



Avaliação de dano de fissuras em revestimentos argamassados por termografia de infravermelho

Matheus Silva¹, Patrícia Milhomem², Elton Bauer³

¹ Universidade de Brasília-UnB, Brasília, Brasil, Matheus.engcv@outlook.com

² Universidade de Brasília-UnB, Brasília, Brasil, patriciamota@aluno.unb.br

³ Universidade de Brasília-UnB, Brasília, Brasil, elbauerlem@gmail.com

Resumo: As fachadas argamassadas de edifícios recebem diretamente as ações do intemperismo que comprometem sua durabilidade e possibilitam o surgimento de anomalias, sendo uma das principais a fissuração. Essa anomalia deve ser avaliada e quantificada para uma melhor apuração do seu grau de dano sob o revestimento. Para isso a investigação por meio da termografia de infravermelho se demonstra eficiente para o mapeamento e identificação dessa patologia. Logo, o objetivo desse trabalho é avaliar como a técnica de termografia de infravermelho por metodologia de investigação quantitativa auxilia na identificação do grau de dano de fissuras lineares em revestimentos argamassados. Para a investigação foram produzidas 3 placas de argamassa fissuradas linearmente com variação na profundidade da fissura, no qual foram submetidas a ciclos de aquecimento ativo e arrefecimento onde houve captura das imagens termográficas das placas a cada 4 minutos para compor os termogramas. A avaliação realizada, demonstrou que fissuras com maior profundidade apresentam maior contraste térmico entre a área fissurada e não fissurada, sendo que no ciclo de aquecimento a fissura apresenta menor temperatura em relação a área sem dano. Já no ciclo de arrefecimento a fissura apresenta menor temperatura em relação a área sem dano.

Palavras-chave: Revestimento de argamassa, termografia de infravermelho, fissura, grau de dano.

1. Introdução

As envoltórias dos edifícios são responsáveis por proteger o ambiente interno das ações atmosféricas do meio ambiente externo, garantindo estanqueidade e condições higrotérmicas adequadas para o interior do edifício (MENEZES; GOMES, 2015; MILHOMEM; AIDAR; BAUER, 2018). Sendo que esse sistema está sujeito ao surgimento de falhas e anomalias decorrentes das interações com o intemperismo, como vento, chuva, radiação solar, agentes químicos e biológicos que degradam as fachadas (P. JERNBERG et al., 2004). Para a avaliação dos danos causados nos revestimentos a técnica de análise por termografia de infravermelho é capaz de identificar anomalias internas e superficiais, bem como sua gravidade (BAUER et al., 2016a). Pois a presença de falhas perturba o padrão de fluxo de calor, afetando a temperatura da superfície resultante em relação a superfície sem defeito (BAUER et al., 2015, 2016b).

A técnica de captura de imagem por termografia possibilita a identificação e mapeamento de falhas, no qual permite a classificação da intensidade e gravidade da anomalia (BAUER et al., 2016a). A avaliação é realizada sem contato, não causando danos a superfície analisada, podendo ser feita à distância, em situações em que não há acesso físico ao defeito, e dispõe de resultados em tempo real (BAUER, 2014; BAUER; PAVON, 2015), garantindo vantagem do uso da termografia na inspeção de fachadas.



Os resultados gerados pela termografia são as imagens termográficas, ou termogramas, que exibem uma escala de cores para cada nível de temperatura a partir da radiação emitida pela superfície do material analisado (USAMENTIAGA et al., 2014). As análises termográficas podem ser de forma qualitativa ou quantitativa, sendo a investigação qualitativa baseada na identificação do dano por diferença de calor, diferenças visuais, e a quantitativa usada para classificar a importância da anomalia (BAUER et al., 2015), necessitando obter uma maior precisão para os contrastes e diferenças de temperaturas geradas pelo alvo (FOX et al., 2015). Na metodologia de investigação quantitativa a diferença de temperatura entre a área com defeito e a área sem defeito, Delta-T, é o critério mais utilizado para a apuração de resultados (MALDAGUE, 2001).

Dentre as manifestações patológicas que podem ser identificadas por meio do uso da termografia, se destacam a presença de umidade (BARREIRA; ALMEIDA; DELGADO, 2016), fissuras (FOX et al., 2014) e deslocamento cerâmico. Dando maior atenção a fissuras, por ser um dos principais defeitos encontrados em fachadas (BAUER; MILHOMEM; AIDAR, 2018) e que possibilita condições favoráveis para o desenvolvimento de outros defeitos como deslocamento e eflorescência (BISEGNA et al., 2014; LOURENÇO; MATIAS; FARIA, 2017; MARTÍNEZ et al., 2013). Logo, o grau de fissuração tem influência decisiva na redução da vida útil da fachada e de seus sistemas (BAUER; MILHOMEM; AIDAR, 2018).

Se tratando desse defeito, quando é analisado de forma quantitativa, os valores de Delta-T não estão relacionados apenas com o gradiente de calor entre a área da cavidade fissurada e a área sem a presença da fissura. A largura e a profundidade da fissura modificam os valores referentes a esse parâmetro (MALDAGUE, 2001), pois o defeito possui condutibilidade térmica, densidade e capacidade térmica distinta (BÉRUBÉ; DEROME; ZMEUREANU, 2009). Desse modo, altos valores de Delta-T podem indicar uma condição mais grave para as anomalias (BAUER et al., 2016c; DE FREITAS; DE FREITAS; BARREIRA, 2014). Sendo assim, a termografia de análise quantitativa tem o potencial de descrever o grau de dano das fissuras quando empregada na inspeção de fachadas.

Logo, o objetivo desse trabalho é realizar uma análise quantitativa por meio de termografia ativa, fluxo de calor induzido, em placas de argamassa fissuradas com diferentes dimensões de suas cavidades. Afim de investigar como os valores de Delta-T entre as áreas com e sem defeito estão associados com as dimensões da fissura e, conseqüentemente, seu grau de dano. A pesquisa limitou-se a investigação em ambiente controlado, em relação a fluxo de aquecimento, e a variação do tipo de fissuração, no qual foi investigado apenas fissuras lineares com variações de profundidade.

2. Metodologia

2.1 Amostras

Para a realização do proposto, foi empregado termografia ativa em três corpos de prova que são constituídos por duas placas de argamassa, placa fissurada e placa base, que simulam fachadas fissuradas. As placas fissuradas representam um grupo de três placas de argamassa moldadas com área de 160 x 400mm, onde a profundidade da cavidade representará a espessura da placa, ou seja, 5mm, 10mm e 15mm, respectivamente. Já a dimensão de abertura da fissura é igual a todas as placas, independente da sua espessura, ou seja, todas apresentam abertura de 3mm.

As placas fissuradas são fixadas com argamassa colante na placa base que possui dimensão de 160 x 400 x 35mm, tendo como traço de produção a fração de materiais 1:4,2:0,75, (cimento, areia e relação a/c) nos quais foram curadas por 28 dias. Já as placas fissuradas, são constituídas de argamassa autoadensável de cimento, *filer* calcário, areia artificial e aditivo superplastificante, nas proporções de 1:0,41:1,7:0,55, respectivamente. Após a finalização da produção dos corpos de prova, as placas foram submetidas a cura

por 10 dias e tiveram suas extremidades envolvidas em uma camada fina de isopor para manter o fluxo de calor. As Figuras 1 e 2 mostram o esquema das placas que constituem os corpos de prova.

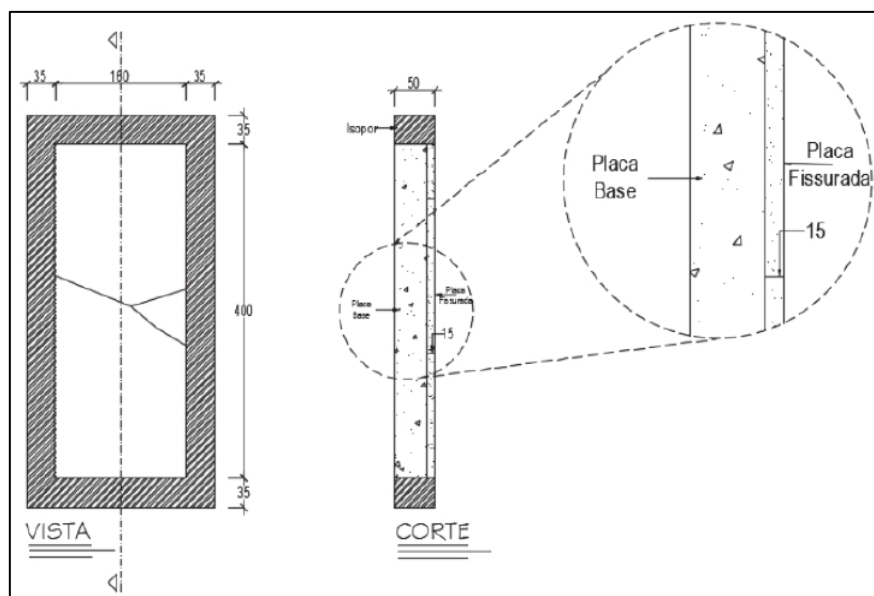


Figura 1 - Detalhamento da produção das placas

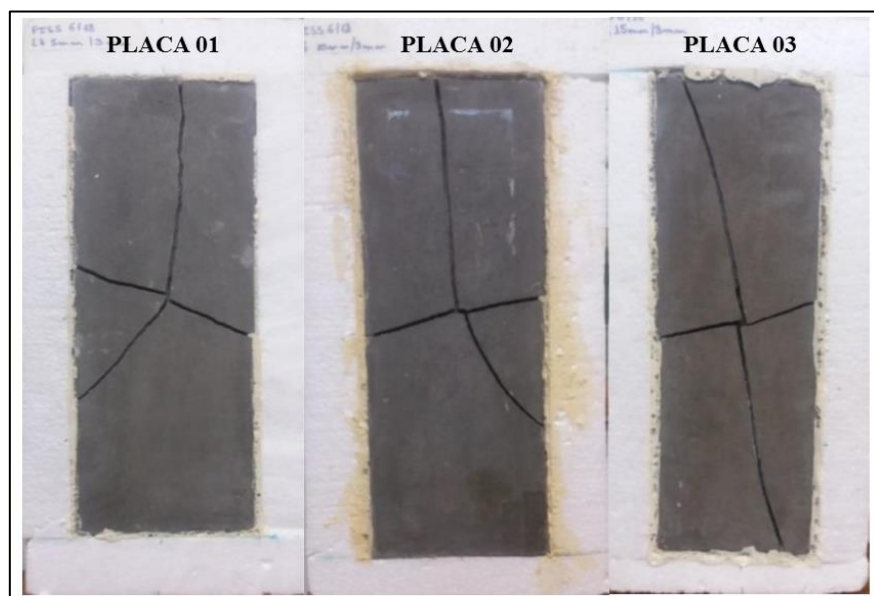


Figura 2 - Placas fissuradas linearmente

2.2 Rotina de investigação

Os corpos de prova foram submetidos a dois ciclos, sendo um de aquecimento direto, por meio de duas lâmpadas de 350 W (possibilitando potencial de fluxo de 700 W), e outro de arrefecimento, por meio do desligamento das lâmpadas no final do ciclo de aquecimento, ambos com duração de 120 minutos. O modelo da câmera termográfica utilizada para a captura das imagens é a Flir T-400, com resolução de 320 x 240 pixels e faixa de temperatura de -20 a 120 °C.

A câmera termografia, assim como as lâmpadas de aquecimento, tiveram posição fixa durante todo o ensaio, uma vez que variações de ângulo da câmera pode comprometer a identificação de patologias (AIDAIR; MILHOMEM; BAUER, 2018; BARREIRA et al., 2014), assim como sua distância com o alvo (CHEW, 1998). A câmera foi programada para realizar captura de imagem a cada quatro minutos. A Figura 3 ilustra o esquema de investigação. Para que a aquisição dos termogramas aconteça de forma confiável as variáveis que possam interferir nos resultados foram caracterizadas, como umidade e temperatura do ambiente, por meio de um termohigrometro modelo EXTECH MO297, e temperatura refletida e emissividade da amostra, baseado no método da fita padrão. Seguindo recomendações da ASTM 1862-97 (ASTM, 2002) e ASTM 1933-99 (ASTM, 1999).

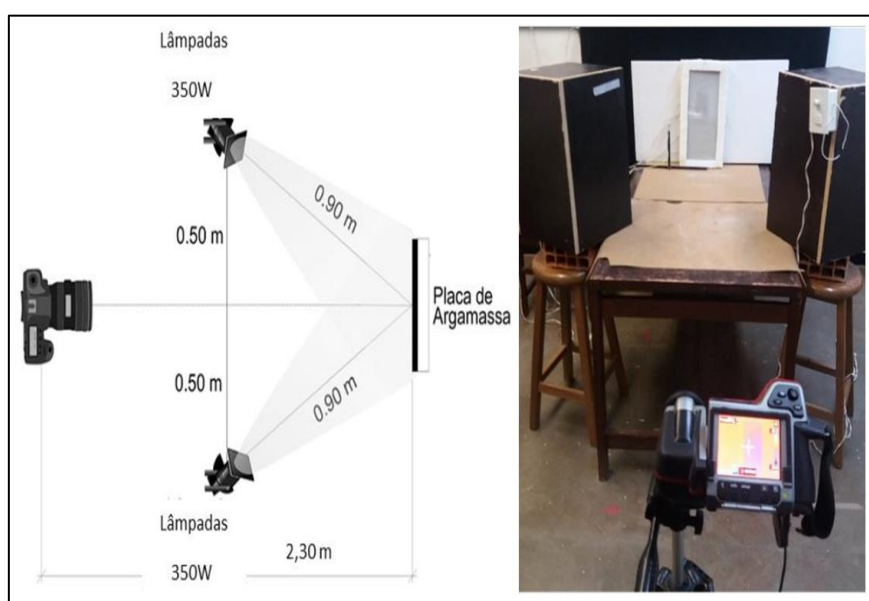


Figura 3 - Esquema de aquecimento direto

2.3 Avaliação dos termogramas

Os termogramas foram analisados por meio do software Flir Quick Report v1.2, que permitiu verificar as diferenças de temperatura entre a área com fissura e sem fissura para todos os termogramas capturados no processo de aquecimento e arrefecimento. Para isso foi adotado a metodologia investigativa proposta por (MILHOMEM, 2019) que orienta que a análise deve ser realizada seguindo os seguintes procedimentos apoiados pelo software mencionado: (i) traçar uma linha perpendicular ao dano e outras três linhas perpendiculares nas extremidades da linha que atravessa o dano, afim de obter a temperatura média da região sem defeito; (ii) determinar a temperatura de cada pixel da linha perpendicular a fissura; (iii) aplicar média móvel entre os valores de temperatura dos pixels da linha que atravessa o dano; (iv) determinar o pixel de maior e menor valor térmico; (v) determinar o intervalo de pixels correspondente ao defeito e (vi) identificar no intervalo do defeito o pixel com menor temperatura no aquecimento e maior temperatura no arrefecimento, sendo que seu valor é a temperatura do defeito. A Figura 4 representa a metodologia.

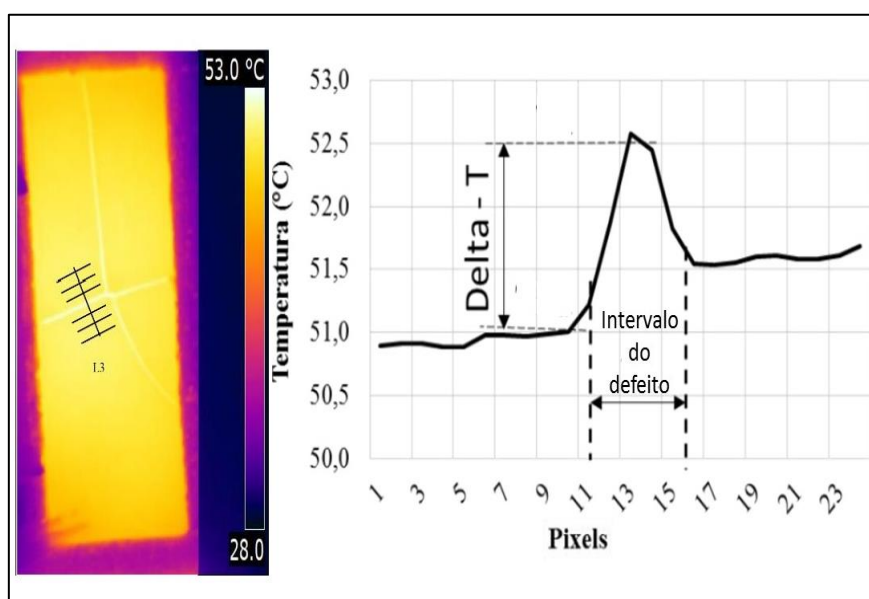


Figura 4 - Medição de temperatura dos termogramas

3 Resultados

As análises quantitativas dos termogramas para as três placas em questão demonstram que na fase de aquecimento a área sem defeito apresenta temperatura superior ao defeito, ao passo que na fase de arrefecimento existe uma inversão desses valores. Ou seja, a fissura se apresenta no termograma como mais fria na fase de aquecimento e mais quente na fase de arrefecimento. Já para as verificações referentes aos valores de Delta-T, a profundidade da fissura influencia diretamente essa variável, pois a diferença de calor entre a fissura e a área não fissurada se intensifica com o aumento da profundidade da fissura. Esses resultados estão de acordo com as observações feitas por (BAUER et al., 2016a), que descreve que áreas de maior Delta-T estão associados com faixas mais longa de fissuração. As Figuras 5, 6 e 7 apresentam graficamente o que foi argumentado para a placa 01, 02 e 03 respectivamente, no qual a área em vermelho representa a fase de aquecimento e a sem coloração representa a fase de arrefecimento.

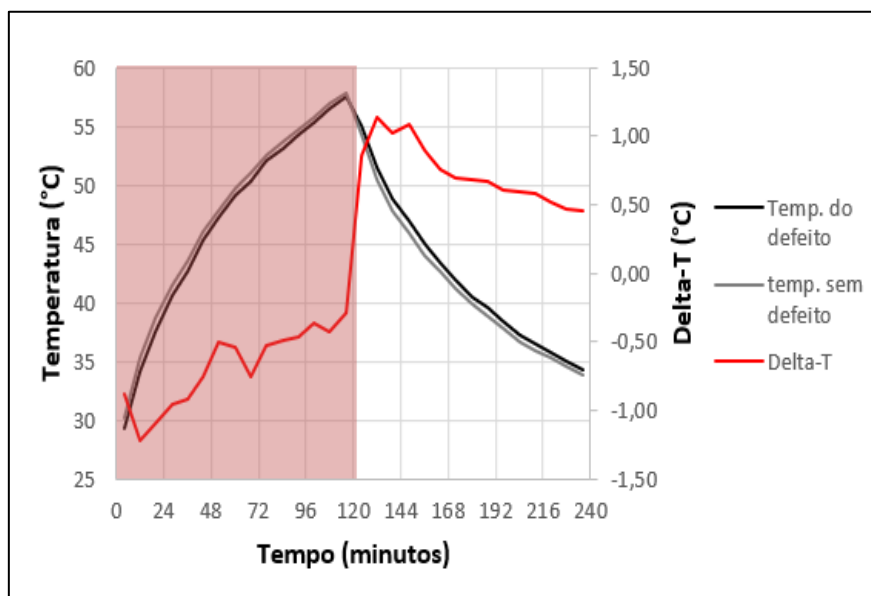


Figura 5 - Variação de temperatura e Delta-T (placa 01: 5mm)

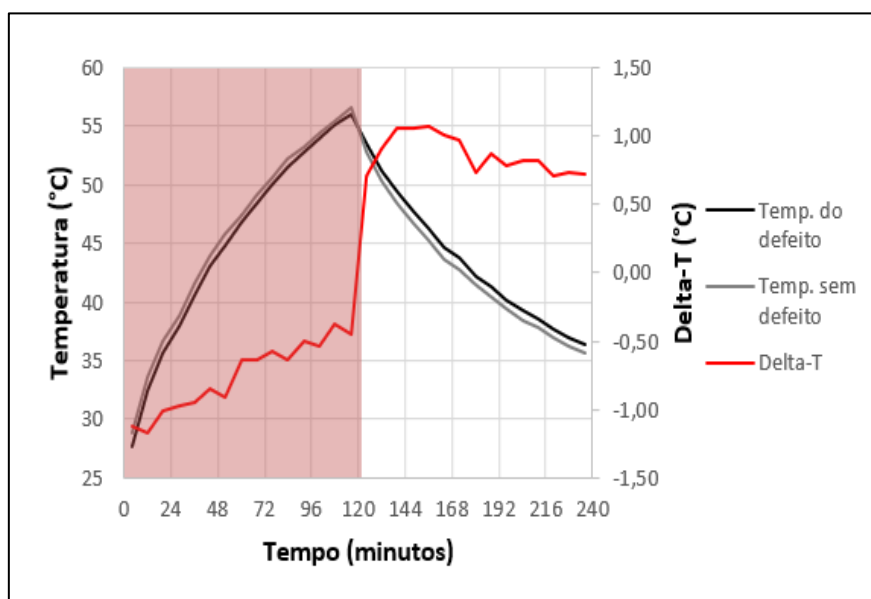


Figura 6 - Variação de temperatura e Delta-T (placa 02: 10mm)

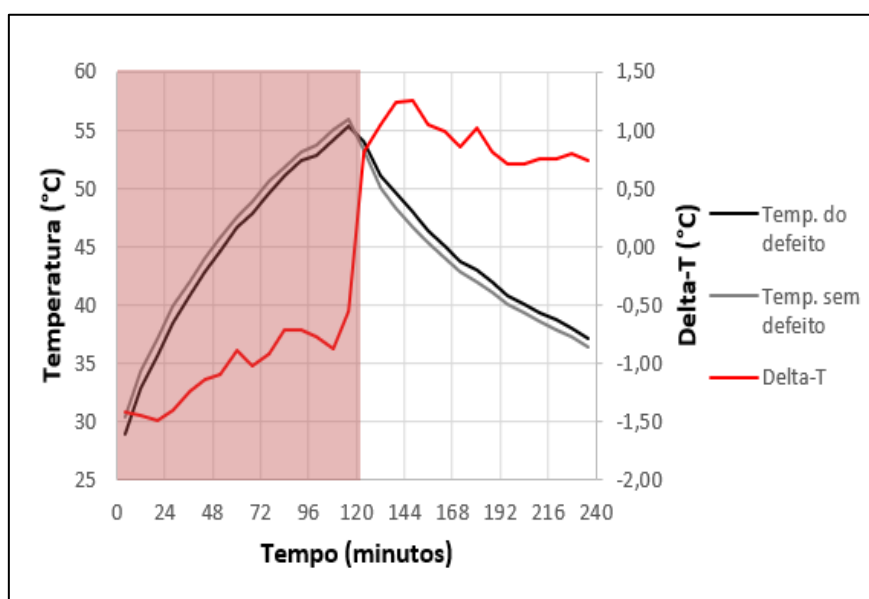


Figura 7 - Variação de temperatura e Delta-T (placa 03: 15mm)

É possível observar que os maiores valores de Delta-T, em módulo, na fase de aquecimento estão concentrados entre 12 e 20 minutos de ensaio, enquanto os maiores valores de Delta-T na fase de arrefecimento se encontram entre 132 e 156 minutos. Demonstrando que os maiores contrastes entre as áreas analisadas acontecem no início do aquecimento e no início do arrefecimento, sendo os melhores intervalos de análise quando aplicados para inspeções em campo. A Figura 8 apresenta os valores de Delta-T para os intervalos de tempo analisados para as 3 placas, onde a Fissura 01 corresponde a 5mm de profundidade, Fissura 02 é correspondente a profundidade de 10mm e a Fissura 03 a 15mm. A Tabela 1 apresenta os menores e maiores valores de contraste das placas nas fases de aquecimento e arrefecimento.

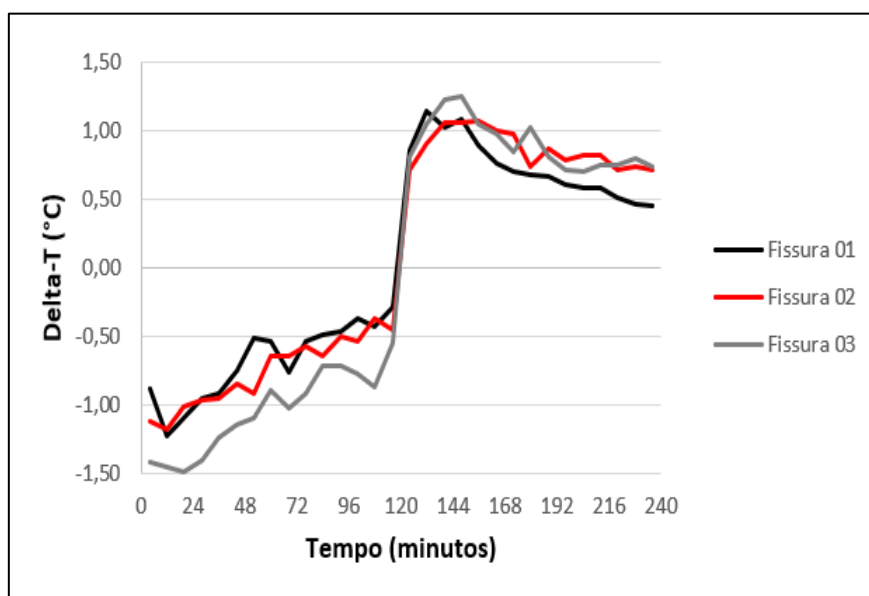


Figura 8 - Variação do Delta-T entre as fissuras



Tabela 1 - Variação de Delta-T máximo e mínimo nas fases de análise

Aquecimento			
Delta	Placa 01	Placa 02	Placa 03
Máximo	-0,28	-0,37	-0,55
Mínimo	-1,22	-1,18	-1,49
Arrefecimento			
Delta	Placa 01	Placa 02	Placa 03
Máximo	1,14	1,08	1,25
Mínimo	0,45	0,71	0,70

É observado pela Figura 8 que ao longo do ensaio na fase de aquecimento os valores de Delta-T da Fissura 03 se mantem abaixo dos outros dois valores referentes as fissuras de profundidade de 5 e 10mm. Demonstrando que fissuras mais profundas apresentam maior contraste quando comparadas com fissuras relativamente mais rasas na fase de aquecimento. O contrário também é verdade, pois a Fissura 03 apresentou os maiores valores de Delta-T, em módulo, tanto na fase de aquecimento, -1,49, como na fase de arrefecimento, 1,25, como é apresentado na Tabela 1.

Para a atribuição do grau de dano, é possível afirmar, pela análise gráfica, que a Fissura 03 apresentou os maiores valores de contraste em ambas as fases, ou seja, maior grau de dano. Já a Fissura 01 apresenta os menores valores de contraste em ambas as fases, no qual, mesmo sendo sobreposto na fase de aquecimento pelos valores de Delta-T da Fissura 02, dispõe de uma maior quantidade de intervalos temporais na análise gráfica possuindo o menor valor de Delta-T. Já na fase de arrefecimento, não restam dúvidas que a Fissura 01 apresenta os menos valores de Delta-T, possuindo o menor grau de dano entre as fissuras.

Já a Fissura 02 apresenta valores de contraste que se sobrepõem, em alguns momentos, os valores de Delta-T da Fissura 01, na fase de aquecimento, e da Fissura 03, na fase de arrefecimento. No entanto, as Fissuras 01 e 03 já foram constatadas como possuidoras dos maiores e menores contrastes, respectivamente, fazendo com que, em uma análise de 3 variáveis, a Fissura 02 apresente o valor intermediário. Porém uma verificação que pode constatar o grau de dano da Fissura 02 é a quantidade de sobreposições do Delta-T no intervalo temporal da fase de aquecimento. No qual a Fissura 02 apresenta uma maior quantidade de intervalos temporais em que seu Delta-T é predominante em relação ao Delta-T da Fissura 01 na fase de aquecimento. Desse modo é possível afirmar que a profundidade da fissura é diretamente proporcional ao incremento dos valores de Delta-T.

4 Conclusão

Por meio das argumentações já realizadas, é possível afirmar que a termografia de infravermelho, aplicada para a detecção de fissuras em revestimentos argamassados, se faz eficiente quando orientada por uma metodologia de investigação quantitativa, adotando softwares de leitura e análise gráfica dos termogramas. As análises realizadas permitiram observar que fissuras mais profundas apresentam maiores contrastes na fase de aquecimento e arrefecimento, onde o melhor período de investigação termográfica acontece no início do aquecimento e no início do arrefecimento.

A metodologia investigativa adotada se mostrou promissa para a avaliação do grau de dano, no qual, quanto maior o Delta-T maior o grau de dano. Sendo que a investigação quantitativa deve ser realizada tanto na fase de aquecimento como na de arrefecimento, juntamente com a contabilização da predominância dos



XVIII CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E
REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES

XVIII CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGÍA Y
REHABILITACIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES

XVIII INTERNACIONAL CONFERENCE ON BUILDING PATHOLOGY AND
CONSTRUCTIONS REPAIR

17 TO 19TH NOVEMBER 2022

contrastes em relação ao intervalo temporal das fases de aquecimento e arrefecimento, para que as possíveis sobreposições entre os contrastes não possibilitem conclusões errôneas.

A metodologia investigativa do grau de dano de fissuras deve ser analisada em trabalhos futuros em situações onde há variações geométricas da fissura, ou seja, tanto variações na profundidade como na largura do dano, afim de verificar se há modificações nos valores de contraste apresentados. Além das variações geométricas, pode ser abordado em outras investigações futuras a aplicação da técnica em fissuras ramificadas, afim de verificar o comportamento dos valores de contraste nas fases de aquecimento e arrefecimento.



5 Referências

- AIDAR, L. A. G.; MILHOMEM, P. M.; BAUER, E. Análise das possíveis variações nos termogramas provocadas por alterações no ângulo de obtenção das imagens. **Anais do Congresso Brasileiro de Patologias das Construções - CBPAT**, n. May, 2018.
- ASTM. **E 1933 - Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers**, 1999.
- ASTM. E 1862 - Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Reflected Temperature Using Infrared imaging Radiometers. **Current**, v. 97, n. Reapproved, p. 6–8, 2002.
- BARREIRA, E. et al. Sensibility Analysis of the Parameters Affecting Infrared Thermal Images for the Evaluation of Building Pathologies. **Defect and Diffusion Forum**, v. 353, p. 23–27, 2014.
- BARREIRA, E.; ALMEIDA, R. M. S. F.; DELGADO, J. M. P. Q. Infrared thermography for assessing moisture related phenomena in building components. **Construction and Building Materials**, v. 110, p. 251–269, 2016.
- BAUER, E. et al. Infrared thermography – evaluation of the results reproducibility. **Structural Survey**, v. 33, n. 1, p. 20–35, 2015.
- BAUER, E. et al. Facades inspection with infrared thermography : cracks evaluation. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, p. 7, 2016a.
- BAUER, E. et al. Criteria for Identification of Ceramic Detachments in Building Facades with Infrared Thermography. **Building Pathology and Rehabilitation**, p. 51–68, 2016b.
- BAUER, E. et al. Analysis of building facade defects using infrared thermography : Laboratory studies. **Journal of Building Engineering**, v. 6, p. 93–104, 2016c.
- BAUER, E. ET AL. Critérios para aplicação da termografia de infravermelho passiva como técnica auxiliar ao diagnóstico de patologias em fachadas de edifícios. **Encontro Luso- Brasileiro de Degradação em Estruturas de Concreto Armado.**, v. 26, n. August, p. 619–630, 2014.
- BAUER, E.; MILHOMEM, P. M.; AIDAR, L. A. G. Evaluating the damage degree of cracking in facades using infrared thermography the elements for allowing degradation agents such as. **Journal of Civil Structural Health Monitoring**, p. 12, 2018.
- BAUER, E.; PAVON, E. Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios. **Concreto & Construção**, v. 79, n. September, p. 93–98, 2015.
- BÉRUBÉ, M.; DEROME, D.; ZMEUREANU, R. Infrared Physics & Technology Analysis of thermograms for the estimation of dimensions of cracks in building envelope. **Infrared Physics and Technology**, v. 52, n. 2–3, p. 70–78, 2009.
- BISEGNA, F. et al. A qualitative method for combining thermal imprints to emerging weak points of ancient wall structures by passive infrared thermography - A case study. **Journal of Cultural Heritage**, v. 15, n. 2, p. 199–202, 2014.
- CHEW, M. Y. L. Assessing building façades using infra-red thermography. **Structural Survey**, v. 16, n. 2, p. 81–86, 1998.
- DE FREITAS, S. S.; DE FREITAS, V. P.; BARREIRA, E. Detection of façade plaster detachments using infrared thermography - A nondestructive technique. **Construction and Building Materials**, v. 70, p. 80–87, 2014.
- FOX, M. et al. Thermography methodologies for detecting energy related building defects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 296–310, 2014.
- FOX, M. et al. Time-lapse thermography for building defect detection. **Energy & Buildings**, v. 92, p. 95–106,



2015.

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

MALDAGUE, X. P. **Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing**. [s.l: s.n.].

MARTÍNEZ, I. et al. Physico-chemical material characterization of historic unreinforced masonry buildings: The first step for a suitable intervention. **Construction and Building Materials**, v. 40, p. 352–360, 2013.

MENEZES, A.; GOMES, M. G. In-situ assessment of physical performance and degradation analysis of rendering walls. **Construction and Building Materials**, v. 75, p. 283–292, 2015.

MILHOMEM, P. M. CRITÉRIOS PARA IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DO GRAU DE DANO DE FISSURAS EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS COM APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHO. **Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UnB. Brasília**, p. 124, 2019.

MILHOMEM, P. M.; AIDAR, L. A. G.; BAUER, E. Estudo da evolução da temperatura nas regiões das fachadas por termografia. **PATORREB**, v. 6º, n. April, 2018.

P. JERNBERG et al. Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components. **CIB Publication 295**, p. 1–104, 2004.

USAMENTIAGA, R. et al. Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing. **Sensors (Switzerland)**, v. 14, n. 7, p. 12305–12348, 2014.