ESTADO DA ARTE DA UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE TERMOGRAFIA DA TÉCNICA DE TERMOGRAFIA EMBARCADA EM DRONES PARA INSPEÇÃO DE REVESTIMENTOS DE FACHADAS

ANDRADE, Renan P. (1); RESENDE, Maurício M. (2); MARANHÃO, Flávio L.(3); PORTELLA, Fábio (4); BULZICO, Bruna (5)

(1) Engenharia Civil, POLI/USP, renanandrade@usp.br;

(2) Engenharia Civil, Universidade São Judas, prof.mresende@usjt.br

(3) Engenharia Civil, POLI/USP, flavio.maranhao@usp.br

(4) Engenharia Civil, Universidade São Judas, fabioportella89@gmail.com

(5) Engenharia Civil, Universidade São Judas, brunabulzico@hotmail.com

Resumo: *A engenharia da construção civil ainda vê o uso de drones e câmeras térmicas como ferramentas com aplicações distintas para as demandas da construção civil. Pouco é investigado sobre os benefícios das duas técnicas quando associadas e aplicadas em conjunto. Neste sentido este trabalho objetiva apresentar a possibilidade da utilização conjunta das ferramentas para inspeções periódicas em revestimentos de fachadas. Para isto são apresentados os esforços já realizados para a sua disseminação na detecção de anomalias em fachadas aderidas. Contudo, contextualizar o tema e aprimorar a compreensão da técnica para o auxílio das demandas de inspeções periódicas pode contribuir para a disseminação da técnica como fonte de informação para realizar a manutenção do revestimento antes da sua ruptura.*

Palavras-chave: *Termografia infravermelha; drones; fachadas aderidas; manifestações patológicas, inovação tecnológica.*

Área do Conhecimento: *Engenharia Civil, Construção Civil, Qualidade e desempenho de produtos e sistemas construtivos*

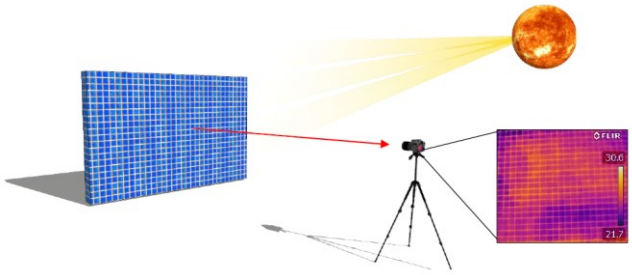
1 INTRODUÇÃO

Termografia infravermelha é uma técnica de testes não destrutivos usada para determinar a temperatura superficial de 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 (termograma) (BRIQUE, 2016).

A técnica termográfica pode ser dividida em duas abordagens de análise: passiva e 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 é analisada as diferenças de temperatura e o comportamento térmico de superfícies em condições normais de aplicação (Figura 1). 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). 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,

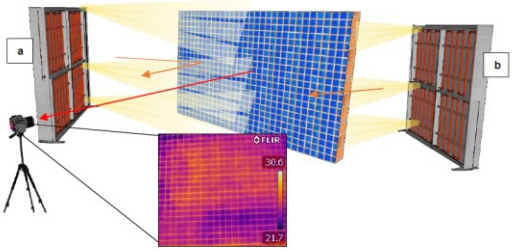
correspondendo a uma inspeção por reflexão (Figura 2 a). A fonte de calor artificial pode ser posicionada também ao lado oposto a superfície em análise, no qual o fluxo térmico ocorre de dentro para fora com relação ao ponto de visão, ou seja, uma análise por transmissão (Figura 2 b).

Figura 1 – Exemplo de aplicação da técnica de termografia em análise passiva com fluxo térmico de indução natural através do sol



FONTE: Autor

Figura 2 – Exemplo de 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



FONTE: Autor

Já em relação ao método de análise, a técnica termográfica pode ser classificada em qualitativa e quantitativa. No primeiro caso, os termogramas gerados são comparados com padrões térmicos com intuito de localizar anormalidades nos perfis analisados. Nas análises qualitativas os termogramas são interpretados visualmente e depende do conhecimento do analista com relação ao comportamento do objeto alvo, na qual são comparadas superfícies integras com aquelas que apresentam alguma anomalia para a compreensão do fenômeno presente. Enquanto que no segundo caso, as análises quantitativas contam com medições de temperatura, não esquecendo os parâmetros que devem ser inseridos para garantir a precisão da temperatura nos pontos em análise. Posteriormente, estas temperaturas serão utilizadas para determinar a gravidade da anomalia e definir as medidas de reparos necessárias.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar um estudo da arte da técnica de termografia para a realização de inspeções periódicas em revestimentos de fachadas para detecção de alterações e/ou defeitos no revestimento de forma a ser uma fonte de informação para realizar a manutenção do revestimento antes da sua ruptura.

2 A TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO APLICADA A AVALIAÇÃO DE FACHADAS

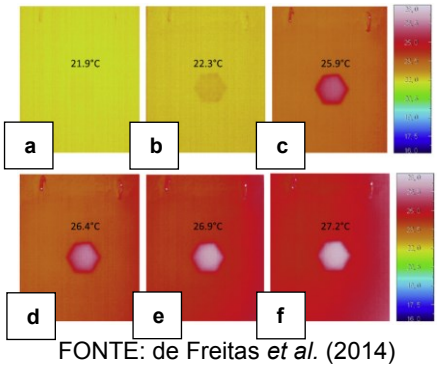
Grinzato, Vavilov e Kauppinen (1997) estudaram a termografia infravermelha a aplicada na avaliação quantitativa de envelopes da construção no qual simularam falhas em diversas composições de vedações verticais. Dentre as conclusões do estudo, os autores salientam que solicitação da superfície a fluxos térmicos são essenciais para uma análise termográfica quantitativa, com necessidade de estímulos por radiação solar ou artificiais para que isso ocorra. Complementam que avaliações passivas, ou seja, com aplicação da técnica de maneira passiva necessitam de investigações futuras.

Barreira (2004) estudou os princípios do funcionamento e os aspectos teóricos relativos a medição por termografia infravermelha. O autor salienta que a técnica tem grande potencial para a detecção de áreas de fachada ou cobertura com falhas de isolamento térmico, detecção de fugas de ar os envelopes e janelas da edificação, detecção de falhas em revestimentos de fachadas, avaliação do desempenho de sistemas construtivos e conforto térmico de sistemas revestidos e pavimentos. 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.

De Freitas *et al.* (2014) conseguiram detectar a simulação de descolamentos através da inserção de vazios

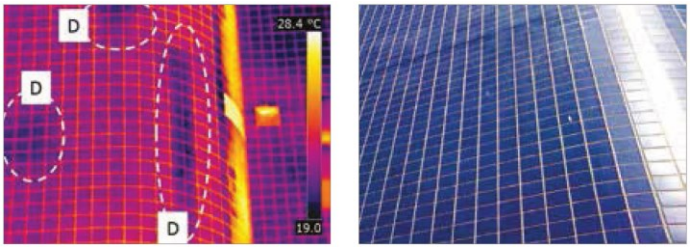
em revestimentos de gesso polimérico em pesquisa feita em ambiente laboratorial. Os autores observaram que os descolamentos simulados e testados produziram temperaturas mais elevadas do que o revestimento de gesso sem defeitos durante a exposição a uma fonte de calor com aplicação ativa (Figura 3). Em campo, Bauer e Pavón (2015) identificaram as manifestações patológicas em dias de sol e nublado. Os descolamentos foram 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 foi diminuindo após o pôr do sol (Figura 4).

Figura 3 – 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: de Freitas *et al.* (2014)

Figura 4 – 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)

O campo da construção civil e, mais especificamente, a aplicação da técnica para a inspeção de fachadas ainda considera o uso da termografia infravermelha e drones de maneira separada, com análise por termografia realizada em solo conforme os estudos antes apresentados, bem como a utilização de drones para inspeções visuais de viés qualitativo do estado de conservação dos sistemas. Em 2012, Eschmann *et al.* (2012) utilizaram o multirrotor octacoptero com câmera digital de alta resolução para a inspeção da fachada de edifício na Alemanha. Fotos foram tiradas em alta velocidade e frequência que, posteriormente, foram juntadas para obter uma imagem 2D completa de toda a fachada em uma resolução permitindo o mapeamento de danos e rachaduras observadas com precisão de milímetro. Pouco depois, Roca *et al.* (2013) também utilizaram um octacoptero para o mapeamento 3D de edifício através de nuvens de pontos com a utilização de sensor de escaneamento a laser acoplado no drone. Não apenas propor a modelagem 3D do edifício, os autores propõem a detecção automática de elementos da fachada, como portas e janelas.

De Dios e Ferruz (2006) utilizaram helicópteros de modo autônomo e pilotados remotamente para inspeção de edifícios com câmera digital e termografia infravermelha. Os autores atestaram a viabilidade da proposta de detecção de anomalias em fachadas e estabilização de imagens térmicas. Ellenberg *et al.* (2016) expõem a capacidade de usar UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) equipados com câmeras digitais e termográficas para a identificação rápida de destacamentos e seu tamanho na inspeção de pontes. Os autores abordam que dentre as principais vantagens da abordagem apresentada incluem sua capacidade de identificar rapidamente locais onde existem destacamentos, bem como seu potencial para otimizar procedimentos de detecção de danos relacionados no tabuleiro da ponte com baixo investimento tecnológico. Entrop e Vasenev (2017) apresentaram resultados sobre o desenvolvimento de um protocolo para voos com drones para o campo de termografia de edifícios. O protocolo foi aplicado e verificado durante voos testes para análise de painéis fotovoltaicos e cobertura de um edifício. Durante o desenvolvimento da pesquisa, os autores documentam que no momento do voo com o drone, podem ser observadas quatro formas de interação dinâmica: (1) com as condições meteorológicas do ambiente; (2) com o objeto alvo da pesquisa; (3) com o drone e; (4) com o sistema de operação.

3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA OBTENÇÃO DE TERMOGRAMAS PRECISOS PARA A DETECÇÃO DE ANOMALIAS

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 precisos. 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 da câmera, a resolução geométrica IFOV (*Instantaneous Field of View*), o foco e o ângulo de visão. 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.

3.1 Variáveis relacionadas ao equipamento

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

O IFOV, foco e ângulo de abertura dependem da lente e não podem ser analisadas separadamente. Os valores frequentemente encontrados quando só se emprega a lente própria do equipamento fica entre 0,6 e 3,7 mrad de IFOV, ângulo de abertura que pode variar entre 7 e 80 graus, sendo mais comum as lentes de 15 e 25 graus. O valor do IFOV e o ângulo de abertura 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, sendo que cada pixel analisado na imagem vai corresponder a uma área maior.

3.2 Variáveis relacionadas ao alvo

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. Também pode-se observar como a variedade de materiais com emissividade diferente gera grande amplitude do perfil de temperaturas, dificultando análise criteriosa do termograma dificultando ainda mais o processo de detecção de anomalias em fachadas (BAUER; 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 variação da emissividade de uma superfície para um mesmo comprimento de onda para não-metais é praticamente nula para ângulos de observação entre 0º e 60º em relação a perpendicular da superfície em análise, seja no eixo horizontal ou vertical do ângulo de visão. Após estes valores, a emissividade tende a 0 rapidamente (BARREIRA, 2004).

A presença de obstáculos posicionados nas áreas adjacentes a fachada analisada também influencia os resultados termográficos. A reflexão causada sobre a superfície alvo, as vezes proveniente de um objeto ou elemento posicionado no campo da imagem termográfica gera equívocos com relação a manchas nos termogramas, principalmente quando os estudos são feitos sobre uma forte incidência solar. Não obstante, a distância também apresenta influencia as 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, 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.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Evidências como estas, compiladas através de revisão bibliográfica embasam os primeiros conceitos relacionados ao desenvolvimento do *know how* necessário para o norteamento de novos estudos sobre a temática. Nessa circunstância, nota-se a importância do domínio da tecnologia e seus parâmetros, das condições ideias 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. O desenvolvimento de estudos laboratoriais em conjunto a estudos de campo com validação em casos reais de aplicação apresenta características mais robustas de exploração científica.

Além disto, se embarcada em drones, o processo de captura de termogramas em grandes alturas propicia a otimização do processo trazendo agilidade e eficiência em edifícios de grandes alturas ou em locais de difícil acesso e elimina interferências como elevadas distâncias e ângulo de visão do alvo. O estado da arte da termografia aplicada para a detecção de anomalias em revestimentos aderidos conta com diversos estudos de grande relevância para a viabilidade de aplicação da técnica para a detecção de anomalias. No entanto, deve-se salientar que grande parte deles são desenvolvidos em ambiente laboratorial e aqueles que são explorados em campo contam com a utilização da câmera em visada de nível terrestre, abrindo espaço para as interferências acima levantadas e evidenciando a necessidade de mais estudos sobre a aplicação da técnica embarcada em drone.

5 REFERÊNCIAS

BARREIRA, E. S. B. M. **Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrotérmico dos Edifícios**. Porto: Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção de Edifícios) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.

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

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

DE DIOS, J. R. M.; OLLERO, A.; FERRUZ, J. INFRARED INSPECTION OF BUILDINGS USING AUTONOMOUS HELICOPTERS. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 39, n. 16, p. 602–607, 2006.

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, nov. 2014.

ELLENBERG, A. et al. Bridge deck delamination identification from unmanned aerial vehicle infrared imagery. **Automation in Construction**, v. 72, p. 155–165, dez. 2016.

ENTROP, A. G.; VASENEV, A. Infrared drones in the construction industry: designing a protocol for building thermography procedures. **Energy Procedia**, v. 132, p. 63–68, out. 2017.

ESCHMANN, C. et al. Unmanned Aircraft Systems for Remote Building Inspection and Monitoring. **6th European Workshop on Structural Health Monitoring - Th.2.B.1**, 12 jan. 2012.

GRINZATO, E.; VAVILOV, V.; KAUPPINEN, T. Quantitative infrared thermography in buildings. **Energy and Buildings**, v. 29, p. 1–9, 1997.

KYLILI, A. et al. Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review. **Applied Energy**, v. 134, p. 531–549, 2014.

ROCA, D. et al. Low-cost aerial unit for outdoor inspection of building façades. **Automation in Construction**, v. 36, p. 128–135, dez. 2013.