção e contemplam parte da iteração (iv)

5.4.1.1 Comparativo entre mapeamento por percussão x mapeamento por termografia – Estudo de caso 1

O mapeamento correspondente a fachada frontal se encontra na Figura 39, assim como o projeto de mapeamento da fachada posterior na Figura 40 e por fim as fachadas laterais direita e esquerda na Figura 41.

Figura 39 – Mapeamento térmico e por percussão do estudo de caso 1 – Fachada frontal

Figura 41 – Mapeamento térmico e por percussão do estudo de caso 1 – Fachadas laterais

A quantificação das áreas totais detectadas para cada fachada e total por técnica de detecção são apresentadas na Tabela 28. Dado o fato das linhas “confere” e “converge” serem relativas à comparação entre as duas técnicas, estas são apresentadas com resultados iguais.

Os resultados demonstram a detecção de uma quantidade maior de áreas com anomalia térmica associadas a descolamento do sistema revestido com um total de 273 áreas detectadas. A técnica de mapeamento por percussão possibilitou detectar 213 áreas. Destas, 66 foram classificadas em “confere” e, consequentemente, representam áreas similares na fachada detectadas pelas duas técnicas. Ainda, 24 do total apresentaram características de convergência, podendo ou não serem as mesmas áreas, contudo mapeadas com uma pequena distinção de alocação no projeto de elevação das fachadas.

Tabela 28 – Quantificação das áreas detectadas para ambas as técnicas em suas respectivas fachadas, além da comparação entre as duas técnicas – Estudo de caso 1

Classificação	MAPEAMENTO POR PERCUSSÃO					MAPEAMENTO POR TERMOGRAFIA				
	Frontal	Lateral esquerda	Lateral direita	Posterior	TOTAL	Frontal	Lateral esquerda	Lateral direita	Posterior	TOTAL
Total detectado	65	46	14	88	213	108	53	20	92	273
Confere	18	15	4	29	66	18	15	4	29	66
Converge	1	7	3	13	24	1	7	3	13	24

5.4.1.2 Considerações finais sobre o estudo de caso 1

O estudo de caso 1 com a aplicação dos procedimentos expostos e as tecnologias assinaladas nos trazem algumas informações importantes.

Com relação a técnica de inspeção por termografia, esta tende a exercer menores erros de delimitação das áreas em vista da visualização do tamanho e forma real da falha detectada através das imagens capturadas. O processo de alocação em planta de elevação também não é depreciado ao fato deste ser realizado em escritório, com condições favoráveis e mais confortáveis para a análise destas áreas e consequentemente o mapeamento de toda a fachada do empreendimento.

Câmeras térmicas embarcadas em drone de maneira mecânica e, portanto, sem estabilização de imagem, dificulta a visualização das imagens, devido a oscilação

da própria aeronave refletida na captura das imagens (Figura 42a). O tipo de software de análise e comunicação da tecnologia térmica com o drone utilizado para este estudo de caso não possibilita o ajuste da amplitude térmica no instante da inspeção, o que gera transtorno na visualização *in loco* de áreas sujeitas a grandes variações térmicas, principalmente no instante da análise das bordas e cobertura no edifício no qual em determinados momentos também captura medições da temperatura do céu que, conseqüentemente, aumenta a amplitude térmica do termograma e dificulta a visualização de falhas no momento da inspeção (Figura 42b e c). A Figura 42b mostra um exemplar com termograma com captura apenas da amplitude térmica da fachada do empreendimento e divide a escala de cores em mínima de 17,4°C representados nas cores mais escuras e 28,4°C representando a máxima temperatura com cores mais claras, logo uma amplitude térmica de 11°C e permite uma melhor visualização através da escala de cores melhor distribuída, permitindo uma melhor visualização do perfil térmico da superfície de análise. Figura 42c apresenta um exemplar de termograma com captura de parte do céu com conseqüente aumento da amplitude térmica e respectivamente, mínima de 0,9°C e máxima de 25,7°C, tornando a amplitude térmica em 24,8°C e dificultando a visualização do perfil térmico do objeto de análise. Algumas câmeras térmicas permite o ajuste deste parâmetro de modo que esta amplitude permaneça congelada e facilita o processo de visualização de falhas. Atentar-se a estes detalhes no momento da inspeção devem ter sua devida atenção para a garantia de bons resultados.

Figura 42 – Mapeamento por termografia. (a) influência da câmera embarcada sem estabilização no drone com transferência de vibração para a imagem. Influência da amplitude térmica na qualidade do termograma: (b) baixa amplitude térmica com maior visualização dos contrastes térmicos (c) maior amplitude térmica influenciada pelo céu ao fundo

O processo de percussão apenas com o deslizamento do martelo em PVC sobre a superfície revestida, sem que efetivamente seja realizada batidas sobre o sistema revestido é impreciso com relação a detecção de falhas mais profundas e pode depreciar o potencial máximo de detecção que a técnica possa oferecer.

As condições de exposição do profissional quando exposto a inspeção de grandes edifícios como este, em dias de elevadas temperaturas, induzem que este profissional realize o procedimento com maior velocidade, menor cuidado e consequentemente aumenta a probabilidade de imprecisões.

O procedimento adotado para o mapeamento das falhas no qual um profissional realiza o processo de percussão sobre a fachada e quando detectada área com som cavo contacta via rádio outro profissional responsável por delinear a área detectada sobre croqui da elevação da fachada nos leva a crer do aumento da probabilidade de erro do exato local onde a área detectada se encontra, além da probabilidade de erro desta em seu respectivo andar na planta de elevação.

Todos estes fatores podem colaborar para a menor convergência entre as técnicas e devem ser levados em consideração.

Por fim, levado em consideração os procedimentos adotados e as tecnologias utilizadas para a avaliação deste estudo de caso, os resultados mostram uma tendência de convergência de aproximadamente 40% entre as técnicas. Grande parte das áreas classificadas em “confere” se apresentaram maiores para o mapeamento por termografia quando comparada com a área mapeada por percussão. Muito similar aos resultados encontrados nas etapas laboratorial e de campo na qual as áreas simuladas e detectadas se apresentavam maiores e mais exatas quando detectadas por termografia quando comparado a percussão.

5.4.2 Estudo de caso 2

O empreendimento objeto do caso estudado é localizado na Zona Sul de São Paulo – SP, na região do Brooklin. Condomínio constituído por torre única construída em 2015, com 27 pavimentos executados em estrutura de concreto armado, sistema de vedação vertical em alvenaria com blocos de concreto. O sistema de revestimento é constituído por parcela em revestimento cerâmico com placas nas dimensões de 25 x 7 cm nas cores branco e preto com juntas rejuntadas em branco e preto para as suas respectivas cores de placas. Partes específicas do empreendimento são compostas por revestimento argamassado e camada decorativa em textura na cor cinza.

Após 2 anos de sua construção a queda de partes do sistema revestido começaram a surgir. Uma primeira intervenção pontual foi realizada com retirada das áreas com presença de som cavo e posterior restauração. Quatro anos após a execução da fachada, novas áreas com presença de descolamento voltaram a surgir. As principais interfaces de destacamento averiguadas se encontram entre a argamassa colante e o emboço e algumas pequenas áreas na interface entre o emboço e a base. A espessura de emboço se apresenta em torno de 4 cm de espessura e placas de 7 mm de espessura.

Engenheiros que compõem o corpo de assistência técnica do empreendimento solicitaram a realização de vistoria com mapeamento de áreas com dano com o objetivo de dar subsídios para a tomada de decisão e posterior recuperação das fachadas. No processo, inspeção completa da fachada é efetuada, com vistoria das condições estéticas e funcionais de seus elementos e inspeção por percussão em toda a área externa revestida do empreendimento.

Anterior a visita no local da inspeção, foi realizada pesquisa com o intuito de compreender localização do empreendimento, orientação cardeal das fachadas, empreendimentos do entorno e uma visualização prévia dos possíveis locais para voo. O levantamento mostra que no entorno do empreendimento não existe nenhum obstáculo que venha a interferir ou impossibilitar o processo de inspeção com utilização do drone (Figura 43). As áreas que circundam o edifício se apresentaram livres e com bastante espaço para procedimentos de decolagem e pouso. A identificação adotada para os panos revestidos é apresentada na Figura 44.

Figura 43 – Vista do empreendimento objeto de estudo e seu entorno além de previsão do ambiente para a realização da inspeção

Figura 44 – Formato da planta do empreendimento com detalhes da arquitetura, numerais de indicação de sequência de voo e identificação das fachadas: (a) fachada frontal – FF; (b) fachada lateral direita – FD; (c) fachada lateral esquerda – FE; (d) fachada posterior – FP

O plano de voo elaborado para a inspeção deste caso tem seu início através da inspeção da fachada posterior com orientação leste, em seguida é inspeção da fachada lateral esquerda, fachada lateral direita (face sul, com menor incidência solar), fachada frontal e, por fim, novamente a fachada lateral direita ao final do período de inspeção.

A inspeção foi programada e realizada no dia 01 de outubro de 2019 com previsão de tempo ensolarado, 0% de probabilidade de chuva, aproximadamente 10% de capa de nuvem e temperatura aparente refletida de 25,7 °C. Seguindo as premissas climáticas de aplicação da técnica de maneira efetiva, foi escolhido este dia dada as características acima além da grande amplitude térmica observada no decorrer do dia de 15°C, conforme Gráfico 29.

O processo de inspeção no local teve seu início as 8h com a chegada no empreendimento e visualização do objeto de estudo, periferia do empreendimento com confirmação dos locais de decolagem e pouso específicos para cada fachada, previsão de locais secundários para pouso, locais para alocação de equipamentos disposto de tomadas para carregamento dos equipamentos, além de locais a alocação do operador. A inspeção teve início às 9h, horário no qual os procedimentos internos do condomínio autorizavam a realização de serviços técnicos no empreendimento. Alguns exemplares dos locais selecionados para os procedimentos desta iteração se apresentam na Figura 45.

Figura 45 – Exemplares das áreas previstas para decolagem e pouso do drone específicos para cada fachada do empreendimento

A inspeção teve início às 9h e foi finalizada próximo das 15h30. A fachada posterior teve inspeção iniciada por volta das 9h. A fachada lateral esquerda por volta das 10h. A fachada lateral direita, com orientação cardinal sul teve sua primeira vistoria por volta das 11h30. Posteriormente a fachada frontal por volta das 13h00 e, por fim, novamente a fachada lateral direita por volta das 14h00.

Gráfico 29 – Temperatura ambiente para o dia 01 de outubro de 2019 em que foi realizada a inspeção térmica do estudo de caso 2

O drone utilizado para esta inspeção tem suas especificações técnicas apresentadas na Tabela 29. Através da utilização de drone com câmera térmica do modelo XT2 e resolução térmica de 640 x 512 pixels embarcada com estabilização da imagem térmica em três eixos é feita a inspeção térmica da fachada. Com a utilização da função de filmagem é realizada a vistoria e gravação das imagens térmicas (.SEQ) e digitais (RGB) de todas as fachadas delimitadas na metodologia.

Tabela 29 – Drone utilizado para o desenvolvimento do estudo de caso 2

Drone	
Matrice 200 RTK	
ESPECIFICAÇÕES	
Autonomia	32 minutos
Câmera térmica embarcada	XT2 (640 x 512 pixels)
Distância máxima de voo	8 Km
Velocidade máxima vertical	5 m/s
Velocidade máxima horizontal	17 m/s
Peso total	4,69 g
Resolução de foto em RGB	4096 x 3072 pixels
Resolução de vídeo em RGB	1920 x 1080 pixels (30fps)
Memória interna	128 GB

Este caso estudado continha certa quantidade de árvores que compunham o paisagismo do empreendimento, principalmente nas laterais esquerda e direita da fachada. Neste sentido os andares mais baixos foram inspecionados com bastante cautela para o processo de voo. Pilotar o drone em velocidade reduzida colaborou para a aplicação da técnica de maneira segura, porém aumentou o tempo de inspeção nestas áreas. Elementos da construção, ao exemplo de detalhes da fachada e escadas também dificultavam o processo de inspeção e tornava a atenção para a segurança ao voo ainda maior (Figura 46).

Figura 46 – Exemplar de objetos que devem ser constantemente observados no processo de inspeção e contemplam parte da iteração (iv)

A inspeção foi realizada com velocidade do vento abaixo da escala de Beaufort de classe 4, designada de brisa moderada e velocidade do vento entre 20 a 28 Km/h (5,5 a 7,9 m/s). A velocidade do drone no processo de aquisição era de 2 m/s em deslocamentos verticais de subida e descida. A distância de inspeção que se apresentou ideal para o enquadramento do objeto de análise foi num intervalo entre 5 e 10 metros de distância. Mais detalhes sobre o método de ensaios utilizado são apresentados no capítulo 6 no qual é proposta protocolo com diretrizes sobre a aplicação de maneira confiável da técnica.

O processo de execução do ensaio de percussão foi realizado mediante utilização de sistema de rapel para acesso aos panos revestidos e a percussão mediante martelo em PVC. A demarcação das áreas com presença de som cavo se deu com a utilização de espuma em *spray* para as áreas das fachadas revestidas em

cerâmica e *spray* em água para os panos em revestimento argamassado. Tendo em vista que estas técnicas de demarcação da área saem com bastante facilidade, logo após a demarcação era capturada uma foto da determinada área com presença de som cavo.

O procedimento contou com 4 técnicos, sendo que dois foram encarregados em descer sobre o pano revestido de análise, realizar processo de percussão, identificar e apontar as áreas destacadas através da percepção de som cavo no sistema revestido, realizar a demarcação e capturar a foto do local. Um técnico alocado em solo é encarregado de delimitar estas áreas em planta baixa, impressa e disponível no momento do processo.

Um quarto profissional fica responsável sobre a preparação do sistema de rapel para as seguintes fachadas a serem inspecionadas, deixando o sistema de escalada pronto para os profissionais de inspeção. Ainda, este profissional é encarregado pelo desmonte e recolhimento do sistema de rapel após a inspeção de determinada área enquanto o outro profissional sobe por elevador para a inspeção de nova área da fachada.

O processo de detecção das áreas destacadas por percussão foi executado no período de 10 dias de trabalho. Após o levantamento das áreas com anomalias da fachada e seu apontamento nos croquis da elevação da fachada in loco, estes são tratados e transferidos para planta digital em escritórios.

5.4.2.1 Comparativo entre mapeamento por percussão x mapeamento por termografia – Estudo de caso 2

No mapeamento pela técnica de termografia infravermelha as áreas descoladas do revestimento cerâmico são apontadas em vermelho. As áreas que se referem ao descolamento do sistema argamassado são apontadas em azul claro e as áreas que já apresentaram a queda do sistema revestido são apresentadas em azul escuro. O mapeamento térmico correspondente a fachada frontal é apresentado na Figura 47, as fachadas laterais esquerda e direita são apresentadas na Figura 48 e Figura 49. O mapeamento da fachada posterior apresentado na Figura 50.

Para o processo de mapeamento por percussão, as áreas com presença de som cavo são delimitadas em azul. As áreas deslocadas, ou seja, com queda do sistema revestido, são apresentadas em verde. Áreas fissuradas são apresentadas

em vermelho. Os resultados obtidos para a fachada frontal estão contemplados na Figura 51. A Figura 52 e Figura 53 apresentam os mapeamentos referentes as fachadas laterais esquerda e direita respectivamente. A fachada posterior é apresentada na Figura 54.

Figura 47 – Mapeamento térmico do estudo de caso 2 – Fachada frontal

Figura 48 – Mapeamento térmico do estudo de caso 2 – Fachada lateral esquerda

Figura 49 – Mapeamento térmico do estudo de caso 2 – Fachada lateral direita

Figura 50 – Mapeamento térmico do estudo de caso 2 – Fachada posterior

Figura 51 – Mapeamento por percussão do estudo de caso 2 – Fachada frontal

Figura 52 – Mapeamento por percussão do estudo de caso 2 – Fachada lateral esquerda

Figura 53 – Mapeamento por percussão do estudo de caso 2 – Fachada lateral direita

Figura 54 – Mapeamento por percussão do estudo de caso 2 – Fachada posterior

A quantificação das áreas totais detectadas para cada uma das técnicas de detecção é apresentada na Tabela 30. Dado o fato das linhas “confere” e “converge” serem relativas à comparação entre as duas técnicas, estas são apresentadas com resultados iguais.

Os resultados mostram a detecção de uma quantidade maior de áreas com anomalia térmica associadas a descolamento do sistema revestido com um total de 422 áreas detectadas. A técnica de mapeamento por percussão possibilitou detectar 315 áreas. Destas, 127 foram classificadas em “confere” e, consequentemente, representam áreas similares na fachada detectadas pelas duas técnicas. Ainda, 41 do total apresentaram características de convergência, podendo ou não serem as mesmas áreas, contudo mapeadas com uma pequena distinção de alocação no projeto de elevação das fachadas.

Tabela 30 – Quantificação das áreas detectadas para ambas as técnicas em suas respectivas fachadas, além da comparação entre as duas técnicas – Estudo de caso 2

Classificação	MAPEAMENTO POR PERCUSSÃO					MAPEAMENTO POR TERMOGRAFIA				
	Frontal	Lateral esquerda	Lateral direita	Posterior	TOTAL	Frontal	Lateral esquerda	Lateral direita	Posterior	TOTAL
Total detectado	83	73	55	104	315	109	141	58	114	422
Confere	21	46	14	46	127	21	46	14	46	127
Converge	8	18	5	10	41	8	18	5	10	41

5.4.2.2 Considerações finais sobre o estudo de caso 2

O estudo de caso 2 possibilitou a realização de contraprova dos resultados obtidos por meio de uma investigação mais profunda relacionada as áreas mapeadas com característica de convergência e uma conferência em áreas mapeadas por termografia antes não encontradas por percussão após realização de nova inspeção no empreendimento para averiguação destes pontos. Os locais escolhidos para conferência se apresentavam aqueles que fossem acessíveis para nova percussão sem a necessidade de aparato para escalada.

Área detectada e mapeada por termografia infravermelha na fachada frontal, especificamente no 28º pavimento não se apresentou detectada e mapeadas. Esta área se apresentou interessante para averiguação dado o fato de ser um pano

revestido relativamente grande com presença de anomalias térmicas associadas ao descolamento de placas cerâmicas isoladas da área revestida.

A Figura 55 aponta esta área vista por termografia e os respectivos mapeamentos por termografia e percussão. Após nova verificação desta área através da técnica de percussão, foi feita a comprovação que esta área apresenta realmente som cavo e se encontra com a presença de placas soltas conforme visualizado através do termograma.

Figura 55 – Verificação de área com descolamento detectada por termografia e não apresentada pelo processo de percussão

No vigésimo sétimo andar, ainda na parte superior da fachada lateral esquerda do edifício, outra área com suspeita de convergência e mapeadas por ambas as técnicas, porém em andares distintos foi verificada. O mapeamento por termografia indicava área com características muito similares a área mapeada por percussão, porém uma estava alocada no 26º andar e outra no 27º respectivamente. Após verificação *in loco* foi constatada que a área mapeada por termografia realmente existia e aquela mapeada por percussão estava alocada em um andar acima do local

real, confirmando a hipótese da possibilidade de alocação de anomalias em andares distintos por equívoco do processo de mapeamento (Figura 56).

Figura 56 – Verificação de área com descolamento mapeadas em andares distintos na fachada lateral esquerda

Outro local com indícios de locação em locais distintos foi investigado e se apresenta entre o 4º e 5º pavimento da fachada posterior (Figura 57). A detecção do erro de alocação se tornou possível após análise das imagens visuais capturadas pelo drone no qual possibilitou a verificação do erro e a sua confirmação *in loco* via processo de contraprova.

Figura 57 – Verificação de área com descolamento mapeadas em andares distintos na fachada posterior

Com o intuito de compreender os motivos pelo qual a termografia apresenta mapear maior quantidade de áreas quando comparados os mapeamentos térmicos e percussão, é realizada verificação de áreas acessíveis mapeadas por termografia que não foram encontradas por percussão em procedimento de contraprova.

Um primeiro local averiguado se apresentava próximo as escadas de emergência externa, presente na fachada lateral esquerda das elevações. Esta área da fachada se mostrava com grande quantidade de áreas mapeadas por termografia e uma quantidade muito menor mapeada pelo processo de percussão. Contraprova via percussão sob os locais apontados por termografia confirmaram a presença das áreas com som cavo e confirmam quantidade maior de áreas apontadas por termografia antes não detectadas por percussão, validados via contraprova e indicadas sua confirmação em verde na Figura 58.

Grandes áreas revestidas foram detectadas por termografia e não foram apresentadas por percussão. Alguns casos detectados por percussão foram

representados no mapeamento com áreas menores que aquelas encontradas no processo de verificação.

Figura 58 – Verificação de área detectadas por termografia e não detectadas por percussão na fachada lateral esquerda

A fachada frontal do empreendimento também contemplava casos com áreas delimitadas por termografia e não apresentadas por percussão (Figura 59a). Processo de posterior averiguação confirmaram a presença destas áreas com som cavo.

Igualmente houve casos inversos de áreas detectadas por percussão que não foram mapeadas por termografia que posteriormente foram averiguadas e encontradas nos termogramas (Figura 59b).

Figura 59 – Verificação de área detectadas por termografia e não detectadas por percussão e igualmente área detectada por percussão e posteriormente encontrada por termografia na fachada frontal

Com relação a tecnologia térmica utilizada, a estabilização da imagem térmica permitiu uma melhor visualização e análise dos termogramas. A possibilidade de modificação da amplitude térmica melhora as condições de avaliação e se apresentou ser uma característica importante para o processo de detecção de falhas por termografia.

Assim como já observado na etapa laboratorial, a utilização de câmera com maior resolução térmica permitiu uma melhor visualização da anomalia e estas se apresentaram mais bem delineadas quando comparada a uma câmera de menor resolução térmica. O comparativo entre as duas técnicas apresentou uma convergência de resultados de aproximadamente 45% para o estudo de caso 2. As investigações posteriores confirmaram a presença de áreas mapeadas em locais errados, presença de áreas detectadas por uma das técnicas que não foi confirmada pela outra e confirmada sua presença após verificação, além de grande quantidade de áreas apontadas por termografia e posteriormente confirmadas em nova vistoria

pontual, ainda não detectadas e mapeadas por percussão. Um total de 27 áreas apontadas por termografia e confirmadas *in loco* não foram contempladas por percussão, no qual reforça a possibilidade do aumento da correlação entre as técnicas em investigações mais profundadas neste viés.

6. DIRETRIZ PARA INSPEÇÃO DE FACHADAS ADERIDAS COM TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA EMBARCADA EM DRONE

Após as contribuições obtidas nas etapas laboratoriais, de campo e com estudos de caso, torna-se possível a proposição de protocolo com diretrizes para a aplicação com maior confiabilidade da técnica de termografia para a detecção de patologias em sistemas revestidos com a utilização de drone. A diretriz aqui proposta é dividida em 5 iterações e tem suas bases também fundamentadas nos resultados obtidos após exploração laboratorial e em trabalhos anteriores como o de Entrop e Vasenev (2017). Estes cinco pilares estão associados a iteração dinâmicas entre (Figura 60):

- (i) inspetor/operador e agente solicitante (cliente);
- (ii) drone e local de decolagem e pouso;
- (iii) drone e inspetor/operador;
- (iv) drone e ambiente de voo, e;
- (v) drone e objeto de análise (edifício).

Figura 60 – 5 pilares de iterações dinâmicas principais para o protocolo proposto de inspeção de fachadas aderidas com termografia infravermelha embarcada em drone

O processo de inspeção de fachadas aderidas com utilização da termografia infravermelha se inicia com a interação inspetor/agente solicitante (i), de modo que o profissional de inspeção é acionado pelo responsável da obra ou empreendimento, após constatação da necessidade de inspeção e surgimento de manifestação patológica de descolamento. No primeiro contato é levantada informações sobre o tipo de problema observado e sua gravidade, além das características do edifício mesmo que sem grande rigor técnico. Esta investigação preliminar é um importante procedimento para a compreensão e familiarização com o objeto da inspeção, e tem como propósito trazer subsídios sobre as condições do empreendimento e sua fachada além de permitir avaliar a viabilidade de aplicação ou não da técnica. Obtenção de plantas de elevação e periferia do edifício, informações sobre o tipo de sistema construtivo empregado (concreto armado, estruturas de aço, estruturas mistas, etc) e seu período de execução, tipo de revestimento da fachada, mapeamento de espessura do emboço da fachada ou espessura média executada, composição do sistema de vedação vertical e revestimento, além do período de execução, informações sobre manutenções realizadas, endereço e visualização dos empreendimentos do entorno fazem parte desta compilação de informações preliminares.

Conhecer as necessidades do cliente relacionadas a resultados esperados, se a tecnologia utilizada e suas especificações atendem ao produto final esperado, seja por qualidade de imagens ou se a câmera utilizada permite visualizar o que é procurado, prazos e custos para a realização do procedimento é de suma importância para a obtenção de uma boa solução. O levantamento de informações permitirá avaliar a possibilidade de aplicação da técnica com confiabilidade, bem como estimar os custos atribuídos ao processo de inspeção para a composição de orçamento, por exemplo.

O tipo de sistema de revestimento utilizado e suas especificidades, informações sobre a ocorrência de manifestações patológicas e interface de descolamento darão subsídios sobre a possibilidade de aplicação da técnica. Entender o sistema construtivo empregado colabora para a compreensão dos fenômenos térmicos que possam ser encontrados no momento da inspeção. Para exemplificar, sistemas aderidos revestidos em cerâmica com manifestação de descolamento na interface argamassa colante/placa cerâmica, na qual a profundidade média da falha é em média

de 1 centímetro, permite fácil visualização com aplicação da termografia, como apresenta os resultados da pesquisa, e torna viável a aplicação da técnica para a detecção das áreas descoladas. Uma vez que a interface de descolamento se encontra entre as camadas de emboço e base, é importante conhecer a espessura deste emboço de modo a garantir a possibilidade de visualização das anomalias por termografia. A não averiguação destas condições podem inviabilizar a inspeção ou ainda, caso executada, gerar resultados inconsistentes.

Constatada a possibilidade de aplicação da técnica, as informações coletadas darão apoio para o conhecimento do local de inspeção e consequentemente a iteração do drone com o local de decolagem e pouso, contemplado pela iteração (ii). A planta de periferia do empreendimento possibilitará uma previsão e projeção de plano de voo com compreensão dos possíveis locais seguros para procedimento de pouso e decolagem para as respectivas fachadas do objeto de estudo. É sugerido que seja realizado o procedimento de inspeção de uma fachada por vez de forma que seja escolhido um local de decolagem e pouso para cada fachada e que neste local seja possível constante visualização entre o drone e operador (Figura 61). É importante evitar que exista algum obstáculo entre o local de pouso e o drone para que no instante do voo, caso o drone entre em modo automático de retorno para seu local de decolagem, por qualquer que seja o motivo, não exponha a aeronave a situação de risco de colisão, ainda que esta seja equipada com sensores de colisão. Nesta iteração são estimados os riscos referentes ao processo de inspeção de modo a garantir segurança tanto para o processo, os envolvidos e o equipamento.

Figura 61 – Inspeção de uma face do empreendimento por vez com o intuito de garantir maior segurança de voo

Uma vez chegado no local da inspeção, as áreas antes estudadas devem ser validadas com relação a real condição do local de voo. Locais estratégicos para posicionamento do operador no momento da inspeção e locais com disposição de tomadas para carregamento do controle e baterias devem ser estudados e se apresentarem disponíveis no momento da inspeção. É importante assegurar área de decolagem e pouso de ao menos 9 m² frente a cada fachada do empreendimento (Figura 62). É fundamental que o drone seja posicionado para decolagem em local plano e regular de modo a evitar instabilidades no momento da decolagem.

Recomenda-se averiguar a possibilidade de colisão com objetos adjacentes como árvores, paredes, elementos da fachada, dentre outros; de modo a garantir visualização da aeronave em todo o processo de inspeção, assim como garantir que não ocasione acidente com a aeronave ou ainda a terceiros, sejam eles pessoas ou bens materiais, em caso de falha de comunicação com o drone ou queda do equipamento. A observação, através dos projetos da elevação fachada e fotos do edifício, de detalhes arquitetônicos da fachada colabora para a avaliação de obstáculos que possam impossibilitar a inspeção.

Seguro para terceiros, autorização para voo em propriedade privada e autorização com localização de voo junto ao DECEA são imprescindíveis e fazem

parte da coletânea de documentos necessários para a legalização de voos para inspeções profissionais e devem ser preparados antes da realização dos voos, conforme apresentado no capítulo 3.2.1 sobre legislações e regulamentos.

Figura 62 – Assegurar boas condições de decolagem e pouso após averiguação da possibilidade de colisão com objetos adjacentes. Sugere-se área de ao menos 9m² para decolagem e pouso

Uma vez atendidos estes procedimentos, é recomendado que seja realizado voo teste para avaliar a segurança operacional além de averiguar a altura máxima dos objetos do entorno de modo que seja configurada uma altura de retorno automático maior que destes objetos, caso seja necessário o acionamento desta função. Neste momento é possível planejar locais secundários na necessidade de pousos emergenciais.

A terceiro pilar da diretriz se dá pela iteração entre o operador e a aeronave (iii). Averiguação da qualidade da bateria, certificação de seu funcionamento e carregamento fazem parte desta iteração. Certifique-se de que as hélices estão corretamente acopladas e que todos os componentes da aeronave se apresentam intactos e sem danos. Acione o equipamento e realize uma averiguação das condições de comunicação e controle do drone. Assegure-se de que o cartão de memória esteja em correto funcionamento e com memória disponível para o procedimento.

Garantida as condições especificadas para o preparo de voo com segurança, é realizada a decolagem. No instante do voo, é indispensável atenção constante aos indicadores de sinal de comunicação com a aeronave, sinal de GPS, percentual de bateria do rádio comunicador e drone, velocidade vertical, altura e distância de voo. O percurso a ser percorrido pelo drone para a realização da inspeção deve ser analisado e levado em consideração a autonomia da aeronave. Demais voos podem ser estudados para garantia de voo seguro no processo de inspeção.

Ao mesmo instante que a atenção do operador se encontra voltada para um bom desempenho da iteração (iii) é preciso garantir segurança com relação a quarta iteração (iv) que se dá entre o drone e o ambiente de voo. Nesta é observada a possibilidade de colisão com qualquer objeto do entorno, direção e velocidade do vento ou até presença de aves que possam comprometer a segurança do equipamento. Sugere-se aqui a observação e conhecimento sobre a capacidade de operação mediante a incidência de ventos do drone utilizado conforme especificado pelo fabricante. Uma vez que as inspeções de fachada são realizadas muito próximas do edifício, recomenda-se não sobrevoar em dias com condições de vento acima da escala de Beaufort de classe 4, designada de brisa moderada e velocidade do vento entre 20 a 28 Km/h (5,5 a 7,9 m/s) e, portanto, abaixo dos 50% da tolerância permitida pelos fabricantes de drone.

É no quinto pilar, que se dá pela iteração entre drone e objeto de análise (v), mais especificamente a fachada revestida do empreendimento, que as características termográficas devem ser levadas em consideração. Para a aplicação da técnica de termografia infravermelha para a detecção de destacamento em fachadas é indispensável boas condições meteorológicas. Propõe-se aqui a aplicação da técnica impreterivelmente em dias ensolarados, com preferência daqueles com capa de nuvem de até 30% e grande amplitude térmica entre as temperaturas máximas e mínimas do dia de modo a garantir desempenho máximo possível para a técnica. Estas características possibilitam a incidência solar sobre o sistema revestido de modo a garantir fluxo térmico necessário para evidenciar determinada manifestação patológica que possa estar presente através das diferenças das pontes térmicas. Dias ensolarados e com baixas porcentagem de capa de nuvem garantem que estas não impeçam a incidência solar sobre a fachada e gere sombras que possam impedir o fluxo térmico procurado.

Em caso de chuva sobre o objeto de análise, recomenda-se a realização da inspeção térmica após 48 horas. Conforme antes observado, a presença de água pode trazer equívocos para a avaliação dos termogramas e imprecisão para o processo.

Para otimizar a aplicação da técnica após o processo de aquecimento da fachada pelo sol, propõe-se que a inspeção se inicie pela fachada do empreendimento com posicionamento cardeal Leste, logo ao início da manhã, em horários entre as 8 e 10h da manhã (Figura 63a), seguindo posteriormente para a fachada orientada para a posição cardeal norte, na qual pode ser inspecionada no período entre 09h e 12h (Figura 63b). Por fim, é proposta a inspeção da fachada com orientação Oeste após a incidência solar geralmente iniciada por volta das 13/14h (Figura 63d) e para finalizar a fachada Sul, com baixa incidência. Tendo em vista a baixa ou quase nenhuma incidência solar das fachadas de face Sul, sugere-se que essas sejam inspecionadas duas vezes, uma ao início da manhã e novamente após a inspeção da fachada Oeste, como antes sugerido (Figura 63c e Figura 63e). A variação térmica ambiental pode colaborar para a visualização de falhas nesta face da fachada e duas inspeções podem otimizar o processo de detecção prejudicado pela falta de incidência solar. Estas condições de proposição de horários se apresentaram relevantes para as condições climáticas da Cidade de São Paulo, local onde os estudos foram desenvolvidos.

Não somente as condições climáticas têm sua relevância, mas também questões relacionadas a captura dos dados no momento da inspeção exigem seus cuidados. A garantia do enquadramento do objeto de análise no momento da inspeção, além da precaução para que os dados contemplem tudo aquilo que deseja ser posteriormente analisado é vital, uma vez que após realizada a inspeção *in loco* e as análises realizadas fora do empreendimento, inviabiliza o retorno caso alguma área necessite de nova inspeção.

A distância de análise entre o drone e a fachada deve ser assegurada, uma vez que elevadas distâncias podem trazer prejuízos para a análise por termografia e distâncias muito próximas gerar risco de colisão da aeronave. Sugere-se aqui distância de análise entre 5 e 10 metros.

A amplitude térmica para a termografia deve ser constantemente monitorada em vista que algumas tecnologias de câmeras termográficas não permitem ajuste da amplitude térmica após a captura dos dados. Negligenciar este procedimento pode mascarar a presença de anomalias térmicas e impossibilitar a visualização de áreas com a presença de falhas, afetando a confiabilidade da técnica.

Movimentos bruscos no drone podem trazer prejuízos para a qualidade das imagens capturadas, altas velocidades podem impedir a visualização clara do objeto de análise e impossibilitar a avaliação.

Figura 63 – Proposição de sequência de inspeção das fachadas com suas respectivas orientações cardeais e seus respectivos intervalos ideais de inspeção

Para finalizar, o protocolo e seus respectivos pilares de iteração dinâmica é compilado e apresentado na Tabela 31 com a presença dos principais e mais relevantes cuidados que devem ser levados em consideração no momento da inspeção.

Tabela 31 – Protocolo proposto com os respectivos 5 pilares de interação dinâmica para a inspeção de fachadas revestidas aderidas com utilização de termografia infravermelha embarcada em drone

(i) Interação dinâmica entre o inspetor/operador e agente solicitante	
a)	Compreender a demanda do solicitante
b)	Levantar subsídios preliminares sobre o problema relatado e sua gravidade e, portanto, fazer uma anamnese do caso
c)	Estudar a viabilidade da aplicação da técnica e alinhar os resultados esperados com as expectativas do solicitante
d)	Solicitar documentação técnica sobre o objeto de estudo: arquivos de projetos, histórico do empreendimento, bem como autorização formal para a realização do processo de inspeção e voo no local com anuência dos moradores em caso de empreendimento habitado, dentre outras informações que possam colaborar para a elaboração do plano de voo
e)	Requisitar autorização para inspeção junto aos órgãos regulamentadores (ANAC, DECEA, etc)
(ii) Interação dinâmica entre o drone e local de decolagem e pouso	
a)	Estar munido de toda documentação necessária para um voo regulamentado
b)	Elaborar plano de voo previamente, seguindo as diretrizes propostas, levando em consideração pontos isolados de decolagem e pouso para cada fachada além de sequência de voo estabelecida conforme as orientações cardeais propostas
c)	Considerar locais secundários disponíveis para pouso em situações de emergência
d)	Confirmar o plano de voo <i>in loco</i> , além de observar a existência de objetos antes não previstos que possam ocasionar acidentes
e)	Determinar locais para posicionamento seguro do operador no momento da inspeção, assim como local seguro para carregamento das baterias e alocação dos equipamentos
f)	Realizar voo teste e averiguar a segurança operacional do voo
(iii) Interação dinâmica entre o drone e inspetor/operador	
a)	Verificar constantemente os indicadores do drone: bateria, GPS, sinais, comunicação, etc
b)	Apurar a autonomia do drone para o procedimento previsto
c)	Garantir pilotagem segura, ou seja, sem movimentos bruscos ou elevadas velocidade
d)	Assegurar qualidade de voo para uma boa captura dos dados para análise
(iv) Interação dinâmica entre o drone e ambiente de voo	
a)	Examinar constantemente o surgimento de objetos adjacentes e avaliar a possibilidade de colisão
b)	Considerar direção e velocidade do vento
c)	Aferir possibilidade de chuva e raios
(v) Interação dinâmica entre o drone e objeto de análise (edifício)	
a)	Examinar a existência de condições meteorológicas propícias para a aplicação precisa da técnica
b)	Garantir enquadramento e foco das imagens capturadas de modo que o objeto de análise possa ser posteriormente avaliado em sua totalidade
c)	Atentar-se com relação a distância entre o drone e o objeto de análise de modo a não prejudicar a precisão da avaliação por termografia
d)	Certificar-se constantemente dos corretos ajustes da termografia infravermelha: amplitude térmica, emissividade, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, etc
e)	Aferir a correta gravação de todo o material de análise antes da finalização da inspeção

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa aqui fundamentada buscou apresentar a possibilidade do uso da termografia infravermelha embarcada em drone como ferramenta para a inspeção e detecção de manifestações patológicas em sistemas aderidos de fachadas. Neste contexto grandes dúvidas se apresentavam sobre a confiabilidade da técnica para esta aplicação, quais os cuidados devem ser tomados para a correta aplicação, a necessidade de procedimentos fundamentados para a obtenção de um melhor aproveitamento da técnica, dificuldades sobre a compreensão das limitações da técnica para este campo de aplicação, quais os caminhos a seguir para uma aplicação embarcada em drone, procedimentos para tornar isto possível, dentre diversas outras indagações.

Assim, a pesquisa se dividiu em três etapas de caráter exploratórias com a finalidade de trazer novos subsídios para a compreensão técnico científica da ferramenta aplicada para este escopo. Estas etapas se dividem em laboratorial aplicada em ambiente interno com condições climáticas estáveis, etapa de campo com condições climáticas naturais e, por fim, uma etapa de estudos de casos.

Na etapa laboratorial foram avaliados sistemas revestidos com simulação de falhas em diferentes dimensões e profundidades. Estas falhas foram revestidas com sistemas aderidos compostos por placas cerâmicas de cores claras e escuras, superfícies rugosa e lisa e posteriormente avaliadas em diferentes distâncias e câmeras. Os resultados encontrados demonstraram maior sensibilidade na detecção de pequenas variações térmicas assim como melhor detecção de pequenas falhas simuladas em profundidades acima de 4 centímetros com relação a superfície para câmeras de maior resolução térmica e menor IFOV. Além de menores erros relativos quando comparados com os erros relativos encontrados com a câmera de maior IFOV, quando confrontados os tamanhos encontrados por termografia com os tamanhos reais das falhas induzidas.

As falhas simuladas com 1 centímetro de profundidade e, portanto, inseridas na interface argamassa colante/placa cerâmica se mostraram fáceis de serem detectadas, para ambas as câmeras avaliadas desde que ocorra uma variação

térmica ambiental e que isto promova uma modificação da temperatura superficial do objeto de análise.

Variações térmicas superficiais acima de 20°C se apresentaram suficiente para a detecção de falhas em maiores profundidades. Em abordagem ativa foram possíveis detectar falhas até a profundidade de 8cm quando induzidas temperaturas superficiais acima de 40/45°C. Falhas de 10x10cm apresentaram maior erro relativo que àquelas nas dimensões de 20x20cm e 30x30cm simuladas. Maiores erros relativos foram encontrados com o aumento da profundidade, apresentando ser detectadas áreas menores que as reais simuladas através da termografia infravermelha.

Quando comparadas superfícies claras e escuras, os resultados referentes ao protótipo em superfície clara avaliado em etapa laboratorial se mostraram suscetíveis a detecção de maior quantidade de falhas se comparado ao protótipo com superfície em cor escura. As placas com superfície rugosa apresentaram maior possibilidade de detecção quando comparadas àquelas de superfície lisa para ambas as câmeras estudadas.

Na etapa de campo, foram avaliados protótipos submetidos a dia ensolarado e dia nublado. Dentre os resultados é observado que a variação térmica do ambiente já se mostra suficiente para a detecção de falhas com profundidade até 4cm, para os protótipos avaliados. Em dia ensolarado, os resultados mostraram que a incidência solar sobre a superfície dos protótipos exerce influência tanto na temperatura do ambiente a qual os protótipos estão inseridos quanto exerce influência para a temperatura superficial destes e acelera o processo de visualização de falhas mais profundas, da mesma maneira que antes constatado na etapa laboratorial com indução de calor artificial. Neste sentido, os resultados demonstram maior possibilidade de detecção de falhas nos sistemas aderidos em dias ensolarados nos quais devem ser garantido amplitude térmica no decorrer do dia para a garantia de troca de calor com o objeto de análise e consequentemente maior possibilidade de detecção de falhas. Não se recomenda aplicação da técnica em dias nublados e após chuva pois condições como essas não permitem extrair maior confiabilidade dos resultados de detecção.

Os resultados da etapa de campo demonstraram que o período com maior quantidade de falhas detectadas se encontra entre as 9h até as 16h da tarde seja para

o dia ensolarado quanto para o dia nublado analisado. A superfície escura tornou mais fácil a detecção de falhas simuladas.

Avaliação dos protótipos confeccionados em laboratório submetidos a avaliação pela técnica de detecção por termografia infravermelha e por percussão demonstraram uma maior probabilidade de detecção destas falhas por termografia. Não apenas detectar maior quantidade de falhas induzidas, àquelas detectadas por termografia se apresentaram com média de erro relativo menor que àquelas presentes pelas áreas delimitadas por percussão.

Neste sentido, a termografia infravermelha aplicada conforme metodologia apresenta, seja na etapa de campo ou laboratorial, se mostrou adequada e apresentou suas vantagens para a detecção de falhas induzidas nos sistemas revestidos aderidos propostos, quando atendido critérios de garantia da indução de fluxo térmico, troca de calor com o ambiente e aumento da temperatura superficial possibilitou fornecer mais informações que uma inspeção visual.

Os resultados obtidos nas etapas laboratorial e de campo trouxeram relevantes subsídios para o desenvolvimento de um protocolo para a aplicação da termografia embarcada em drone para a detecção de destacamento em fachadas. Com estes resultados foram possíveis observar as diferenças relativas à utilização de câmeras térmicas de maior e menor IFOV, como a possibilidade de maior sensibilidade para a detecção de menores variações térmicas associadas a falhas mais profundas para as câmeras de menor IFOV. Possibilitou ainda, trazer subsídios sobre a segurança para a operação de drone no intervalo de distância entre 5 e 10 metros com relação a fachada de modo a garantir segurança no processo de inspeção, voo e garantindo menor influência da distância de análise para a detecção de falhas conforme contatado na etapa laboratorial. Para aplicações de câmeras térmicas embarcadas em drones, sugere-se observação e conhecimento sobre a capacidade de operação do drone utilizado, mediante a incidência de ventos, conforme especificado pelo fabricante. Uma vez que as inspeções de fachada são realizadas muito próximas do edifício, recomenda-se não sobrevoar em dias com condições de vento acima da escala de Beaufort de classe 4, designada de brisa moderada e velocidade do vento entre 20 a 28 Km/h (5,5 a 7,9 m/s) e, portanto, abaixo dos 50% da tolerância permitida pelos fabricantes de drone. Os estudos de casos foram compostos por torres e tecnologias distintas de modo a alcançar o máximo de informações possíveis e tornar

possível uma gama maior de subsídios sobre a proposição da técnica escopo da pesquisa.

Por fim, uma vez que a aplicação de termografia aplicada em drone se apresentou ser um procedimento muito dinâmico, é proposto protocolo no qual é dividido em 5 pilares de iterações dinâmicas que estão constantemente se relacionando no instante da inspeção e tem suas específicas características a serem analisadas e seus respectivos cuidados a serem tomados na execução da técnica. As diretrizes apresentadas neste protocolo se apresentaram bastante consistentes quando aplicadas em casos reais e sofreram adequações até chegar no produto apresentado no capítulo 6 deste trabalho.

A aplicação da termografia com gravação de vídeo, na qual deixa de lado o processo de captura de termogramas se apresentou muito mais produtivo e relevante para o processo de inspeção e contempla uma das proposições da pesquisa. Uma vez que se utiliza a análise por vídeo, é possível diagnosticar com maior precisão o comportamento térmico da superfície de análise e distinguir de maneira mais efetiva interferências térmicas como reflexos relacionados a objetos adjacentes. O processo de gravação de vídeo não impede a captura de *frames* para composição de relatórios e análise de termogramas isolados, uma vez que este vídeo seja gravado em extensão de arquivo “.SEQ”.

Para concluir, é proposto modelo no qual a técnica de inspeção de destacamento em revestimentos aderidos de fachada tem sua confiabilidade apoiada em 4 pilares principais: (i) tecnologia utilizada, (ii) inspetor (termografista); (iii) termografia e (iv) procedimento de inspeção (Figura 64).

No modelo, o pilar tecnologia exerce grande importância ao fato de determinadas tecnologias de termografia não serem apropriadas para a aplicação em determinados casos de aplicação. Demandas com necessidade de detecção de pequenas áreas quando utiliza de aplicação de câmeras com alto IFOV podem trazer inconsistências para os resultados obtidos. Quando embarcada em drone, a tecnologia tem que atender a questões relacionadas a comunicação instantânea com o operador e ser passível de ajustes no momento da inspeção. A estabilização do equipamento quando embarcada em drone se mostrou um diferencial para o processo de análises por termografia.

O pilar inspetor/termografista é imprescindível para a confiabilidade da técnica pois este irá classificar as áreas que apresentam alguma anomalia térmica associada a alguma manifestação patologia e isto demanda relativa expertise por parte do analista. A experiência em analisar termogramas é imprescindível para a obtenção de diagnósticos e de resultados consistentes e garantir a confiabilidade do mapeamento por termografia infravermelha.

Não menos importante, conhecer dos princípios da termografia e como ela irá se comportar mediante a aplicação e análise de objetos de estudo específicos é crucial para entender o perfil térmico procurado no momento da inspeção. Entender como o objeto alvo irá se comportar quando inspecionado por termografia e a sua influência mediante as condições climáticas irá trazer maior confiabilidade sobre como classificar as anomalias térmicas encontradas.

Outro pilar que sustenta o modelo de confiabilidade para a aplicação da técnica é ter um procedimento de inspeção fundamentando. O protocolo proposto por esta pesquisa tem suas diretrizes fundamentadas nas contribuições antes apresentadas e nos resultados obtidos em todas as etapas de estudo proposta. A utilização do protocolo se apresentou bem eficiente e suas premissas buscam o aproveitamento máximo para a detecção de anomalias e, portanto, contempla uma das bases para a correta aplicação da técnica.

Uma vez atendidas as características e diretrizes presentes nestes 4 pilares de modo a garantir maior confiabilidade para a aplicação da termografia, a técnica quando embarcada em drone se apresentou bastante útil para a detecção de falhas em sistemas aderidos.

Figura 64 – Proposição de modelo de confiabilidade para a aplicação da técnica de termografia infravermelha para a detecção de destacamento sistemas revestidos aderidos

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros aconselha-se que sejam exploradas simulações de falhas com tamanhos maiores de modo a testar a hipótese da detecção de falhas maiores em profundidades maiores que às aquelas aqui estudadas. Neste mesmo escopo, analisar se falhas maiores podem ser detectadas em profundidades além daquelas aqui detectadas pelo processo de percussão. Dado o fato de a técnica de percussão não detectar as falhas acima da profundidade de 4 cm e da possível que falhas em tamanhos maiores que 30x30 possam ser observadas a presença de som cavo.

Os resultados obtidos com a comparação entre a técnica de detecção por percussão e a térmica mostraram que a metodologia aqui proposta para a comparação entre as duas técnicas não seja a mais adequada e não possibilitou concluir com grande exatidão o potencial da técnica por termografia em campo conforme potencial constatado em laboratório, após divergências entre algumas áreas detectadas e as averiguações que apontaram a presença de equívocos no processo de mapeamento. Sugere-se, portanto, que invés de se realizar os dois mapeamentos

em paralelo e uma posterior comparação sem a interferência um do outro, seja mais efetivo que a validação da técnica por termografia em campo se dê pelo mapeamento por termografia com posterior validação dos pontos mapeados por percussão.

Este procedimento, utilizado apenas após a comparação dos resultados nesta pesquisa se mostrou bastante eficiente, porém, por questões de tempo e disponibilidade das obras, não foram possíveis realizar novos mapeamentos por percussão com o intuito de validação as áreas mapeadas por termografia. Acredita-se que os resultados sejam bastante otimistas ao seguir estas novas métricas.

Todavia, este campo de aplicação da técnica em ambiente real com o objetivo de tornar o mapeamento por termografia cada vez mais confiável e factível de aplicação precisa ser constantemente estudado. A aplicação da metodologia e das diretrizes desenvolvidas em mais estudos de caso propiciarão a disseminação da ferramenta.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABENDI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO. **Web site**. 2019. Disponível em: <http://www.abendi.org.br/abendi/>. Acesso em: 16 jan. 2019.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13753: Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento**Rio de Janeiro, 1996. a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13754: Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento**Rio de Janeiro, 1996. b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14992: A.R. - Argamassa à base de cimento portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios**Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15718: Ensaios não destrutivos - Termografia - Guia para verificação de termovisores**Rio de Janeiro, 2009. a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15763: Ensaios não destrutivos - Termografia - Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência**Rio de Janeiro, 2009. b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15866: Ensaio não destrutivo - Termografia - Metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos**Rio de Janeiro, 2010.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674: Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**Rio de Janeiro, 2012. a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081-1: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 1: Requisitos**Rio de Janeiro, 2012. b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**.Rio de

Janeiro, 2013. a. DOI: 01.080.10; 13.220.99.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15572: Ensaio não destrutivo - Termografia - Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos**. Rio de Janeiro, 2013. b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento** Rio de Janeiro, 2014. a.

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

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

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16554: Ensaio não destrutivo - Termografia - Medição e compensação da transmitância de um meio atenuante utilizando câmeras termográficas**. Rio de Janeiro, 2016. c.

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

ALTOÉ, Leandra; FILHO, Delly Oliveira. Termografia infravermelha aplicada à inspeção de edifícios. **Acta Tecnológica**, São Luís, v. 7, p. 55–59, 2012.

ANFACER - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS. **Manual setorial de desempenho**. São Paulo.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Projeto de Lei nº 869, de 2016. Institui a Política Estadual de Inspeção Predial e a obrigatoriedade de inspeção periódica nas edificações no Estado de São Paulo. Estado de São Paulo.,

2016.

AVDELIDIS, N. P.; MOROPOULOU, A. Emissivity considerations in building thermography. **Energy and Buildings**, Bath and Greece, v. 35, n. 7, p. 663–667, 2003.

DOI: 10.1016/S0378-7788(02)00210-4. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778802002104>.

AZENHA, Miguel; FARIA, Rui; FIGUEIRAS, Helena. Thermography as a technique for monitoring early age temperatures of hardening concrete. **Construction and Building Materials**, Porto, Portugal, v. 25, n. 11, p. 4232–4240, 2011. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.04.065. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.065>.

BARREIRA, Eva; ALMEIDA, Ricardo M. S. F.; FERREIRA, João P. B. Assessing the humidification process of lightweight concrete specimens through infrared thermography. **Energy Procedia**, [S. l.], v. 132, p. 213–218, 2017. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.09.757. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.757>.

BARREIRA, Eva; BAUER, Elton; MUSTELIER, N.; V.P., Freitas. Measurement of materials emissivity – Influence of the procedure. **13th International Workshop on Advanced Infrared Technology & Applications**, [S. l.], n. Setembro, p. 242–245, 2015.

BARREIRA, Eva; DE FREITAS, Vasco P. Evaluation of building materials using infrared thermography. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 218–224, 2007. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2005.06.049. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061805002138>.

BARREIRA, Eva Sofia Botelho Machado. **Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrotérmico dos Edifícios**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção de Edifícios) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2004.

BAUER, Elton; DE FREITAS, Vasco Peixoto; MUSTELIER, Niubis; BARREIRA, Eva; DE FREITAS, Sara Stingl. Infrared thermography – evaluation of the results reproducibility. **Structural Survey**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 20–35, 2015. DOI: 10.1108/SS-05-2014-0021. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/SS-05-2014-0021>.

BAUER, Elton; MILHOMEM, Patrícia Mota; AIDAR, Luiz Augusto Gimenez. Evaluating the damage degree of cracking in facades using infrared thermography. **Journal of Civil Structural Health Monitoring**, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 517–528, 2018. DOI: 10.1007/s13349-018-0289-0. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13349-018-0289-0>.

BAUER, Elton; PAVÓN, Elier; Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios. **Concreto & Construção**, Brasília, v. 79, p. 93–98, 2015.

BAURU. Prefeitura Municipal de Bauru. **Lei Municipal nº 4.444, de 21 de setembro de 1999. Torna obrigatório o Laudo Técnico de Regularidade das Edificações no Município, com mais de três andares**, Estado de São Paulo, 1999. Disponível em: https://sapl.bauru.sp.leg.br/sapl_documentos/norma_juridica/4618_texto_integral.pdf.

BITTENCOURT, Sérgio M.; SILVA, Francisco A. G. Comportamento da temperatura de fachadas confrontantes de edifícios e sua contribuição para a formação de ilhas de calor. Ouro Preto, Brazil, n. 1, p. 230–239, 2007.

BRIQUE, Samara Katyana. **Emprego da Termografia infravermelha no diagnóstico de falhas de aderência de peças cerâmicas utilizadas em fachadas de edifícios**. 2016. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2016.

CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de materiais: Uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CAMPANTE, E. F.; SABBATINI, F. H. Durabilidade dos revestimentos cerâmicos de fachada e sua influência na qualidade e segurança das edificações. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU, 2000 2000, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo

CAMPANTE, Edmilson Freitas. **Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada**. 2001. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

CBIC - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Entrevista: Desplacamento cerâmico - Construção civil defende rápida resolução**. 2019. Disponível em: <https://cbic.org.br/entrevista-desplacamento-ceramico-construcao-civil-defende-rapida-resolucao/>. Acesso em: 24 out. 2019.

ANDRADE, R. P. – *Uso da termografia infravermelha embarcada em drone como ferramenta para a inspeção de patologias em revestimentos aderidos de fachada*

CEOTTO, Luiz Henrique; BANDUK, Ragueb C.; NAKAKURA, Elza Hissae. **Revestimentos de Argamassas: boas práticas em projeto, execução e avaliação**. Porto Alegre: ANTAC, 2005, 2005. v. 1 Disponível em: http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/capitulos_rt_1.pdf.

CIOCIA, C.; MARINETTI, S. In-situ emissivity measurement of construction materials. *In: PROCEEDINGS OF THE 2012 INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUANTITATIVE INFRARED THERMOGRAPHY 2012, Italy. Anais [...]. Italy: QIRT Council, 2012. p. 1–7. DOI: 10.21611/qirt.2012.168. Disponível em: <http://qirt.org/archives/qirt2012doi/papers/QIRT-2012-168.pdf>.*

DE FREITAS, Sara S.; DE FREITAS, Vasco P.; BARREIRA, Eva. Detection of façade plaster detachments using infrared thermography – A nondestructive technique. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 70, p. 80–87, 2014. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.07.094. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.094>.

EDIS, Ecem; FLORES-COLEN, Inês; DE BRITO, Jorge. Passive thermographic detection of moisture problems in façades with adhered ceramic cladding. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 51, p. 187–197, 2014. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.10.085. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.085>.

ENTROP, A. G.; VASENEV, A. Infrared drones in the construction industry: designing a protocol for building thermography procedures. **Energy Procedia**, The Netherlands, v. 132, p. 63–68, 2017. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.09.636. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.636>.

FLIR SYSTEMS. **User's manual FLIR i3 FLIR i5 FLIR i7 Extech IRC30English** Parkway - USA, 2010.

FLIR SYSTEMS. **Manual do utilizador: Flir Tools/Tools +**. Wilsonville - USA, 2013. Disponível em: https://flir-br.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/1631/~tutoriais-para-flir-tools-e-tools%2B/session/L2F2LzEvdGltZS8xNTU5NjYxMzMzL3NpZC9mVXJmMkJ0c0FubjJCM21uU2p4RExDMmk5V2ZSSEVkrFA5U3pPb2p3bEJkQUh3VTJVCmhXOWtoSVRZM3doQ3k5OF80Y0VLJTdFZmJnSmVpRFB4eGtJc0.

FLIR SYSTEMS. **Infrared Camera Accuracy and Uncertainty in Plain**

Language | FLIR Systems. 2016. Disponível em: <https://www.flir.com.br/discover/rd-science/infrared-camera-accuracy-and-uncertainty-in-plain-language/>. Acesso em: 22 nov. 2018.

FLIR SYSTEMS. **Web Page FLIR.** 2019a. Disponível em: <https://www.flir.com.br/>. Acesso em: 27 dez. 2018.

FLIR SYSTEMS. **Câmera termográfica de classificação profissional: FLIR ONE Pro.** 2019b. Disponível em: <https://www.flir.com.br/products/flir-one-pro/>. Acesso em: 18 mar. 2019.

FLIR SYSTEMS. **Câmera termográfica de classificação profissional: FLIR T-420.** 2019c. Disponível em: <https://www.flir-direct.com/product/flir-t420-infrared-camera>. Acesso em: 18 mar. 2019.

FLUKE CORPORATION. Thermography education series. **World Pumps,** Netherlands - USA, n. 397, p. 95, 2005. DOI: 10.1016/S0262-1762(99)90834-9. Disponível em: https://assets.tequipment.net/assets/1/26/Documents/thermalapplication_education-series.pdf.

FOLHA SP. **Parte da tela de proteção que cobre edifício Copan cai após ventania.** 2015. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2015/01/1569770-parte-da-tela-de-protecao-que-cobre-edificio-copan-cai-apos-ventania.shtml>. Acesso em: 23 ago. 2018.

FREITAS, Juliana Gomes De; CARASEK, Helena; CASCUDO, Oswaldo. Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura. **Ambiente Construído**, Goiânia, Brasil, v. 14, n. 1, p. 57–73, 2014. DOI: 10.1590/S1678-86212014000100006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000100006&lng=pt&tlng=pt.

G1. **Parte de fachada de prédio desaba e atinge carros estacionados em SP.** 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/parte-de-fachada-de-predio-desaba-e-atinge-carros-estacionados-em-sp.ghtml>. Acesso em: 23 ago. 2018.

GAIL. **Produtos linha revestimentos.** 2019. Disponível em: <http://www.gail.com.br/site/Produtos/Detalhes/1/64/867>. Acesso em: 23 fev. 2019.

ANDRADE, R. P. – *Uso da termografia infravermelha embarcada em drone como ferramenta para a inspeção de patologias em revestimentos aderidos de fachada*

GALLETTO, Adriana; ANDRELLO, José Mario. Patologia em fachadas com revestimentos cerâmicos. **IX International Congress on Pathology and Repair of Structures - CINPAR 2013**, João Pessoa, Brasil, 2013.

HIASA, Shuhei; BIRGUL, Recep; CATBAS, F. Necati. Investigation of effective utilization of infrared thermography (IRT) through advanced finite element modeling. **Construction and Building Materials**, Orlando and Osaka, USA and Japan, v. 150, p. 295–309, 2017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.175. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.175>.

IBAPE/SP - INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO. **Glossário de terminologia básica aplicável à engenharia de avaliações e perícias do IBAPESP**São Paulo, 2002.

IBAPE/SP - INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO. **Norma de Inspeção Predial Nacional**São Paulo, 2012.

INFRARED TRAINING CENTER - ITC. **Thermography Level 1 Course Manual**. Sorocaba, São Paulo.

ISRAEL, Marcus Coimbra. **Ensaios não destrutivos aplicados à avaliação de revestimentos de argamassa**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. DOI: 10.11606/D.3.2016.tde-15072016-150954. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-15072016-150954/pt-br.php>.

JUNDIAÍ. Prefeitura municipal de Jundiaí. **Lei Complementar nº 261, de 16 de novembro de 1999. Prevê vistoria de edificações com área construída igual ou superior a 750m²**, Estado de São Paulo, 1998.

JUST, Angelo; FRANCO, Luiz Sérgio. **Descolamentos dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do recife**. 2001. Boletim Técnico BT/PCC/285. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

KILIC, Gokhan. Using advanced NDT for historic buildings: Towards an integrated multidisciplinary health assessment strategy. **Journal of Cultural Heritage**, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 526–535, 2015. DOI: 10.1016/j.culher.2014.09.010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2014.09.010>.

KORDATOS, E. Z.; EXARCHOS, D. A.; STAVRAKOS, C.; MOROPOULOU, A.; MATIKAS, T. E. Infrared thermographic inspection of murals and characterization of degradation in historic monuments. **Construction and Building Materials**, Greece, v. 48, p. 1261–1265, 2013. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.06.062. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.062>.

KYLILI, Angeliki; FOKAIDES, Paris A.; CHRISTOU, Petros; KALOGIROU, Soteris A. Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review. **Applied Energy**, [S. l.], v. 134, p. 531–549, 2014. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.08.005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.005>.

LAI, Wallace Wai-Lok; LEE, Ka-Kin; POON, Chi-Sun. Validation of size estimation of debonds in external wall's composite finishes via passive Infrared thermography and a gradient algorithm. **Construction and Building Materials**, Hong Kong, v. 87, n. 130, p. 113–124, 2015. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.03.032. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.032>.

LEHMANN, B.; GHAZI WAKILI, K.; FRANK, Th; VERA COLLADO, B.; TANNER, Ch. Effects of individual climatic parameters on the infrared thermography of buildings. **Applied Energy**, [S. l.], v. 110, p. 29–43, 2013. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.03.066. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.03.066>.

LEIS MUNICIPAIS. **Web Page**. 2019. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/>. Acesso em: 22 maio. 2019.

LICHTENSTEIN, Norberto B. **Patologia das construções** São Paulo. Boletim Técnico 06/86 Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, , 1986.

LORDSLEEM, A. C.; FARO, H. Batista. Descolamento de revestimento de fachada: Estudo de caso. **Revista ALCONPAT**, [S. l.], v. 2, p. 148–159, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.126>.

LOURENÇO, Tomás; MATIAS, Luís; FARIA, Paulina. Anomalies detection in adhesive wall tiling systems by infrared thermography. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 148, p. 419–428, 2017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.052. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061817309455>.

LUCCHI, Elena. Applications of the infrared thermography in the energy audit

of buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 82, n. May 2017, p. 3077–3090, 2018. DOI: 10.1016/j.rser.2017.10.031. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.031>.

MAGALHÃES, Ana Cristian; VEIGA, Maria do Rosário; PINA SANTOS, C.; MATIAS, Luís; VILHENA, António. Methodology for diagnosis of rendering anomalies due to moisture in walls. **Conservar património**, Portugal, n. 7, p. 45–54, 2008.

MARINETTI, Sergio; CESARATTO, Pier Giorgio. Emissivity estimation for accurate quantitative thermography. **NDT & E International**, Padova, v. 51, p. 127–134, 2012. DOI: 10.1016/j.ndteint.2012.06.001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2012.06.001>.

MATEUS, Fábio Jorge Dias. **Termografia em diagnóstico de revestimentos em azulejo**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Aveiro, Aveiro, 2013.

MENEZES, A.; GLÓRIA GOMES, M.; FLORES-COLEN, I. In-situ assessment of physical performance and degradation analysis of rendering walls. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 75, p. 283–292, 2015. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.11.039. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.039>.

MOROPOULOU, Antonia; LABROPOULOS, Kyriakos C.; DELEGOU, Ekaterini T.; KAROGLOU, Maria; BAKOLAS, Asterios. Non-destructive techniques as a tool for the protection of built cultural heritage. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 48, p. 1222–1239, 2013. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.044. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.044>.

NKEXTECH INSTRUMENTS. **Extech MO297: Pinless Moisture Psychrometer with IR Thermometer and Bluetooth METERLink™**. 2019. Disponível em: <http://www.extech.com/resources/MO297data.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2019.

O ESTADO MA. **Ministério Público pede interdição de condomínios no Alto do Calhau**. 2018. Disponível em: <https://imirante.com/oestadoma/noticias/2018/03/20/ministerio-publico-pede-interdicao-de-condominios-no-alto-do-calhau/>. Acesso em: 23 ago. 2018.

OLIVEIRA, Cristiane Sardin Padilla De. **Análise crítica de experiências e**

discussão de estratégias para implantação de leis de inspeção de elementos de fachadas. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana), Porto Alegre, 2013.

PACHECO, C. P.; VIEIRA, G. L. Análise quantitativa e qualitativa da degradação das fachadas com revestimento cerâmico. **Cerâmica**, [S. l.], v. 63, n. 368, p. 432–445, 2017. DOI: 10.1590/0366-69132017633682156. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132017000400432&lng=pt&tlng=pt.

PARROT. **Parrot Bebop-Pro Thermal.** 2019. Disponível em: <https://www.parrot.com/business-solutions-us/parrot-professional/parrot-bebop-pro-thermal>. Acesso em: 16 maio. 2019.

PIERINI REVESTIMENTOS. **Produtos para parede: Marfim descrição.** 2019a. Disponível em: <http://www.pierini.com.br/produtos-detalle/parede-6x25/8>. Acesso em: 26 fev. 2019.

PIERINI REVESTIMENTOS. **Produtos para parede: Imperial descrição.** 2019b. Disponível em: <http://www.pierini.com.br/produtos-detalle/parede-6x25/5>. Acesso em: 23 fev. 2019.

PINHEIRO, João Ismael D.; CARVAJAL, Santiago S. Ramírez; CUNHA, Sonia Baptista Da; GOMES, Gastão Coelho. **Probabilidade e Estatística - Quantificando a incerteza.** Rio de Janeiro: Elsevier, 20122.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Lei Ordinária nº 6.323, de 30 de dezembro de 1988. Estabele critérios para a conservação de elementos nas fachadas dos prédios**, Estado do Rio Grande do Sul, 1988. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/rs/p/porto-alegre/lei-ordinaria/1988/632/6323/lei-ordinaria-n-6323-1988-estabelece-criterios-para-a-conservacao-de-elementos-nas-fachadas-dos-predios>.

RIBEIRÃO PRETO. Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto. **Lei Complementar nº 1669, de 05 de maio de 2004. Estabelece a obrigatoriedade de obtenção da certificação de inspeção predial nas edificações que especifica, sua periodicidade e dá outras providências**, Estado de São Paulo, 2004. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sp/r/ribeirao-preto/lei-complementar/2004/167/1669/lei-complementar-n-1669-2004-estabelece-a->

obrigatoriedade-de-obtencao-da-certificacao-de-inspecao-predial-nas-edificacoes-que-especifica-sua-periodicidade-e-da-outras-provi.

ROCHA, Joaquin Humberto Aquino; PÓVOAS, Yêda Vieira. A termografia infravermelha como um ensaio não destrutivo para a inspeção de pontes de concreto armado: Revisão do estado da arte. **Revista ALCONPAT**, Pernambuco, Brasil, v. 7, n. 3, p. 200, 2017. DOI: 10.21041/ra.v7i3.223. Disponível em: <http://revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/223>.

SÃO VICENTE. Prefeitura Municipal de São Vicente. **Lei Ordinária nº 2854, de 20 de abril de 2012. Estabelece a obrigatoriedade de obtenção da Certificação de Inspeção Predial nas edificações públicas e privadas do Município, e dá outras providências**, Estado de São Paulo, 2012.

SEAWARD. **Web page: Seaward Electrical Safety Testing and Measuring**. 2019. Disponível em: http://www.seawardsolar.com/downloads/solar_survey_irradiance_datasheet_rev3_hi_res_v3..pdf. Acesso em: 21 maio. 2019.

STEFENON, Stéfano Frizzo. **Estudo das técnicas de inspeção de redes de distribuição para identificação e classificação de defeitos em isoladores através do uso do ultrassom**. 2015. Dissertação (mestrado) - Universidade Regional de Blumenau - FURB, Blumenau, 2015.

THEODORAKEAS, Panagiotis; AVDELIDIS, Nicolas P.; CHEILAKOU, Eleni; KOUI, Maria. Quantitative analysis of plastered mosaics by means of active infrared thermography. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 73, p. 417–425, 2014. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.089. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.089>.

USAMENTIAGA, Rubén; VENEGAS, Pablo; GUEREDIAGA, Jon; VEGA, Laura; MOLLEDA, Julio; BULNES, Francisco. Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing. **Sensors**, Spain, v. 14, n. 7, p. 12305–12348, 2014. DOI: 10.3390/s140712305. Disponível em: <http://www.mdpi.com/1424-8220/14/7/12305>.

VEIGA, Edison. **Fachada do Copan será restaurada**. 2015. Disponível em: <https://sao-paulo.estadao.com.br/blogs/edison-veiga/fachada-do-copan-sera-restaurada/>. Acesso em: 23 ago. 2018.

WINNEFELD, Frank; KAUFMANN, Josef; HACK, Erwin; HARZER, Sandy; WETZEL, Alexander; ZURBRIGGEN, Roger. Moisture induced length changes of tile adhesive mortars and their impact on adhesion strength. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 30, p. 426–438, 2012. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.023>.

YANG, Ruizhen; HE, Yunze. Optically and non-optically excited thermography for composites: A review. **Infrared Physics and Technology**, China, v. 75, p. 26–50, 2016. DOI: 10.1016/j.infrared.2015.12.026. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.infrared.2015.12.026>.

A – MÉTODOS DE MEDIÇÃO

A.I Temperatura aparente refletida

A temperatura aparente refletida é medida no local de análise e no momento da captura dos termogramas, neste sentido, método prático denominado de método refletor é encontrado na literatura para se obter este parâmetro e delineado abaixo (ABNT, 2014b; FLIR SYSTEMS, 2010).

Uma folha de alumínio com dimensões aproximadas de 40x40 cm é recortada e depois amassada. Após este procedimento, a bola de papel alumínio é desamassada de modo a obter folha plana novamente, porém com aspecto amarrotado. Com a superfície brilhante para cima, o papel amarrotado é colado sobre uma folha de papel resistente, de cartolina ou papelão por exemplo, para garantir certa rigidez e evitar que a folha de alumínio rasgue precocemente quando utilizada. O formato desta folha rígida deve ser de ao menos A4, com dimensões de 21x29,7 cm (Figura 65a).

O aparato refletor confeccionado é posicionado paralelamente e sobre a superfície de análise (Figura 65b) e posteriormente capturado ao menos três termogramas a curta distância de modo que toda a folha com a superfície metálica com área refletora esteja inteiramente contida nos termogramas capturados (Figura 65c e d). Neste processo, cuidados devem ser tomado com relação a presença de fontes de calor no entorno do ambiente de análise que possam gerar grandes refletâncias através do aparato, como a presença de sol sobre este ou a própria irradiação térmica corporal do operador do termovisor no momento da capturado. Sugere-se a utilização de tripé, conforme ilustrado, e captura após contagem de 10 segundos para a obtenção destes termogramas.

Figura 65 – Ilustração do processo de obtenção da temperatura aparente refletida. (a) aparato refletor; (b) aparato posicionado sobre a superfície de análise; (c) termograma capturado de maneira errada com distância longa do aparato; (d) termograma capturado de maneira correta contendo todo o aparato refletor contido no termograma em curta distância

Em software de análise, é ajustada a distância para 0 metros e emissividade para $\varepsilon = 1,00$. É fixada área de medição retangular interna a área do aparato refletor contida no termograma de modo que a temperatura média desta área é uma medição e a obtenção da temperatura aparente refletida. O mesmo procedimento é feito para ao menos três termogramas e a sua média é a temperatura aparente refletida obtida (Figura 66) (ABNT, 2014b; FLIR SYSTEMS, 2010).

A norma NBR 16292 (2014b) alerta que fontes pontuais de calor como o sol, equipamentos do entorno, ou qualquer objeto com temperatura muito diferente daquela presente na superfície do objeto de análise são difíceis de medir e podem gerar erros para o processo de medição apresentado. Tais adversidades podem ser evitadas alterando sensivelmente a posição e o ângulo da câmera com relação ao aparato refletor. Comenta ainda, que a temperatura aparente refletida pode ser relativamente diferente se comparada entre câmeras com diferente faixa espectral e

sugere que esta esteja relacionada e anexada ao parâmetro no momento da sua obtenção.

Figura 66 – Processo de medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas conforme recomendações expressas na norma brasileira NBR 16292 (2014b) e fabricante Flir Systems (2013)

A.II Emissividade

Assim como a temperatura aparente refletida, a emissividade superficial do material é obtida através de procedimento realizado no momento da avaliação, com terminologia de método da emissividade conhecida. A medição da emissividade superficial se faz com a utilização de fita adesiva isolante, com emissividade conhecida e a própria câmera termográfica. É um método válido para objetos com superfície opaca e tem por objetivo minimizar erros de medição de temperatura relacionados a emissividade das superfícies. Objetos com emissividade superficial menores que 0,5 submetidos a este método estão mais suscetíveis a erros no valor de emissividade medido e, portanto, não é indicado (ABNT, 2016b; AVDELIDIS; MOROPOULOU, 2003; BARREIRA et al., 2015; CIOCIA; MARINETTI, 2012; FLIR SYSTEMS, 2010; MARINETTI; CESARATTO, 2012).

No processo, fita isolante com emissividade conhecida/mensurada é colada sobre a superfície de análise. A norma NBR 16485 (2016b) sugere fitas com emissividade acima de $\varepsilon = 0,90$. Ainda assim, medições de emissividade realizadas em fitas tradicionalmente comercializadas mostraram que estas apresentam emissividade entre 0,85 e 0,95. Neste sentido, foi utilizada fita isolante 3M Scotch 33+

com emissividade de 0,90, com maior emissividade comercialmente encontrada e disponível.

Antes de colar a fita sobre a superfície é importante garantir que a área de análise escolhida e a área de colagem da fita apresentem mesma temperatura, de modo a minimizar erros no processo. Esta aferição pode ser realizada com a utilização da câmera termográfica (Figura 67a e b). Após a colagem é necessário aguardar pequeno período para estabilização da temperatura da fita com a temperatura da superfície na qual a fita se encontra aderida. Após o período esperado, é realizada a captura de um termograma no qual seja possível observar as áreas sobre a superfície da fita e do objeto de análise (Figura 67c). A norma NBR 16485 (2016b) afirma que a exatidão da obtenção do parâmetro pelo processo é maior com o aumento da diferença de temperatura entre a superfície do objeto de análise e a temperatura ambiente, na qual sugere ao menos $\pm 10^{\circ}\text{C}$ de variação térmica entre os dois. O ajuste correto do foco é crucial para a exatidão dos resultados obtidos para qualquer que seja o processo de análise por termografia. Assim como a temperatura aparente refletida, a emissividade pode variar de acordo com a faixa espectral da câmera termográfica, sendo, portanto, necessário o registro desta junto ao valor de emissividade mensurado.

Figura 67 – Processo de medição e compensação da emissividade utilizando câmeras termográficas conforme recomendações expressas na norma brasileira NBR 16485 (2016b) e Infrared Training Center (2018)

Com a utilização do software de tratamento e análise, são colocados os parâmetros de temperatura ambiente, temperatura aparente refletida, umidade relativa do ar e a conhecida emissividade da fita, assumindo distância igual a um metro. Após *input* dos parâmetros medidos no momento da captura, é fixada área de medição média da temperatura sobre a superfície da fita isolante na qual é obtida a temperatura real do objeto em função da emissividade da fita.

Sabido a temperatura do objeto, é fixada nova área para medição de temperatura média sobre a superfície do objeto no qual não se encontra a fita. Nesta nova área a temperatura medida se apresentará diferente devido ser uma superfície com emissividade diferente da superfície medida sobre a fita isolante. São realizados ajustes convergentes e aleatórios na emissividade para esta área fixada de modo que as temperaturas se igualem entre a superfície da fita e do objeto. A emissividade, após os ajustes, que corresponder a mesma temperatura para as duas superfícies é a emissividade do material de análise (Figura 68).

Figura 68 – Processo de medição e compensação da emissividade utilizando câmeras termográficas conforme recomendações expressas na norma brasileira NBR 16485 (2016b) e Infrared Training Center (2018)

B – DETALHAMENTO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA ETAPA DE CAMPO

B.I Etapa de campo – Dia ensolarado

Tabela B. 1 – Tabela comparativa de avaliação qualitativa do protótipo 1, em superfície clara, sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações com a CT320 em dia ensolarado

CT320 (FLIR T-420)												
ANÁLISE QUALITATIVA												
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Clara Fosca - Protótipo 1												
Profundidade (cm)												
Distância (m)	1			4			6			8		
	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
ANS	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
7h	3 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
8h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
9h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
10h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não
11h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
13h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Levemente	Levemente	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não
14h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Levemente	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não
15h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não
16h	3 metros	Levemente	Sim	Sim	Levemente	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Levemente	Levemente	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Sim	Sim	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Sim	Sim	Não	Não	Não
17h	3 metros	Levemente	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
18h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Tabela B. 2 – Tabela comparativa de avaliação qualitativa do protótipo 1, em superfície clara, sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações com a CT160 em dia ensolarado

CT160 (FLIR One Pro)													
ANÁLISE QUALITATIVA													
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Clara Fosca - Protótipo 1													
Profundidade (cm)													
Distância (m)		1			4			6			8		
		30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
ANS	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
7h	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
8h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
9h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
10h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Levemente	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Não	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
11h	3 metros	Levemente	Levemente	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Levemente	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Levemente	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Levemente	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
13h	3 metros	Levemente	Levemente	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
14h	3 metros	Não	Levemente	Não	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
15h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
16h	3 metros	Não	Levemente	Não	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
17h	3 metros	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
18h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Tabela B. 3 – Tabela comparativa de avaliação qualitativa do protótipo 2, em superfície escura, sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações com a CT320 em dia ensolarado

CT320 (FLIR T-420)													
ANÁLISE QUALITATIVA													
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Escura Fosca - Protótipo 2													
Distância (m)	Profundidade (cm)												
	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	10x10 cm
ANS	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
7h	3 metros	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
8h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
9h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
10h	3 metros	Sim	Sim	Levemente	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Levemente	Não	Levemente	Levemente	Não	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não
11h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
13h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não
14h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Sim	Não	Não	Levemente	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
15h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não
16h	3 metros	Sim	Sim	Levemente	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Levemente	Sim	Sim	Levemente	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Levemente	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não
17h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
18h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Tabela B. 4 – Tabela comparativa de avaliação qualitativa do protótipo 2, em superfície escura, sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações com a CT160 em dia ensolarado

CT160 (FLIR One Pro)													
ANÁLISE QUALITATIVA													
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Escura Fosca - Protótipo 2													
Profundidade (cm)													
Distância (m)		1			4			6			8		
		30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
ANS	3 metros	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
7h	3 metros	Levemente	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Levemente	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
8h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
9h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
10h	3 metros	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
11h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
13h	3 metros	Levemente	Levemente	Não	Sim	Levemente	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Levemente	Levemente	Não	Sim	Levemente	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Levemente	Levemente	Não	Sim	Levemente	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Levemente	Não	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
14h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Não	Levemente	Não	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
15h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
16h	3 metros	Levemente	Levemente	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Não	Não	Não	Sim	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Levemente	Não	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Levemente	Não	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
17h	3 metros	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
18h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Tabela B. 5 – Tabela comparativa de avaliação quantitativa do protótipo 4, em superfície clara, sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações com a CT320 em dia ensolarado

CT320 (FLIR T-420)													
ANÁLISE QUANTITATIVA													
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Clara Fosca - Protótipo 4													
Profundidade (cm)													
	Distância (m)	1			4			6			8		
		30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
ANS	3 metros	21,8%	19,4%	32,0%	19,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	8,2%	5,9%	12,2%	14,9%	10,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	13,9%	16,1%	43,1%	47,7%	0,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	13,5%	43,5%	42,8%	29,9%	4,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
7h	3 metros	20,8%	41,3%	40,4%	8,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	1,5%	2,3%	13,6%	6,1%	39,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	17,3%	40,3%	50,3%	25,7%	34,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	11,7%	46,3%	31,7%	19,4%	51,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
8h	3 metros	6,7%	1,8%	16,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	4,9%	22,6%	54,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	12,4%	18,7%	39,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	6,2%	21,2%	28,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
9h	3 metros	1,2%	6,6%	27,9%	14,7%	15,8%	47,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	13,8%	12,2%	16,3%	9,0%	5,1%	23,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	11,2%	6,8%	28,3%	12,9%	31,3%	11,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	4,0%	1,5%	20,6%	9,7%	15,1%	43,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
10h	3 metros	6,7%	1,9%	15,7%	21,6%	32,1%	12,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	6,6%	0,6%	13,6%	4,5%	3,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	2,2%	6,8%	16,7%	10,6%	18,3%	3,1%	25,6%	33,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	9,6%	13,2%	32,5%	10,8%	12,6%	20,7%	38,1%	58,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
11h	3 metros	13,3%	9,8%	4,1%	8,1%	9,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	7,1%	23,4%	10,8%	9,7%	39,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	5,4%	23,1%	14,8%	10,0%	53,5%	100,0%	41,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	11,9%	25,4%	53,2%	11,3%	41,1%	100,0%	42,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
13h	3 metros	16,1%	8,1%	37,1%	10,7%	6,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	13,0%	15,7%	25,1%	4,4%	6,6%	100,0%	5,2%	2,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	13,7%	8,5%	12,5%	10,9%	17,5%	36,3%	24,4%	12,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	10,1%	8,0%	15,8%	12,3%	17,0%	27,9%	14,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
14h	3 metros	13,8%	7,5%	26,3%	7,9%	49,6%	114,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	6,1%	6,4%	8,0%	4,6%	13,4%	100,0%	28,5%	9,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	20,7%	12,7%	12,4%	3,0%	0,1%	100,0%	36,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	25,2%	9,3%	36,1%	1,7%	16,6%	29,4%	34,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
15h	3 metros	17,5%	2,5%	29,6%	18,9%	40,8%	45,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	12,7%	9,3%	9,0%	1,2%	21,7%	25,2%	27,6%	6,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	4,2%	5,9%	23,8%	15,6%	23,4%	29,3%	26,9%	22,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	0,8%	6,2%	30,8%	4,9%	9,9%	12,4%	34,2%	55,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
16h	3 metros	30,1%	24,6%	16,3%	6,0%	26,6%	53,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	20,3%	15,1%	10,1%	20,2%	13,7%	100,0%	11,9%	44,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	19,4%	3,5%	18,2%	24,7%	21,8%	4,3%	33,3%	23,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	3,8%	28,3%	73,0%	29,7%	17,8%	1,6%	28,3%	18,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
17h	3 metros	31,6%	1,2%	10,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	22,0%	14,2%	34,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	12,8%	3,8%	17,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	6,3%	13,2%	16,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
18h	3 metros	18,4%	8,7%	35,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	1,9%	4,1%	17,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	6,2%	0,7%	13,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	6,4%	14,3%	39,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabela B. 6 – Tabela comparativa de avaliação quantitativa do protótipo 4, em superfície clara, sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações com a CT160 em dia ensolarado

CT160 (FLIR One Pro)														
ANÁLISE QUANTITATIVA														
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Clara Fosca - Protótipo 4														
Profundidade (cm)														
		Distância (m)	1			4			6			8		
			30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
ANS	3 metros	11,1%	23,8%	7,9%	40,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	25,0%	75,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	9,4%	56,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	3,4%	38,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
7h	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
8h	3 metros	0,3%	7,3%	23,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	14,9%	3,3%	11,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	6,4%	2,7%	30,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	11,9%	7,7%	20,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
9h	3 metros	6,3%	8,9%	33,2%	14,1%	9,7%	15,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	8,2%	18,1%	40,3%	19,8%	2,1%	7,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	3,9%	9,8%	55,7%	10,2%	6,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	1,5%	29,1%	78,4%	20,7%	9,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
10h	3 metros	2,1%	4,3%	43,7%	32,9%	56,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	1,5%	0,2%	48,2%	21,7%	37,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	4,2%	17,3%	72,9%	5,0%	9,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	13,6%	34,2%	100,0%	39,7%	21,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
11h	3 metros	33,8%	16,5%	16,6%	24,5%	64,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	19,7%	11,2%	41,8%	18,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	59,8%	24,9%	50,8%	7,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	25,5%	10,8%	194,7%	4,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
13h	3 metros	19,9%	10,7%	54,9%	42,8%	45,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	9,9%	16,6%	100,0%	31,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	62,0%	20,5%	100,0%	43,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
14h	3 metros	100,0%	26,5%	100,0%	27,3%	29,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	10,3%	11,8%	30,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	16,3%	22,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	13,6%	20,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
15h	3 metros	21,4%	6,9%	27,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	7,7%	7,3%	21,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	29,8%	23,5%	53,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	37,7%	3,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
16h	3 metros	100,0%	26,1%	100,0%	12,3%	9,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
17h	3 metros	2,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	16,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	17,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	20,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
18h	3 metros	0,1%	11,8%	22,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	15,0%	7,7%	81,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	2,9%	0,2%	19,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	32,2%	23,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabela B. 7 – Tabela comparativa de avaliação quantitativa do protótipo 5, em superfície escura, sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações com a CT320 em dia ensolarado

CT320 (FLIR T-420)													
ANÁLISE QUANTITATIVA													
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Escura Fosca - Protótipo 2													
Profundidade (cm)													
	Distância (m)	1			4			6			8		
		30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
ANS	3 metros	19,5%	7,5%	58,0%	29,1%	27,8%	67,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	19,1%	38,6%	60,4%	24,0%	19,0%	61,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	25,0%	37,4%	30,0%	31,6%	31,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	32,2%	39,8%	20,2%	29,6%	17,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
7h	3 metros	37,9%	6,3%	100,0%	31,0%	40,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	24,3%	19,8%	77,8%	36,6%	43,8%	25,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	41,8%	21,2%	52,9%	34,1%	41,9%	57,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	33,1%	17,1%	16,5%	19,9%	38,3%	21,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
8h	3 metros	18,8%	22,2%	24,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	9,3%	1,2%	21,1%	5,5%	3,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	0,1%	5,1%	8,5%	5,9%	4,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	2,3%	7,3%	19,9%	42,4%	51,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
9h	3 metros	3,0%	2,8%	14,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	7,7%	3,3%	18,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	32,4%	39,3%	56,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	10,0%	20,7%	27,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
10h	3 metros	14,9%	7,1%	43,9%	14,4%	7,1%	10,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	2,7%	10,6%	100,0%	2,3%	35,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	4,9%	14,9%	100,0%	0,5%	3,9%	100,0%	22,3%	34,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	3,1%	35,6%	100,0%	12,6%	2,4%	100,0%	31,0%	5,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
11h	3 metros	0,8%	5,5%	9,9%	35,5%	8,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	6,1%	4,1%	1,5%	16,8%	22,8%	100,0%	8,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	6,7%	2,8%	23,4%	22,0%	23,1%	100,0%	3,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	8,5%	9,5%	5,7%	17,1%	17,6%	100,0%	6,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
13h	3 metros	3,3%	1,2%	24,0%	37,7%	16,2%	100,0%	20,4%	34,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	2,2%	2,1%	27,6%	7,1%	10,7%	50,4%	28,4%	22,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	13,7%	13,1%	1,3%	18,1%	26,6%	40,2%	18,4%	23,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	0,0%	11,5%	1,4%	19,3%	43,5%	100,0%	19,8%	52,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
14h	3 metros	3,7%	5,5%	1,5%	28,3%	30,9%	22,0%	12,9%	100,0%	100,0%	30,7%	100,0%	100,0%
	5 metros	0,9%	1,6%	5,9%	21,5%	9,9%	70,9%	42,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	10,9%	6,3%	8,2%	14,9%	21,4%	26,8%	38,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	1,0%	5,8%	21,4%	20,7%	35,3%	100,0%	39,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
15h	3 metros	8,9%	11,8%	30,8%	29,0%	11,7%	66,0%	15,2%	21,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	7,6%	5,8%	46,1%	12,0%	3,2%	0,6%	38,5%	34,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	6,4%	6,1%	3,1%	8,2%	11,4%	25,2%	10,9%	39,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	4,9%	8,3%	15,7%	21,8%	3,3%	17,4%	4,3%	2,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
16h	3 metros	24,8%	9,8%	19,8%	14,4%	11,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	6,5%	8,6%	44,0%	4,7%	3,7%	39,2%	0,0%	20,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	5,7%	22,0%	100,0%	20,6%	29,0%	37,3%	34,9%	11,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	16,0%	2,4%	100,0%	12,5%	3,2%	100,0%	3,9%	48,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
17h	3 metros	20,1%	14,7%	5,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	3,2%	11,1%	32,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	13,8%	12,7%	15,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	9,1%	3,9%	0,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
18h	3 metros	9,3%	13,2%	12,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	12,0%	20,7%	7,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	8,0%	7,6%	13,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	1,2%	5,1%	43,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabela B. 8 – Tabela comparativa de avaliação quantitativa do protótipo 5, em superfície escura, sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações com a CT160 em dia ensolarado

CT160 (FLIR One Pro)													
ANÁLISE QUANTITATIVA													
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Escura Fosca - Protótipo 2													
Profundidade (cm)													
		1			4			6			8		
		30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
ANS	3 metros	32,3%	27,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	31,7%	9,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	29,6%	39,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	31,8%	33,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
7h	3 metros	20,3%	17,1%	4,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	44,0%	1,5%	3,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	31,6%	9,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
8h	3 metros	9,1%	5,3%	25,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	9,2%	6,8%	36,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	9,2%	6,4%	30,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	24,4%	15,9%	76,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
9h	3 metros	10,9%	16,0%	40,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	6,6%	15,6%	15,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	5,1%	8,4%	91,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	1,2%	16,0%	141,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
10h	3 metros	3,3%	45,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	14,0%	3,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	1,2%	24,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	43,7%	12,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	1,5%	36,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	22,4%	2,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	11,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	37,6%	2,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
11h	3 metros	6,1%	12,9%	5,2%	37,2%	11,6%	100,0%	5,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	3,5%	11,2%	40,8%	40,1%	25,2%	100,0%	7,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	9,1%	23,7%	33,9%	36,0%	22,1%	100,0%	11,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	13,9%	43,2%	100,0%	37,7%	100,0%	100,0%	6,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
13h	3 metros	13,5%	16,9%	100,0%	8,8%	11,1%	100,0%	11,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	9,9%	21,9%	100,0%	6,4%	32,4%	100,0%	15,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	10,2%	8,5%	100,0%	6,8%	10,4%	100,0%	7,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	19,1%	100,0%	100,0%	12,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
14h	3 metros	6,7%	2,1%	31,7%	31,8%	47,2%	100,0%	37,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	13,8%	29,4%	48,3%	14,5%	28,4%	100,0%	17,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	23,7%	0,2%	50,8%	17,7%	18,4%	100,0%	25,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	2,7%	3,2%	100,0%	9,0%	79,0%	100,0%	1,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
15h	3 metros	12,8%	17,0%	11,1%	36,6%	38,3%	100,0%	5,7%	4,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	4,7%	3,6%	0,6%	24,5%	26,9%	100,0%	23,8%	15,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	21,3%	7,5%	24,6%	41,2%	100,0%	100,0%	26,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	3,4%	9,0%	100,0%	22,4%	100,0%	100,0%	20,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
16h	3 metros	23,7%	27,5%	100,0%	32,3%	22,6%	100,0%	8,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	7,2%	38,4%	100,0%	20,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	6,6%	100,0%	100,0%	26,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	7,6%	100,0%	100,0%	30,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
17h	3 metros	6,6%	2,7%	24,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	9,0%	54,9%	4,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	33,9%	22,7%	95,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	45,9%	31,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
18h	3 metros	9,2%	5,9%	33,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	10,0%	9,8%	18,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	9,3%	15,5%	36,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	15,6%	8,8%	42,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

B.II Etapa de campo – Dia nublado

Tabela B. 9 – Tabela comparativa de avaliação qualitativa do protótipo 4, em superfície clara, sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações com a CT320 em dia nublado

CT320 (FLIR T-420)												
ANÁLISE QUALITATIVA - DIA NUBLADO												
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Clara Fosca - Protótipo 4												
Distância (m)	Profundidade (cm)											
	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
ANS	3 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
7h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
8h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
9h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
10h	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
11h	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
13h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
14h	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
15h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
16h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
17h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
18h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Tabela B. 10 – Tabela comparativa de avaliação qualitativa do protótipo 4, em superfície clara, sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações com a CT160 em dia nublado

CT160 (FLIR One Pro)													
ANÁLISE QUALITATIVA - DIA NUBLADO													
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Clara Fosca - Protótipo 4													
Profundidade (cm)													
	Distância (m)	1			4			6			8		
		30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
ANS	3 metros	Levemente	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Levemente	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Levemente	Não	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
7h	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Levemente	Não	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
8h	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
9h	3 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
10h	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
11h	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
13h	3 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Levemente	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
14h	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
15h	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
16h	3 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
17h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
18h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Tabela B. 11 – Tabela comparativa de avaliação qualitativa do protótipo 5, em superfície escura, sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações com a CT320 em dia nublado

CT320 (FLIR T-420)												
ANÁLISE QUALITATIVA - DIA NUBLADO												
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Escura Fosca - Protótipo 2												
Profundidade (cm)												
Distância (m)	1			4			6			8		
	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
ANS	3 metros	Sim	Sim	Levemente	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Levemente	Sim	Sim	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Levemente	Sim	Sim	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Levemente	Sim	Sim	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não
7h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Não	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
8h	3 metros	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
9h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
10h	3 metros	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
11h	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
13h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
14h	3 metros	Não	Não	Não	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
15h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
16h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
17h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
18h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Sim	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Tabela B. 12 – Tabela comparativa de avaliação qualitativa do protótipo 5, em superfície escura, sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações com a CT160 em dia nublado

CT160 (FLIR One Pro)													
ANÁLISE QUALITATIVA - DIA NUBLADO													
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Escura Fosca - Protótipo 2													
Profundidade (cm)													
Distância (m)		1			4			6			8		
		30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
ANS	3 metros	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Não	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Levemente	Não	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Levemente	Não	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
7h	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
8h	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
9h	3 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
10h	3 metros	Levemente	Levemente	Não	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
11h	3 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Levemente	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
13h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
14h	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
15h	3 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
16h	3 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
17h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
18h	3 metros	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	5 metros	Sim	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	7 metros	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	10 metros	Sim	Levemente	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Tabela B. 13 – Tabela comparativa de avaliação quantitativa do protótipo 4, em superfície clara, sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações com a CT320 em dia nublado

CT320 (FLIR T-420)												
ANÁLISE QUANTITATIVA - DIA NUBLADO												
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Clara Fosca - Protótipo 4												
Distância (m)	Profundidade (cm)											
	1			4			6			8		
	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
ANS	3 metros	19,9%	44,3%	21,8%	22,7%	2,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	6,3%	4,1%	36,0%	28,9%	11,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	15,6%	9,1%	15,0%	3,0%	37,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	24,1%	24,9%	36,3%	36,6%	52,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
7h	3 metros	13,2%	10,6%	15,7%	17,3%	7,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	33,8%	28,0%	28,9%	31,3%	9,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	0,8%	4,2%	4,5%	0,3%	2,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	18,3%	21,4%	29,0%	17,0%	18,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
8h	3 metros	17,5%	14,4%	24,9%	4,9%	33,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	6,9%	24,2%	20,7%	8,9%	34,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	11,1%	27,5%	26,0%	46,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	12,5%	27,5%	15,0%	57,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
9h	3 metros	16,1%	1,1%	12,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	4,0%	1,1%	11,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	5,0%	0,2%	8,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	15,5%	15,1%	50,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
10h	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
11h	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
13h	3 metros	24,1%	5,3%	22,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	19,5%	20,9%	3,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	22,9%	8,7%	5,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	9,0%	2,7%	26,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
14h	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
15h	3 metros	4,3%	4,3%	24,7%	24,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	7,1%	12,0%	21,5%	12,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	6,6%	2,5%	17,7%	5,0%	11,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	8,8%	23,8%	51,4%	41,4%	26,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
16h	3 metros	7,7%	0,3%	27,7%	20,0%	2,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	0,7%	1,0%	30,7%	6,0%	17,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	6,8%	10,8%	17,9%	20,7%	14,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	16,8%	1,0%	27,2%	22,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
17h	3 metros	9,2%	6,4%	35,5%	31,6%	21,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	6,7%	0,5%	20,5%	19,8%	0,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	26,2%	16,2%	41,0%	41,7%	48,2%	1,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	19,6%	19,7%	0,2%	34,0%	40,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
18h	3 metros	5,4%	9,1%	21,1%	19,7%	6,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	9,5%	5,0%	7,7%	15,6%	12,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	9,6%	7,0%	32,1%	35,3%	36,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	4,1%	9,8%	16,0%	29,2%	31,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabela B. 14 – Tabela comparativa de avaliação quantitativa do protótipo 4, em superfície clara, sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações com a CT160 em dia nublado

CT160 (FLIR One Pro)												
ANÁLISE QUANTITATIVA - DIA NUBLADO												
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Clara Fosca - Protótipo 4												
Distância (m)	Profundidade (cm)											
	1			4			6			8		
	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
ANS	3 metros	12,8%	12,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	25,1%	71,3%	100,0%	27,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	33,1%	41,2%	100,0%	13,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	22,7%	100,0%	100,0%	6,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
7h	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	25,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	19,0%	100,0%	100,0%	6,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
8h	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
9h	3 metros	15,5%	35,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	0,8%	23,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	1,8%	24,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
10h	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
11h	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
13h	3 metros	11,0%	1,8%	20,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	5,1%	25,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	23,7%	39,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	4,6%	4,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
14h	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
15h	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
16h	3 metros	15,9%	1,7%	4,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	1,5%	43,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	13,0%	16,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	11,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
17h	3 metros	6,2%	2,6%	42,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	1,1%	10,8%	14,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	6,3%	13,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	8,8%	3,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
18h	3 metros	0,1%	0,3%	25,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	1,4%	8,3%	1,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	13,4%	9,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	4,3%	8,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabela B. 15 – Tabela comparativa de avaliação quantitativa do protótipo 5, em superfície escura, sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações com a CT320 em dia nublado

CT320 (FLIR T-420)												
ANÁLISE QUANTITATIVA - DIA NUBLADO												
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Escura Fosca - Protótipo 2												
Distância (m)	Profundidade (cm)											
	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
ANS	3 metros	10,6%	1,1%	54,2%	3,5%	27,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	3,8%	14,4%	38,9%	16,7%	3,3%	100,0%	2,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	14,4%	21,3%	57,5%	22,4%	33,4%	100,0%	26,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	14,8%	23,0%	43,8%	35,9%	49,9%	100,0%	47,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
7h	3 metros	25,7%	41,3%	69,6%	34,2%	61,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	10,5%	22,5%	41,9%	29,6%	29,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	6,8%	7,7%	27,3%	17,0%	7,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	17,0%	11,3%	100,0%	15,6%	40,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
8h	3 metros	5,9%	20,9%	100,0%	28,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	8,3%	6,7%	100,0%	12,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	10,4%	10,0%	100,0%	8,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	27,7%	26,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
9h	3 metros	6,0%	9,3%	1,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	2,3%	2,7%	13,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	8,3%	6,1%	21,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	10,5%	44,9%	45,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
10h	3 metros	27,6%	6,5%	100,0%	42,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	16,0%	11,9%	100,0%	44,0%	0,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	21,6%	28,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	24,0%	17,8%	100,0%	17,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
11h	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
13h	3 metros	5,8%	7,2%	10,9%	35,2%	18,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	0,3%	5,8%	3,1%	31,4%	7,0%	100,0%	36,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	7,2%	7,9%	20,5%	8,1%	20,0%	100,0%	36,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	3,9%	15,6%	22,3%	44,2%	38,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
14h	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	30,6%	43,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	8,7%	19,2%	100,0%	18,1%	10,8%	11,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	28,9%	22,1%	100,0%	30,1%	45,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	42,1%	35,3%	100,0%	38,5%	39,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
15h	3 metros	13,3%	23,5%	54,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	22,4%	9,5%	37,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	11,1%	25,0%	35,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	14,4%	34,7%	36,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
16h	3 metros	2,3%	10,3%	38,3%	31,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	13,1%	18,4%	39,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	14,9%	11,8%	29,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	20,9%	13,9%	9,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
17h	3 metros	0,0%	8,8%	23,6%	33,6%	11,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	9,3%	0,2%	19,1%	6,3%	5,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	20,0%	18,8%	60,1%	0,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	16,5%	31,0%	50,1%	25,9%	41,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
18h	3 metros	7,8%	13,7%	43,1%	3,2%	14,8%	26,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	2,9%	18,6%	41,1%	1,5%	26,1%	100,0%	27,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	4,9%	3,5%	17,7%	7,9%	22,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	0,3%	24,7%	16,0%	2,9%	30,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabela B. 16 – Tabela comparativa de avaliação quantitativa do protótipo 5, em superfície escura, sobre a detecção das falhas simuladas com suas respectivas combinações com a CT160 em dia nublado

CT160 (FLIR One Pro)														
ANÁLISE QUANTITATIVA - DIA NUBLADO														
MAPEAMENTO TÉRMICO - Placa Escura Fosca - Protótipo 2														
Profundidade (cm)														
		Distância (m)	1			4			6			8		
			30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm	30x30 cm	20x20 cm	10x10 cm
ANS	3 metros	2,1%	20,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	24,0%	100,0%	100,0%	28,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	56,6%	100,0%	100,0%	31,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	2,8%	100,0%	100,0%	33,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
7h	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	32,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
8h	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
9h	3 metros	25,8%	13,4%	6,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	12,3%	96,9%	120,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	19,2%	9,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	31,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
10h	3 metros	26,6%	35,8%	100,0%	35,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
11h	3 metros	15,3%	20,3%	44,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	4,5%	23,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	0,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	21,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
13h	3 metros	10,0%	8,5%	31,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	16,2%	22,7%	69,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	6,5%	4,9%	52,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	1,7%	11,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
14h	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
15h	3 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
16h	3 metros	15,1%	29,3%	29,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	19,2%	33,2%	11,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	49,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	38,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
17h	3 metros	10,5%	29,6%	33,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	0,4%	51,1%	6,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	4,1%	65,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	20,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
18h	3 metros	0,9%	18,4%	11,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5 metros	0,4%	40,7%	17,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7 metros	13,1%	15,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10 metros	1,5%	29,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%