

QUALIDADE E INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DETEÇÃO DE ANOMALIAS EM REVESTIMENTOS DE LADRILHOS POR TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHOS

Tomás Caldeira Lourenço, Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FCT-UNL, tc.lourenco@campus.fct.unl.

Luís Matias, Doutoramento em Eng. Civil, Departamento de Engenharia Civil, LNEC, Imatias@Inec.pt

Paulina Faria, Doutoramento em Eng. Civil, CERIS e Dep. Eng. Civil, Universidade NOVA de Lisboa, paulina.faria@fct.unl.pt

INTRODUÇÃO

O revestimento de fachadas com recurso a ladrilhos cerâmicos aderentes é uma das técnicas de revestimento mais complexas e que é usada desde há muito tempo, sendo uma das mais características de Portugal. A sua complexidade deve-se ao facto de ser um sistema constituído por três componentes com diferentes características e requisitos técnicos: o produto de colagem, sendo o mais comum o cimento-cola (NP EN 12004; 2007/2014), o ladrilho cerâmico (EN 14411; 2016) e o produto de preenchimento de juntas (EN 13888; 2009).

Por ser tão complexo, este tipo de revestimento encontra-se sujeito a um grande número de anomalias nos seus diferentes componentes. No entanto, o destacamento de ladrilhos merece especial atenção, não só por ser a anomalia desde há muito mais comum neste tipo de revestimento (representando cerca de 50% das anomalias verificadas [Carvalho Lucas; 2001 citando Dufour; Della Giustina; 1948], chegando a 71% no caso de Brasília [Bauer *et al.*; 2014; Bauer *et al.*; 2011]), mas também pelo facto de ter graves consequências estéticas, na redução do nível de desempenho da fachada e sobretudo devido ao facto de implicar riscos de segurança.

O destacamento de ladrilhos consiste na perda de aderência entre duas ou mais das seguintes camadas: suporte, cimento-cola e ladrilho cerâmico. Esta perda de aderência dá, inicialmente, lugar à criação de um vazio entre camadas que pode ser preenchido por ar ou água e que, no limite, provoca a queda do ladrilho. As principais causas de destacamento de ladrilhos cerâmicos são [Carvalho Lucas; 2001]:

- deficiente preparação do suporte (deve ser limpo antes da aplicação);
- escolha errada de materiais;
- colagem deficiente dos ladrilhos (por exemplo usando colagem simples em vez de colagem dupla);
- dimensionamento errado das juntas;
- deformações excessivas do suporte;
- presença de humidade.

Esta anomalia é atualmente analisada através de métodos que, apesar de capazes de a identificar, são apenas aplicáveis a pequenas áreas da fachada de cada vez, sendo necessário extrapolar os resultados obtidos de uma parte para o resto da parede; são de difícil utilização para edifícios em altura e são por vezes destrutivos (por exemplo o ensaio de arrancamento). Os métodos mais usados atualmente são [Silvestre *et al.*; 2008]:

- ensaio de arrancamento;
- ensaio de impacto de esfera (pavimentos);
- ensaio de percussão;
- ensaio de ultra-sons.

Face às limitações dos métodos correntemente usados para deteção de destacamentos, é necessário encontrar um método mais fácil e expedito de diagnóstico para este tipo de anomalia.

A termografia de infravermelhos é um método de diagnóstico não destrutivo cada vez mais conhecido devido à variedade de áreas onde pode ser aplicado (desde a área militar à saúde, passando pela inspeção de edifícios, entre outras). Usado cada vez mais na inspeção de edifícios, este método é reconhecido pela sua elevada capacidade de deteção de pontes térmicas e falta de isolamento térmico, infiltração e exfiltração de ar, presenças de humidade e anomalias em sistemas de impermeabilização [Matias; 2012; Maladague; 2001; Melrinho; 2014].

O método de diagnóstico baseia-se na capacidade de todos os materiais de, a uma dada temperatura, emitirem radiação térmica (uma parte do espectro eletromagnético que compreende parte da radiação infravermelha, a radiação visível e parte da radiação ultravioleta). Sendo a radiação máxima emitida por

um corpo a uma temperatura da ordem de grandeza dos 15-70°C (caso dos revestimentos em estudo) maioritariamente na zona do infravermelho, cujo máximo poder emissivo se encontra corresponde a comprimentos de onda entre os 10,1µm e os 8,5µm, é nesta região do espectro que a maioria das câmaras termográficas opera, recebendo a radiação eletromagnética e transformando-a em sinais que são concretizados sob a forma gráfica de um termograma.

Quando a radiação térmica incide sobre um corpo, pode ser dividida em três partes: uma parte é absorvida, outra é refletida e outra parte é transmitida (Hart; 1991). O conhecimento destes processos é fundamental para realizar uma boa inspeção termográfica, cujo objetivo é medir a radiação emitida pelo objeto em estudo, reduzindo ao máximo as radiações que podem “contaminar” o termograma. São os casos da radiação refletida pela superfície e da radiação que é emitida pelo espaço de ar entre a câmara e o alvo - duas frações de radiação que, tal como a fração emitida pelo objeto, sofrem atenuação atmosférica, função da transmitância da atmosfera (Usamentiaga et al., 2014). De forma a minimizar os erros e conseguir uma boa imagem termográfica, é então necessário quantificar vários parâmetros e introduzi-los no sistema (estes parâmetros serão explicados no capítulo Campanha de medições).

Existem dois tipos de técnicas de diagnóstico: a termografia passiva e a termografia ativa. O primeiro método consiste na interpretação das temperaturas superficiais sem imposição de qualquer tipo de fluxo térmico artificial ao objeto em análise. Assim, as variações térmicas que possam levar a um diagnóstico dever-se-ão ou à ação do sol, em casos de exposição, ou a um fluxo térmico que atravesse o elemento resultante de uma diferença de temperatura entre os dois meios ambientes separados pelo referido elemento.

Para uma inspeção de termografia ativa é necessário provocar uma variação térmica, quer seja da forma mais fácil, aquecendo o objeto de estudo com uma lâmpada ou placa de aquecimento, ou usando métodos mais alternativos como a “vibro-termografia”, em

que se aplicam vibrações ao objeto que podem realçar, por exemplo, a temperatura de fendas (Lourenço et al.; 2016).

A termografia ativa pode ainda ser dividida em dois métodos: o método de reflexão, em que a ação térmica é imposta do lado do objeto em que vai ser realizada a termografia (sendo o método indicado para deteção de anomalias superficiais), e o método de transmissão, em que o aquecimento é feito do lado do objeto oposto ao que vai ser observado pela câmara (o fluxo de calor que é criado neste método pode ser útil para detetar anomalias mais profundas).

De acordo com Lourenço et al. (2016), o vazio criado no destacamento de ladrilhos cerâmicos, ao ser preenchido por um elemento diferente do cimento-cola, como ar ou água entre as camadas do revestimento (Hart; 1991), cria condições distintas em termos de comportamento térmico que irão possibilitar, através do método adequado, a deteção da referida anomalia por análise termográfica.

Este método de ensaio não destrutivo já foi estudado por vários autores para deteção de anomalias em ladrilhos (Bauer et al.; 2014; Edis et al.; 2014) ou para propósitos diretamente relacionados (Bauer et al.; 2014; Freitas et al.; 2014; Theodorakeas et al.; 2014; Melrinho et al.; 2015; Freitas et al.; 2013), como o caso do destacamento de argamassas de reboco. No entanto, considera-se que deve ser realizada mais investigação para eliminar as dúvidas e pontos fracos associados ao método, como por exemplo a falta de normas de ensaio.

MODELOS EXPERIMENTAIS

Para o presente estudo foram realizados um total de quatro painéis com revestimento de ladrilhos cerâmicos em duas fachadas viradas a Oeste de duas células experimentais situadas na Estação Experimental de Exposição Natural de Revestimentos do LNEC (fig. 1). Na primeira célula (célula 1), os ladrilhos foram colocados sobre um suporte de ETICS (sistema de isolamento térmico pelo exterior); na segunda célula (célula 2) os ladrilhos foram colocados sobre a solução mais corrente de

reboco cimentício de regularização. Os dois painéis feitos em cada célula diferem um do outro na cor dos ladrilhos; assim, cada fachada contém um painel de ladrilhos pretos à esquerda e um painel de ladrilhos brancos à direita.

Dentro de cada painel existem propositadamente ladrilhos bem aderentes e ladrilhos cujo tardo contém um espaço “vazio”, isto é, sem argamassa de colagem, simulando o destacamento dos ladrilhos. Os ladrilhos com simulação de destacamento apresentam-se com o mesmo posicionamento relativo em cada painel. Na figura 2 encontra-se uma fotografia da fachada da célula com revestimento do tipo ETICS associada a um esquema das anomalias provocadas.

Os painéis foram realizados com recurso aos seguintes materiais (designações comerciais) antes do preenchimento das juntas:

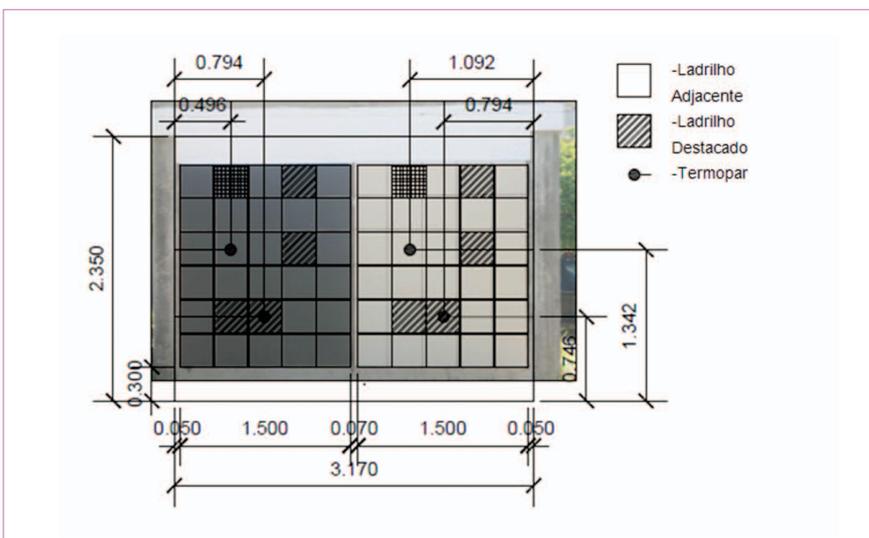
- cimento-cola flexível para colagem de peças cerâmicas de qualquer absorção de água em paredes e pavimentos, interiores e exteriores (*Weber.col flex M*);
- ladrilhos de grés porcelânico retificado (0,30x0,30m²) *Revigres crom.branco* (ladrilhos brancos) e *Revigres crom.preto* (ladrilhos pretos).

Na célula com suporte em ETICS (Weber), durante a execução do barramento do sistema de isolamento pelo exterior, foram colocados dois termopares em cada painel (sob os ladrilhos) nos locais correspondentes a um ladrilho destacado e a um ladrilho aderente. Estes termopares destinam-se à medição em contínuo das diferenças de temperaturas entre os ladrilhos aderentes e destacados. A instrumentação dos painéis com termopares encontra-se esquematizada na figura 2.

Os ladrilhos foram então colados através do método de colagem simples com talocha dentada de 9mm e uma espessura de colagem de cerca de 3mm. As juntas entre ladrilhos distam de 5mm conforme recomendação da APICER (2003). A simulação de anomalia nos ladrilhos representados na figura 2 foi conseguida aplicando a mesma espessura de cimento-cola mas apenas nos cantos de cada ladrilho, deixando assim um espaço



> 1



> 2



> 3

de ar que simula o que acontece aquando do destacamento de ladrilhos nos casos reais. Na figura 3 pode-se ver a colocação dos ladrilhos com anomalia, bem como o espaço criado no seu tardoz.

CAMPANHA DE MEDIÇÕES

Como referido anteriormente, procurando replicar os casos em obra em que pode ser útil a informação acerca da qualidade da aplicação dos ladrilhos antes de se proceder ao fechamento das juntas, foi realizada uma campanha de medições durante um dia com sucessivas termografias, de modo a verificar a possibilidade de detetar as referidas anomalias.

A câmara termográfica utilizada foi o modelo *ThermaCAM P640* da *FLIR Systems*, existente no Núcleo de Isolamentos e Revestimentos do LNEC e cuja gama espectral se situa entre os $7,5\mu\text{m}$ e os $13\mu\text{m}$.

As medições foram realizadas utilizando um método de termografia passivo, utilizando a radiação solar como principal elemento de aquecimento. Este método foi o escolhido pois, para além de o aquecimento do lado da superfície (método de reflexão) ser o mais indicado para deteção de anomalias superficiais, este é também o mais simples. Responde-se, assim, ao objetivo de encontrar um método simples, expedito e não destrutivo de deteção de anomalias.

De salientar que, para a campanha experimental, foi necessário reunir alguns parâmetros a introduzir na câmara de forma a obter os resultados o mais fidedignos possível. Os parâmetros medidos foram os seguintes:

- Emitância – este parâmetro é com certeza o mais importante numa inspeção termográfica, sobretudo para materiais com baixa emitância (onde uma pequena variação de emissividade pode levar a grandes variações nas temperaturas registadas). O método utilizado para a medição deste parâmetro foi o “método da fita preta”, que consiste em usar uma fita preta de

> Figura 1: Célula experimental 1 (a) e célula experimental 2 (b).

> Figura 2: Fotografia da fachada revestida com ETICS com representação esquemática das anomalias e instrumentação.

> Figura 3: Aplicação de um ladrilho com simulação de anomalia (a) e espaço criado no tardoz do ladrilho com anomalia (b).

emitância conhecida que é colada ao material a estudar; o objeto é depois aquecido preferencialmente até à temperatura a que vai estar sujeito durante o ensaio e é obtida uma termografia (com a emitância definida para a fita preta). Posteriormente, através de um método iterativo, muda-se a emitância nas configurações do equipamento até se conseguir igualar as temperaturas do objeto em estudo e da fita. O valor correspondente a esta igualdade é a emitância do material. No caso dos ladrilhos em estudo, a emitância foi medida em laboratório em provetes constituídos pelos mesmos ladrilhos aquecidos com uma placa de aquecimento [Matias; 2012].

- Temperatura refletida – este parâmetro foi obtido segundo o método de reflexão descrito no manual do equipamento termográfico [FLIR Systems; 2006]. Em frente aos painéis foi colocada uma folha de alumínio amarrotada e alisada (para que a radiação refletida fosse o mais difusa possível) e a sua temperatura (temperatura refletida) foi então medida recorrendo a uma termografia cujos parâmetros de emitância e distância ao objeto são 1 e 0m respetivamente.
- Temperatura ambiente – Este parâmetro serve sobretudo para que o software da

câmara consiga fazer os acertos relativos à emissão da atmosfera entre o objeto a medir e a câmara [Usamentiaga et al; 2014].

A temperatura foi medida com recurso a um termo-higrómetro *Rotronic Higrolog*.

- Humidade relativa – Medida com recurso ao mesmo equipamento que a temperatura ambiente, a humidade relativa, em conjunto com a distância ao objeto, é necessária para o cálculo da transmitância da atmosfera (atenuação atmosférica).
- Distância – Como referido no ponto acima, este valor serve para que sejam feitas as correções dos valores devido à atenuação atmosférica. Este valor foi medido com recurso a uma fita métrica.

No cálculo das temperaturas por parte da câmara de infravermelhos são adotadas algumas simplificações como a lei de *Kirchhoff* (para uma determinada temperatura e comprimento de onda a emissividade espectral e a absortividade espectral são iguais [Hart; 1991]). Assim, assumindo que a absorptância é igual à emitância, facilmente se obtém o valor da refletância de um corpo opaco (de transmitância nula) dado que a soma da absorptância com a refletância é igual à unidade. No entanto, esta simplificação só é válida sem incidência de radiação solar.

A determinação de parâmetros como a absorptância ou o seu complementar, a refletância, é fundamental para a fundamentação dos fenómenos verificados (diferenças de temperaturas superficiais).

A determinação da refletância dos ladrilhos foi realizada usando dois piranómetros *Kipp & Zonen CM5* montados como se observa na figura 4. Assim, através da adaptação da norma ASTM E1918-06 [2006], destinada à determinação da refletância de superfícies horizontais ou de baixo declive, foi possível obter o valor da refletância de cada painel, dividindo a intensidade da radiação refletida pela intensidade da radiação incidente. Como resultado deste ensaio obteve-se, tal como esperado, um valor de refletância bastante superior no

painel de ladrilhos brancos (0,55) comparativamente ao de ladrilhos pretos (0,23). Analogamente, a absorção de radiação por parte dos ladrilhos pretos será superior. Sendo os valores de emitância iguais para os ladrilhos de diferente cor (0,88), os painéis compostos por ladrilhos pretos atingem temperaturas superiores e emitem maiores quantidades de radiação.

Com todos os parâmetros definidos, foram realizadas várias termografias ao longo de um dia (19/05/2016), espaçadas de cerca de uma hora, sendo que os períodos de início da incidência do sol e de início do arrefecimento ao anoitecer tiveram uma maior densidade de termografias, pois são aqueles em que se espera maior variação das condições ambiente. Foram tiradas 6 termografias por célula: a primeira com o objetivo de medir a temperatura refletida; seguidamente foram tiradas duas termografias ao painel preto (uma à parte superior e outra à inferior, procurando maximizar a qualidade da imagem e minimizar os erros devidos à atenuação atmosférica) e duas ao painel branco; para finalizar foi registada uma termografia geral apanhando toda a fachada poente da célula.

Para além das termografias, durante 6 dias consecutivos foi registada a evolução das temperaturas (de 10 em 10min) com recurso aos termopares anteriormente mencionados.

ANÁLISE DE RESULTADOS

A termografia de infravermelhos é um método gráfico de deteção de anomalias, isto é, pretende-se que o resultado final de uma campanha experimental deste tipo tenha como resultado um conjunto de imagens que, só por si, permitam a visualização das anomalias, caso estas existam. Apesar da análise de uma termografia ser, em geral, bastante simples (conhecendo o objeto em análise), intuitiva até, é importante nesta fase de estudo do método de diagnóstico provar com dados concretos as suas capacidades.



> 4

> Figura 4: Medição da refletância de um painel com ladrilhos pretos.

Nas figuras 5 e 6 são apresentadas duas seqüências de termografias onde se representa a evolução das temperaturas ao longo do dia para as duas células em estudo. As diferenças de temperaturas são facilmente detetáveis, sendo que, conforme as escalas apresentadas ao lado direito de cada termograma, as zonas mais esbranquiçadas correspondem a temperaturas mais elevadas e, pelo contrário, as zonas a azul correspondem a temperaturas mais baixas.

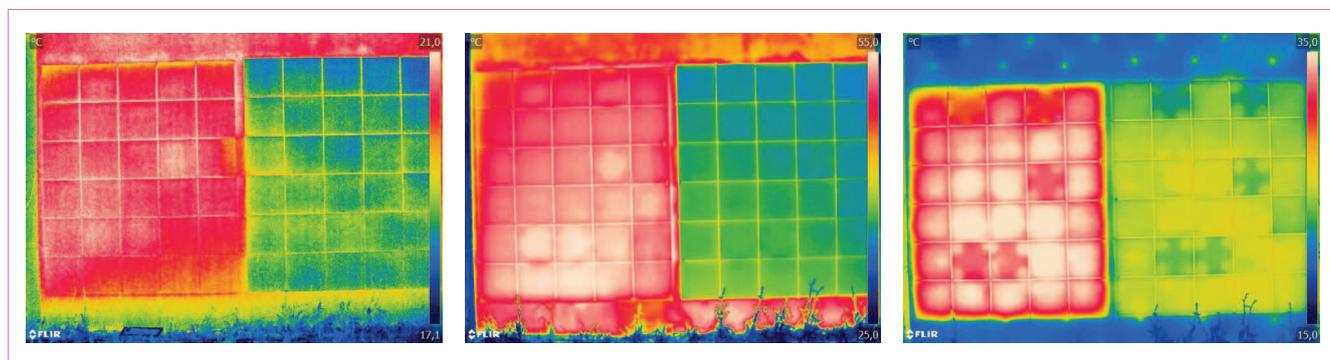
Na figura 5 encontram-se 3 termogramas gerais que apanham os painéis preto (à esquerda e mais quente) e branco (à direita e mais frio) executados na célula 1 (sobre o suporte de ETICS). O mesmo acontece na figura 6 mas desta vez para a célula 2 (sobre o reboco de regularização). De notar que as escalas não são iguais para todos os termogramas. Observando as termografias apresentadas,

podem tirar-se várias ilações:

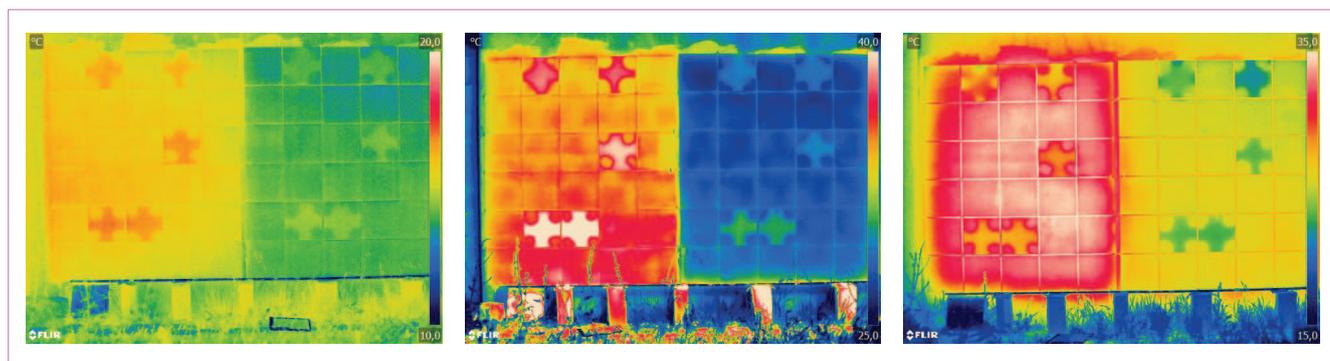
- Comparando as termografias com a representação esquemática das fachadas das células (fig. 2), observa-se que os destacamentos, em geral, são facilmente identificáveis em determinados períodos.
- Tanto no caso da célula 1 como da célula 2, a identificação de anomalias é perfeitamente visível no início da incidência da radiação e no início do arrefecimento (às 15h:30min e 20h:30min, respetivamente).
- As temperaturas obtidas são sempre superiores nos ladrilhos mais escuros.
- As temperaturas na célula 1 são superiores às temperaturas da célula 2.
- A identificação de anomalias na célula 1 (sobre ETICS) é mais difícil que na célula 2.
- Nas termografias das 15h30min às zonas destacadas correspondem temperaturas mais elevadas do que às zonas aderentes,

verificando-se o oposto nas medições efetuadas às 20h30min.

Como se pode verificar, a identificação dos destacamentos é bastante simples; no entanto, para comprovar as diferenças analiticamente foi feita uma análise das temperaturas utilizando o *software FLIR Tools*. Apesar das temperaturas obtidas serem as mesmas, para a análise de temperaturas foram usadas, para cada painel, termografias obtidas mais próximas das fachadas. Esta opção justifica-se não só por se obter uma melhor resolução mas sobretudo pelo facto de uma termografia que apanhe dois painéis de cores diferentes (como as apresentadas acima) ter como desvantagem existir uma dificuldade acrescida na definição de uma gama de temperaturas que se adequem às temperaturas observadas nos dois painéis simultaneamente,



> 5



> 6

> Figura 5: Termografias tiradas à célula 1 às 09h:10min (esquerda), 15h30min (centro) e 20h30min (direita).
 > Figura 6: Termografias tiradas à célula 2 às 09h:10min (esquerda), 15h30min (centro) e 20h30min (direita).

que resulta numa menor resolução da imagem. Para a análise da evolução das temperaturas foi utilizada a média das temperaturas obtidas para cada ladrilho destacado e aderente, respetivas a cada painel.

De seguida apresentam-se as curvas com a variação de temperatura para os diferentes painéis [figuras 7 e 8].

Pela análise dos gráficos das figuras 7 e 8 pode observar-se que as curvas obtidas têm andamentos semelhantes para os diferentes painéis. As temperaturas vão assim aumentando durante a parte da manhã, devido ao aumento de temperatura do ar e à radiação difusa. Aproximadamente a partir das 14h00min, o declive da curva de temperatura fica mais acentuado devido ao início da incidência do sol nas fachadas (a Oeste). As temperaturas atingem um valor máximo entre as 17h00min e as 18h00min e seguidamente começam a

diminuir devido à menor intensidade da radiação solar, bem como à descida da temperatura ambiente.

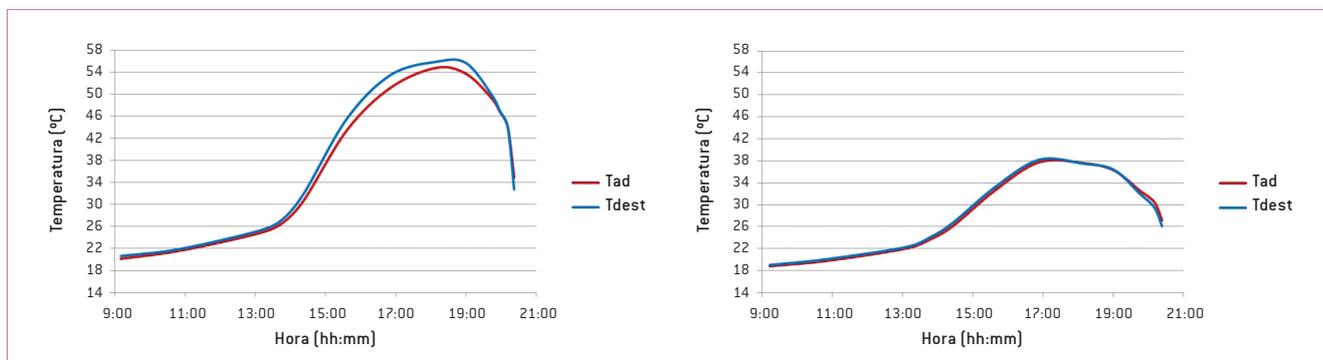
Analisando as diferenças entre as células (figura 9), como seria de esperar, as temperaturas atingidas são superiores nos painéis com ladrilhos pretos comparativamente aos brancos [cerca de 17°C superiores na célula 1 e 13°C acima na célula 2].

Relativamente às temperaturas obtidas nos diferentes tipos de suporte, verificam-se temperaturas superiores no caso da célula 1 (suporte de ETICS). Para os ladrilhos aderentes, as temperaturas obtidas foram cerca de 7°C superiores no caso dos painéis com ladrilhos pretos e 3°C acima no caso dos painéis com ladrilhos brancos.

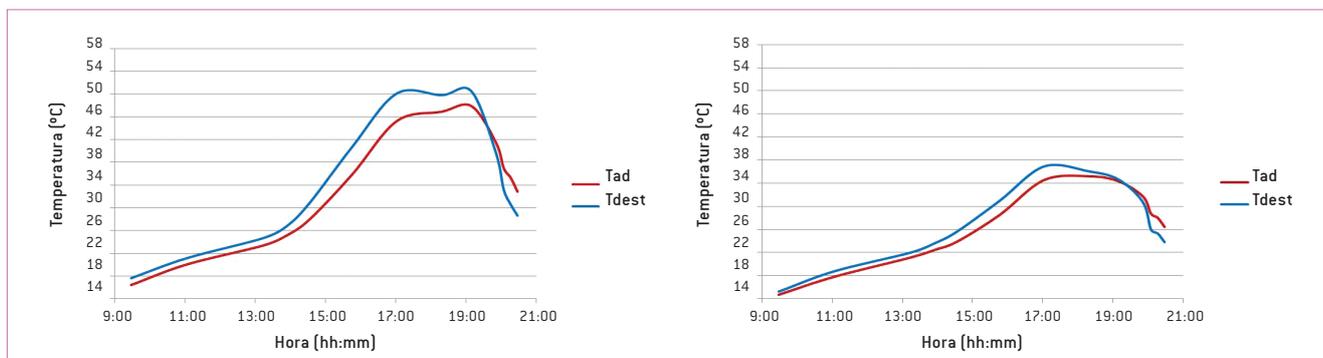
Após a análise da evolução das temperaturas nos ladrilhos aderentes partiu-se para a análise da diferença de temperaturas entre

zonas com ladrilhos aderentes e destacados. Na figura 10 representa-se a evolução do diferencial de temperatura entre ladrilhos destacados e aderentes ao longo do dia para os diferentes painéis.

Observou-se, assim, que esta diferença de temperaturas entre zonas destacadas e aderentes depende não só da solução adotada (suporte e cor dos ladrilhos) mas sobretudo depende da altura do dia. Apesar da temperatura máxima nos ladrilhos observada ser entre as 17h00min e as 18h00min, altura do dia em que os ladrilhos absorveram maior quantidade de radiação térmica, a máxima diferença de temperatura ocorre após, cerca de, 1h e 30min de incidência de radiação (15h30min). Observou-se também uma inversão do diferencial de temperatura entre as zonas destacadas e aderentes quando o sol se põe. Nessa altura, como a temperatura no espaço de ar criado no



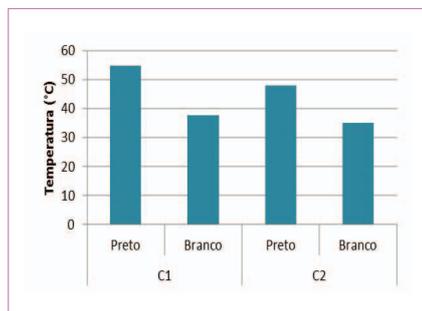
> 7



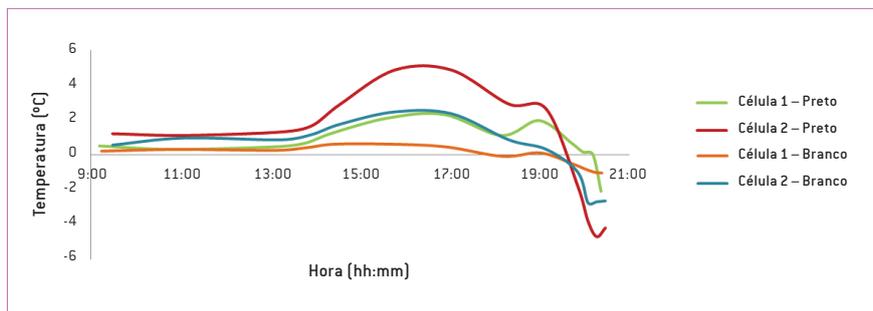
> 8

> Figura 5: Termografias tiradas à célula 1 às 09h:10min (esquerda), 15h30min (centro) e 20h30min (direita).

> Figura 6: Termografias tiradas à célula 2 às 09h:10min (esquerda), 15h30min (centro) e 20h30min (direita).



> 9



> 10

tardoz do destacamento (zona anómala) varia bastante mais rapidamente, a temperatura nessas zonas anómalas é inferior à temperatura das zona aderentes.

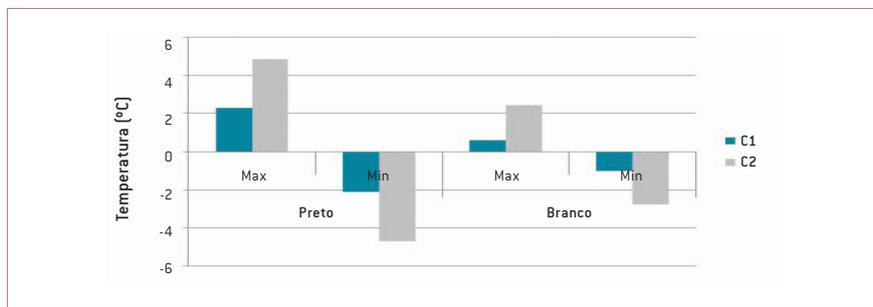
As diferenças máximas de temperatura (período de início da incidência da radiação solar) e mínimas (período de arrefecimento) encontram-se representadas na figura 11.

É perceptível que a célula 2 apresenta maiores diferenciais de temperatura entre zonas aderentes e destacadas, o que leva à conclusão de que uma solução do tipo ETICS (maior isolamento térmico) dificulta a deteção de destacamentos devido a uma resistência térmica superior que acaba por dissimular o efeito da resistência térmica adicional do espaço de ar. É também possível observar um maior diferencial de temperaturas para os painéis com ladrilhos pretos. A explicação reside no facto de uma maior absorção de radiação destes ladrilhos levar a uma maior e mais rápida variação de temperatura, comportamento que é potenciado pelos destacamentos.

CONCLUSÕES

Com os primeiros resultados deste estudo foi já possível tirar as seguintes conclusões:

- A termografia de infravermelhos é uma ferramenta capaz de diagnosticar destacamento de ladrilhos em fachadas com juntas abertas, sendo útil para inspeções da qualidade de aplicação precocemente, antes das juntas serem fechadas.



> 11

- A verificação da capacidade de destacamentos com juntas abertas leva à suposição da possibilidade da verificação destas anomalias tanto nos casos de juntas fechadas (fase seguinte do estudo) como no caso de juntas degradadas ou quase inexistentes de alguns edifícios com fachadas em mau estado.
- A verificação de anomalias de destacamento é mais fácil nas seguintes situações:
 - fachadas de cor escura;
 - fachadas sem isolamento térmico pelo exterior.
- Para uma melhor qualidade das termografias, estas devem ser realizadas no início da incidência de radiação na fachada (entre 30min e 1h após a incidência) ou no início do arrefecimento (num intervalo até 1h após o sombreamento da fachada).
- Para além das situações mencionadas em epígrafe, salienta-se ainda que as medições devem ser realizadas preferencialmente em dias de céu limpo e com pouco vento.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se a colaboração da empresa Saint-Gobain Weber Portugal pelo fornecimento do material para execução do ETICS, respetiva aplicação e colagem dos ladrilhos. Agradece-se também à empresa Revigres pela cedência dos ladrilhos cerâmicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APICER, 2003 - Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos. Associação portuguesa da indústria de cerâmica (APICER), Coimbra.
- ASTM E1918-2006 - Standard test method for measuring solar reflectance of horizontal and low-sloped surfaces in the field. Technical report, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- BAUER, E., et al., 2011 - Identification and quantification of failure modes of new buildings facades in Brasília. XII International Conference on Durability of Building Materials and Components, FEUP Edições, Vol. 3, pp. 1089-1096.
- BAUER, E., et al, 2015 - Infrared thermography -

> Figura 9: Temperaturas máximas obtidas, nos diferentes painéis, para os ladrilhos aderentes.

> Figura 10: Diferenças de temperatura entre ladrilhos destacados e aderentes.

> Figura 11: Diferenciais de temperatura entre ladrilhos aderentes e destacados nos painéis pretos e brancos das células 1 (C1) e 2 (C2).

- evaluation of the results reproducibility. *Structural survey*, Vol. 33, Issue 1 (2015), pp. 20-35 (doi: 10.1108/SS-05-2014-0021).
- BAUER, E., et al, 2014 – Criteria for application of passive infrared thermography as an auxiliary technique in the diagnosis of pathologies on the facades of buildings. 1º Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas em Betão Armado, Salvador, Bahia, Brasil (2014), pp. 266-277.
 - CARVALHO LUCAS, J. A., 2001 - Anomalias em revestimentos cerâmicos colados. ITCM 28. Lis-boa. LNEC. ISBN: 972-49-1886-6.
 - DUFOUR, J., DELLA GIUSTINA, G., 1948 – La pathologie des carrelages. Paris, Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics (ITBP). Annales de l'ITBP No 426, Juillet-Août 1948, Série Questions Générales 162.
 - EDIS, E., et al, 2015 - Time-dependent passive building thermography for detecting delamination of adhered ceramic cladding. *J. Nondestructive Evaluation*, Vol. 34, Issue 3 (2015), article 24 (doi: 10.1007/s10921-015-0297-5).
 - EN 13888:2009 - Grout for tiles; Requirements, evaluation of conformity, classification and designation. Brussels: Committee European de Normalization [CEN].
 - EN 14411:2016 - Ceramic tiles; Definition, classification, characteristics, assessment and verification of constancy of performance and marking. Brussels: Comittée European de Normalisation [CEN].
 - FREITAS, J., et al, 2014 – Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, Vol. 14, N. 1 (2014), pp. 57-73.
 - FLIR SYSTEMS, 2006 – Manual do utilizador. Publ. No 1558561 Ver. A147 – Portuguese version.
 - FREITAS, S., et al, 2014 - Detection of facade plaster detachments using infrared thermography - A nondestructive technique. *Construction and Building Materials*, Vol. 70 (2014), pp. 80-87. (doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.07.094).
 - HART, J. M., 1991 - A practical guide to infra-red thermography for building surveys. Building Research Establishment Report. ISBN: 0 85125 448 9.
 - LOURENÇO, T., et al, 2016 - Anomaly diagnosis in ceramic claddings by thermography - A review. 7th International Conference on Safety and Durability of Structures [ICOSADOS], 2016, UTAD, Portugal (ISBN:978-989-20-6683-7).
 - MALADAGUE, X., 2001 - Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing. Editors: K. Chang. Wiley-Interscience. ISBN 0-471-18190-0.
 - MATIAS, L., 2012 - Testing Techniques for Structures Inspection. DURATINET project. Lisbon, LNEC, 29-30th May 2012.
 - MELRINHO, A., 2014 - Anomalias em impermeabilizações de coberturas em terraço: Detecção por termografia de infravermelhos. Dissertação de mestrado, Universidade Nova de Lisboa.
 - MELRINHO, A., et al, 2015 - Detecção de anomalias em impermeabilizações de coberturas em terraço através da termografia de infravermelhos. *TECH ITT*, Vol.13, N. 37 (2015), pp. 29-38.
 - NP EN 12004:2007 + A1:2014 - Colas para ladrilhos; Requisitos, avaliação da conformidade, classificação e designação. Caparica: Instituto Português da Qualidade [IPQ].
 - SILVESTRE, J., BRITO, J., 2008 – Inspeção e diagnóstico de revestimentos cerâmicos aderentes. *Revista Eng. Civil - U. Minho*, N. 30 (2008), pp. 67-82.
 - THEODORAKEAS, P., et al, 2014 - Quantitative analysis of plastered mosaics by means of active infrared thermography. *Construction and Building Materials*, Vol. 73 (2014), pp. 417-425 (doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.089).
 - USAMENTIAGA, R., 2014 - Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing. *Sensors*, 14 (2014), pp. 12305-12348 (doi:10.3390/s140712305)