

A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspecção e manutenção dos edifícios

Luís Viegas Mendonça
Engenheiro Civil
Spybuilding Lda. - Director Geral

Miguel Martins do Amaral
Engenheiro Civil
Spybuilding Lda. - Director da Delegação de Lisboa

Pedro Soares Catarino
Engenheiro Civil
Spybuilding Lda. - Director Técnico

Sumário

A presente comunicação tem como objectivo, apresentar a tecnologia de termografia por infravermelhos como ferramenta útil para os trabalhos de inspecção e manutenção de edifícios. Apresenta-se a história e teoria desta técnica bem como a descrição e exemplificação da sua aplicação prática, no âmbito da inspecção e manutenção de edifícios, na vertente da engenharia civil.

O que é a radiação infravermelha?

Os raios infravermelhos foram descobertos em 1800, por Sir William Herschel, um astrónomo inglês, quando tentava descobrir quais as cores do espectro que eram responsáveis pelo aquecimento dos objectos. Concluiu que a temperatura aumentava à medida que se passava do violeta para o vermelho mas, mais, descobriu que a maior temperatura ocorria para além do vermelho, para além do visível.



Fig. 1 – A maior temperatura situa-se para além do vermelho

Os raios caloríficos são hoje conhecidos como raios infravermelhos. Quanto mais quente está o objecto, maior é a radiação. Radiação infravermelha é sinónimo de radiação de calor.

Os raios infravermelhos fazem parte do espectro electromagnético. Este tipo de radiação, no vácuo, desloca-se à velocidade da luz, relativamente ao observador. A visão humana apenas detecta uma pequena parte desse espectro, cujo comprimento de onda se situa entre $0,4\ \mu\text{m}$ e $0,7\ \mu\text{m}$.

Os raios infravermelhos têm um comprimento de onda superior aos visíveis, podendo ser divididos em ondas curtas ($2\text{-}5\ \mu\text{m}$) e ondas longas ($8\text{-}14\ \mu\text{m}$), sendo que é neste último intervalo que trabalham as câmaras termográficas utilizadas em edifícios.

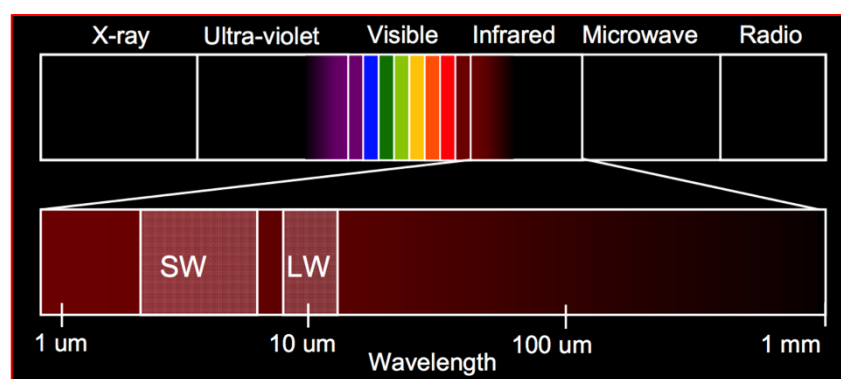


Fig. 2 - Espectro electromagnético

História

A história da termografia começa há, aproximadamente, 200 anos. Em 1800, William Herschel, e depois seu filho John Herschel (1840), realizaram as primeiras imagens utilizando o sistema infravermelho por meio da técnica evaporográfica, ou seja, a evaporação do álcool obtido de uma superfície pintada com carbon.

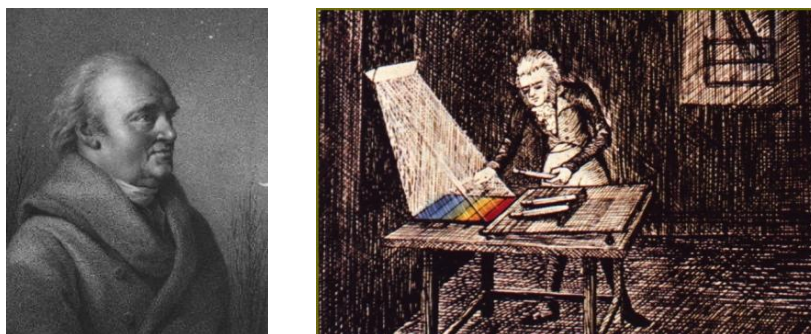


Fig. 3 – Sir William Herschel

Em 1843, Henry Becquerel descobriu que certas substâncias emitiam luminescência quando expostas à radiação infravermelha, além de que poderiam ser produzidas emulsões fotográficas sensíveis à radiação próxima do infravermelho.

Samuel Langley, em 1880, produziu o primeiro bolómetro, que é um aparelho capaz de medir diferenças de temperatura extremamente pequenas, por meio da variação da resistência eléctrica de um metal com a variação da sua temperatura.

Já Case, em 1917, desenvolveu o primeiro detector baseado na interacção direta entre fótons da radiação infravermelha e elétrões do material (sulfato de tálio).

O primeiro termograma foi elaborado por Czerny, em 1929.

Na metade dos anos de 1940, no período da Segunda Guerra Mundial, foi utilizado o Sistema de Visão Noturna em tanques alemães para a invasão da Rússia. A resposta dos aliados foi a elaboração e o desenvolvimento da FLIR – Forward Looking Infra Red (visão dianteira por infravermelhos), utilizada pelo exército americano para localização dos inimigos. O emprego do sistema não se limitou à localização de tropas, abrangendo também o desenvolvimento de armamento (mísseis) com detectores de calor. Em 1946, surge o scanner de infravermelhos de uso militar, com a característica da produção de um termograma em horas.

Seguindo os avanços, em 1954, era possível o próprio sistema gerar uma imagem em duas dimensões em 45 minutos.

Nos anos 1960 e 1970, houve um salto significativo com o desenvolvimento de scanners infravermelhos e o lançamento de sistemas integrados de formação de imagens termais instantâneas. A imagem já era gerada em 5 minutos, com a determinação de temperatura.

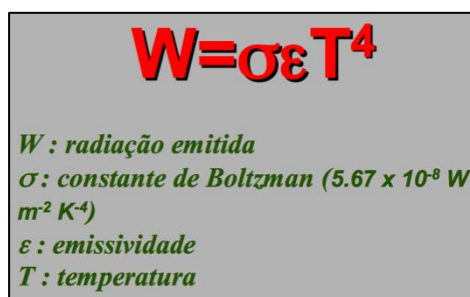
Em 1975, foi desenvolvido um sistema que permitia a visão termográfica e a visão óptica simultaneamente. Este sistema foi denominado ENOUX e baseava-se num sistema eléctrico óptico. Entre 1980 e 1990 a imagem em tempo real é consagrada. A redução no tempo de produção da imagem acompanha o avanço nos equipamentos de captura e tratamento da imagem.

Com a substituição dos sistemas de refrigeração de nitrogénio líquido pelos sistemas de refrigeração termoeléctricos, associada ao uso da computação – programas e equipamentos – foram lançados termovisores mais compactos e versáteis. O salto tecnológico ocorre com

o aparecimento do Charge Coupled Device (CCD) e logo a seguir com os Focal Plane Arrays (FPAs).

O que é a termografia por infravermelhos?

Todos os objectos emitem radiação infravermelha. A intensidade da radiação emitida depende de dois factores: da temperatura do objecto e da capacidade do objecto de emitir radiação. Esta última é conhecida por emissividade (ϵ).



O diagrama apresenta a equação $W = \sigma \epsilon T^4$ em letras vermelhas grandes. Abaixo, em texto verde, estão as definições das variáveis: W : radiação emitida, σ : constante de Boltzman ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$), ϵ : emissividade, e T : temperatura.

$$W = \sigma \epsilon T^4$$

W : radiação emitida
 σ : constante de Boltzman ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)
 ϵ : emissividade
 T : temperatura

Fig. 4 – Lei de Stefan-Boltzman

Emissividade é definida como sendo a capacidade que o material tem para radiar energia comparada com a de um “corpo negro perfeito” (o qual apresenta $\epsilon = 1$).

Um corpo negro perfeito é um corpo que absorve toda a luz recebida e não reflecte nenhuma.

Existe uma lei da Física que diz que todos os materiais com uma temperatura acima do zero absoluto (-273°C) radiam calor. A radiação de calor significa o mesmo que radiação infravermelha. Quanto mais quente está o objecto, maior a radiação.

A termografia por infravermelhos (TI) consiste na captação de imagens de calor (termogramas), não visíveis pelo olho humano, através de uma câmara termográfica.

A imagem infravermelha deve ser acompanhada por uma medição térmica precisa, para poder reflectir as condições reais de um objecto.

A análise dos dados obtidos por inspecção termográfica é fundamental e deve ser baseada no conhecimento adquirido em formação especializada e consolidado com a experiência ao longo dos anos.

Equipamento

A inspecção termográfica por infravermelhos é realizada utilizando essencialmente câmaras termográficas, e alguns equipamentos acessórios, consoante os casos, tais como, por exemplo termómetros de contacto (para permitir a determinação da emissividade) ou medidores de radiação térmica (para análise da envolvente).



Fig. 5 - Câmara termográfica FLIR, termómetro de contacto e medidor de radiação

Uma câmara de termografia por infravermelhos é um aparelho que detecta energia infravermelha (calor), a converte em sinal eléctrico e produz imagens, efectuando cálculos de temperatura.

A radiação calorífica está próxima da radiação luminosa visível, e pertence à vulgarmente chamada radiação electromagnética. Propaga-se a 300.000 km/s, ou seja, à habitualmente designada velocidade da luz.

Apesar de até ao momento, apenas se ter referido radiação, o utilizador desta tecnologia está interessado é em temperatura. Como a relação entre radiação e temperatura é uma lei física, tornou-se possível que as câmaras termográficas meçam radiação e a convertam em temperatura.

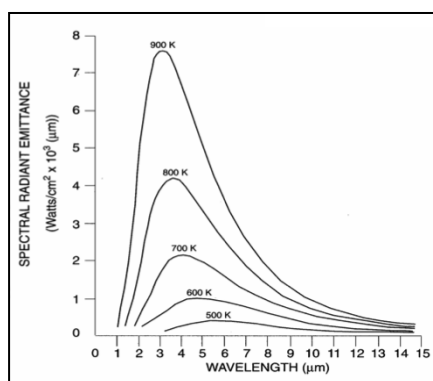


Fig. 6 – Relação entre comprimento de onda, radiação e temperatura

A nova tecnologia utilizada nos detectores (componente principal das câmaras termográficas), a imagem visual integrada e o software hoje disponível, permitem a realização de inspecções termográficas excepcionalmente produtivas e precisas.

Termografia em edifícios

A termografia por infravermelhos tem inúmeras aplicações em edifícios. Pode ser utilizada para detecção de causas de patologias verificadas visualmente, tal como pode ser empregue como instrumento de engenharia preventiva, descobrindo patologias ainda não aparentes, mas já embrionárias.

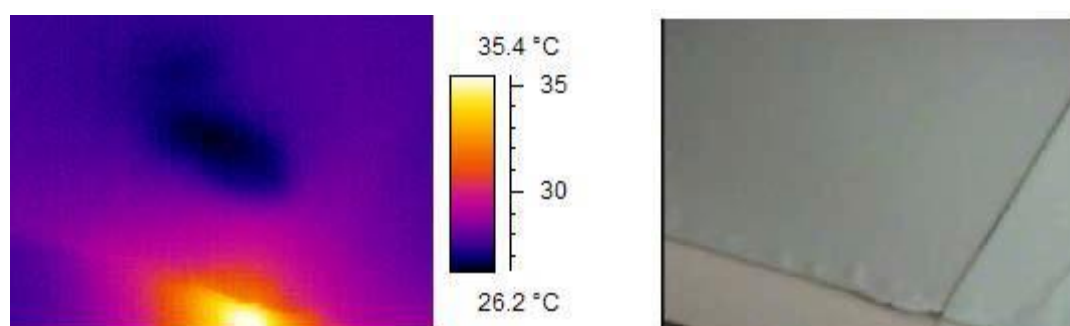


Fig. 7 - Detecção de uma infiltração não visível

As aplicações da TI em edifícios são diversas, podendo referir-se algumas, a título de exemplo:

- detecção de infiltrações ou fugas de água;
- detecção de fendas estruturais;
- detecção de vazios no interior do betão;
- detecção de corrosão de armaduras;
- localização de redes interiores;
- análise térmica dos edifícios;
- etc.

Numa inspecção termográfica são produzidas imagens, os termogramas, e registadas as respectivas temperaturas ao longo da superfície. Após análise dos dados recolhidos, através de software apropriado, torna-se possível tirar conclusões precisas e indicar as medidas preventivas ou correctivas adequadas.

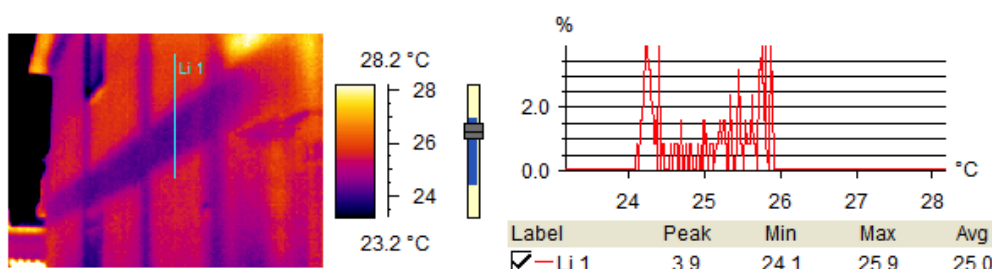


Fig. 8 - Análise de uma ponte térmica numa fachada

Note-se que, como anteriormente referido, a termografia poderá ser sempre acompanhada, complementada, ou aferida, por outros equipamentos, quando existir a necessidade de determinação de temperaturas precisas. Nestes casos torna-se necessário determinar as emissividades dos materiais com precisão, bem como introduzir outros parâmetros na câmara termográfica. No entanto, em geral, o que se pretende saber é a diferença de temperatura aproximada e não a temperatura absoluta.

Pode ainda utilizar-se uma câmara termográfica para determinar quais os locais com probabilidade de condensação superficial (desde que a mesma possua módulo de determinação do ponto de saturação). Para tal torna-se necessário determinar a temperatura e a humidade relativa do interior da habitação.

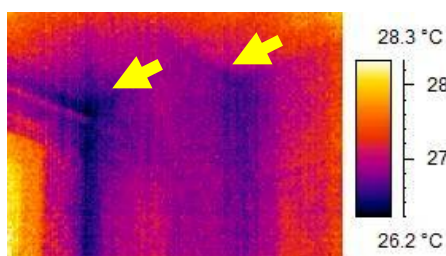


Fig. 9 - Zonas com maior probabilidade de condensação

Considerações técnicas

Uma inspecção realizada através de termografia por infravermelhos mede apenas temperaturas superficiais, mas a temperatura superficial do material depende de três factores:

- configuração interna
- condições da superfície
- meio ambiente

Os efeitos da configuração interna são baseados no princípio de que o calor não pode ser impedido de fluir das áreas mais quentes para as mais frias; pode apenas mover-se a velocidades diferentes, devido aos efeitos isolantes dos materiais que atravessa. Vários tipos de materiais de construção apresentam vários graus de isolamento ou de condutividade térmica. Por outro lado, tipos de defeitos distintos no elemento têm valores diversos de condutividade térmica.

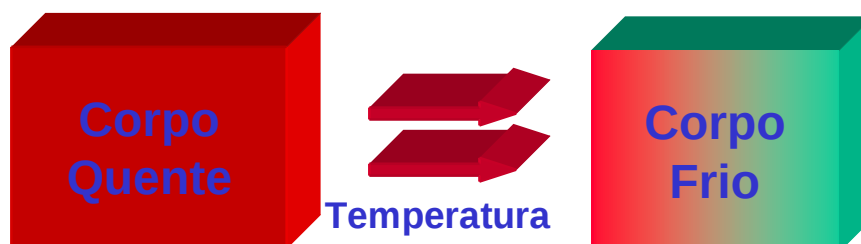


Fig. 10 - O calor flui sempre das zonas quentes para as zonas frias

Existem três modos de transmissão de energia térmica, de uma zona mais quente para uma zona mais fria: condução, convecção e radiação.

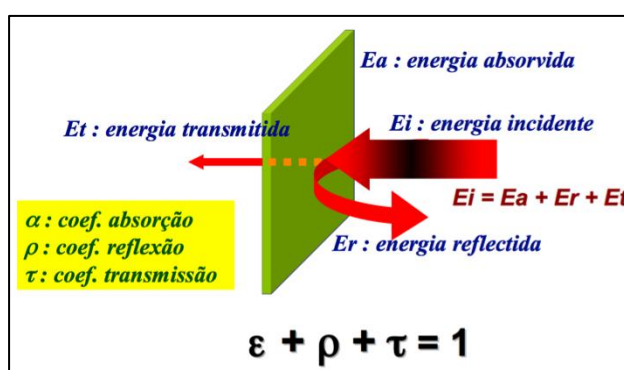


Fig. 11 – Modos de transmissão de energia térmica

Por exemplo, um betão perfeito terá menor resistência à condução do calor e os efeitos da convecção interna e da radiação serão desprezáveis. No entanto, os vários tipos de anomalias associados a um betão de má qualidade, ou de deficiente execução, nomeadamente a existência de vazios ou a baixa densidade, baixam a condutividade térmica do betão através da redução das propriedades de condução de energia, sem aumentar substancialmente os efeitos de convecção (porque os espaços com ar não permitem a formação de correntes de convecção).

Para que um fluxo de energia térmica exista tem que existir uma fonte de calor.

O Sol preenche estes dois requisitos. A acção solar, aquecendo a superfície do betão a inspeccionar fornecerá, geralmente, a energia requerida. Durante o período da noite o processo poderá ser o inverso, funcionando o betão como fonte de calor para o meio ambiente mais frio.

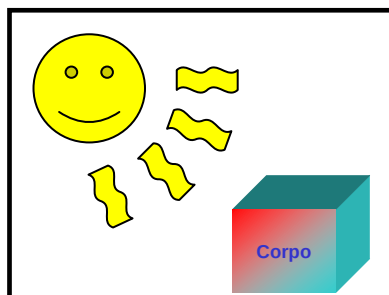


Fig. 12 - O Sol é a melhor fonte de calor de que dispomos

Para áreas de um edifício não expostas ao sol, uma alternativa será utilizar a capacidade de armazenamento de calor da Terra para introduzir calor no elemento a inspeccionar. O ponto importante é que para se poder utilizar a termografia por infravermelhos o calor tem que fluir através do material. Não interessa em que direcção o faz.

O segundo factor a considerar quando se utiliza a termografia para medir diferenciais de temperatura num elemento, originados por anomalias, é o estado da superfície da área a testar. Como referido anteriormente, existem três maneiras de transferir energia térmica. A radiação é o processo que tem o maior efeito na capacidade da superfície em transmitir energia. A capacidade que um material tem de radiar energia é medida pela emissividade do material (a qual é definida como sendo a capacidade que o material tem para radiar energia comparada com a de um “corpo negro perfeito”, o qual apresenta uma emissividade = 1). Esta é uma propriedade da superfície. A emissividade é maior para superfícies rugosas e menor para superfícies lisas. Por exemplo, o betão pode apresentar uma emissividade de 0.95, enquanto o cobre pode ter uma emissividade de apenas 0.05. Isto implica que, quando se utilizam métodos termográficos para medir valores de temperatura em grandes áreas, não se podem considerar zonas onde existam, por exemplo, rastos de borracha de pneus, manchas de óleo ou qualquer outra sujidade na superfície.

Por último, o terceiro factor que afecta a medição de temperatura é o meio ambiente. Existem vários parâmetros que influenciam a medição da temperatura superficial:

- Radiação solar: os testes devem ser efectuados em períodos do dia ou da noite em que a radiação solar, ou a sua inexistência, produza o mais rápido aquecimento, ou arrefecimento, da superfície;
- Nuvens: as nuvens reflectem a radiação infravermelha, atrasando a transferência de calor para o exterior. Assim, as medições nocturnas devem ser efectuadas em períodos em que existam poucas ou nenhuma nuvens, afim de estar assegurada uma transferência mais eficaz da energia;
- Temperatura ambiente: este parâmetro é de pouco significado na precisão do teste porque o importante é a velocidade de aquecimento ou arrefecimento da superfície. Este factor afectará apenas a extensão do período de tempo em que se poderão realizar as medições de temperatura com alto contraste. Também é importante considerar a presença de água na superfície nos casos em que a temperatura ambiente é inferior a 0° C: a água nos poros pode congelar preenchendo-os completamente;
- Velocidade do vento: os ventos fortes têm um efeito de arrefecimento e, consequentemente, reduzem as temperaturas superficiais. As medições termográficas só devem ser realizadas com velocidades de vento inferiores a 25 km/h;
- Humidade da superfície: a humidade tende a dispersar o calor na superfície e a “esconder” os diferenciais térmicos. As medições não devem ser efectuadas quando o elemento estiver sujeito à acção da chuva ou da neve.

Se as condições correctas para ensaio estiverem reunidas, cada anomalia apresentará uma temperatura diferente. Por exemplo, se a inspecção for realizada à noite, a maior parte das anomalias apresentará valores entre 0,01 e 5° C abaixo da temperatura das superfícies sãs envolventes. Uma inspecção diurna irá reverter os resultados, ou seja, as superfícies correspondentes às anomalias estarão mais quentes que as superfícies correspondentes ao material sem defeitos.

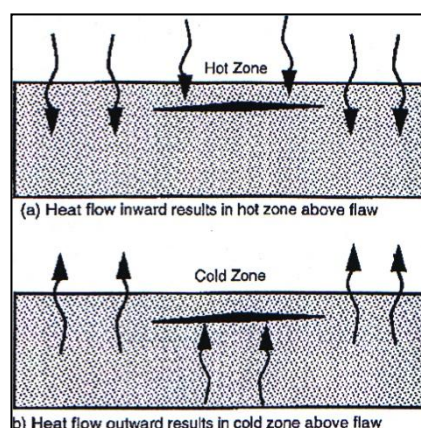


Fig. 13 – Inversão do fluxo de calor

Daqui se pode concluir que os conhecimentos na área da termografia infravermelha são de extrema importância, para que os resultados apresentados após o ensaio traduzam a realidade.



Fig. 14 – A TI requer formação especializada

Termografia passiva e activa

A técnica de termografia passiva é caracterizada pela não utilização de um estímulo de energia “artificial”. O estímulo (excitação) só ocorre por meio da carga solar ambiental actuante sobre o corpo. Neste caso, deve existir uma diferença natural de temperatura entre o objecto em estudo e o meio ambiente onde ele está inserido.

Na termografia activa a principal característica é a aplicação de um estímulo de energia sobre o corpo.

A energia aplicada sobre uma superfície pode ser realizada através de uma fonte de calor ou de uma fonte de frio. Em qualquer dos casos o objetivo será a produção de um diferencial térmico no corpo. O frio é muito utilizado quando o corpo se apresenta com uma temperatura igual ou superior que a temperatura do meio exterior.

A termografia passiva tem mais o carácter qualitativo, uma vez que apresenta indicativos de anomalias, enquanto que o processo de excitação térmica tende a ter um carácter quantitativo, pela possibilidade de medir e controlar os parâmetros (fonte, tempo, intensidade e distância).

Vantagens da termografia infravermelha

Qualquer tipo de ensaio, para ser de utilização alargada, tem que apresentar as seguintes características:

- ser preciso e fiável;
- ser reprodutível;
- ser não destrutivo;
- ser capaz de analisar quer grandes, quer pequenas áreas;
- ser eficiente em termos de trabalho e de equipamento;
- ser económico;
- não provocar inconvenientes para os utilizadores.

A termografia infravermelha cumpre todos estes requisitos!

A vantagem evidente da termografia sobre testes invasivos é a não existência de destruição de nenhuma zona de material durante o ensaio. A termografia infravermelha é um método rápido para inspeccionar superfícies, mas sem necessidade da utilização de andaimes para acesso às mesmas. Isto resulta em redução do tempo de inspecção, da quantidade de trabalho, do equipamento necessário, etc.

Por outro lado, não provoca nenhuma perturbação da superfície do material a ensaiar, pelo que não prejudica a estética. Não provoca pó nem origina detritos.

A mais importante vantagem da termografia por infravermelhos é que é uma técnica de teste de áreas, enquanto que os outros métodos de ensaio, quer não destrutivos, quer destrutivos, são técnicas de ensaios em pontos localizados ou em linhas.

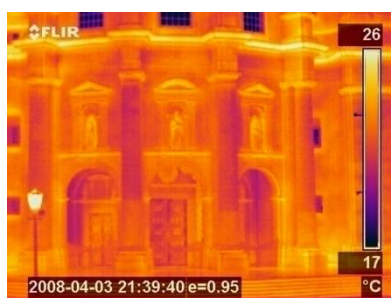


Fig. 15 – Análise da fachada de um monumento

A termografia por infravermelhos apresenta uma limitação: a profundidade e a espessura da anomalia detectada não podem ser determinadas. No entanto, nos casos em que tal seja importante, pode utilizar-se a termografia para analisar a superfície e localizar os problemas e, seguidamente, utilizar ensaios localizados e específicos nas zonas onde se determinaram os defeitos.

Exemplos de aplicação da TI em inspecção e manutenção de edifícios

Apresentam-se de seguida vários exemplos da utilização da termografia na inspecção e manutenção de edifícios.

Permite a detecção de patologias ainda não visíveis, permitindo agir mais rápido evitando que as mesmas aumentem ou se alastrem para outras localizações.

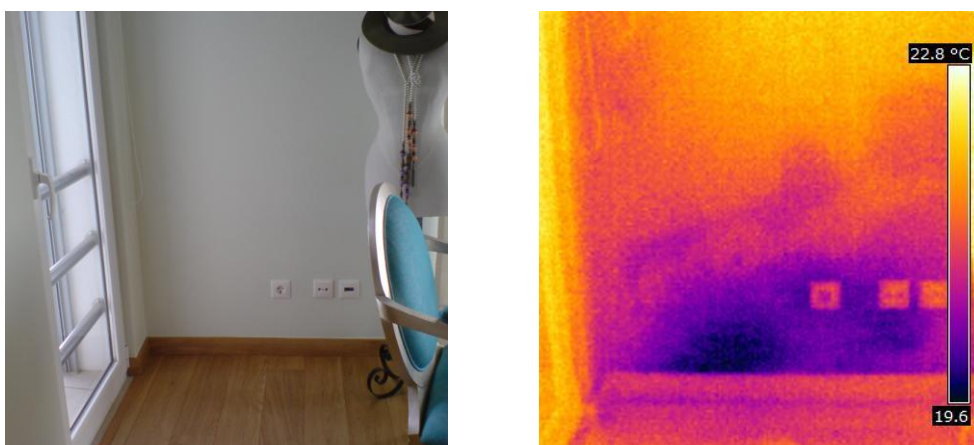


Fig. 16 – Detecção de infiltração não visível

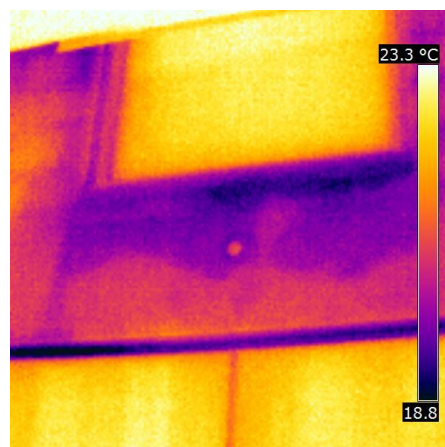
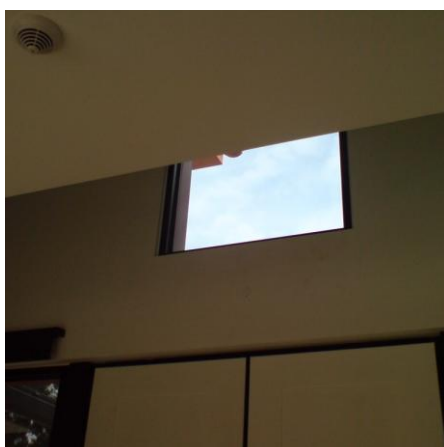


Fig. 17 – Detecção de infiltração não visível

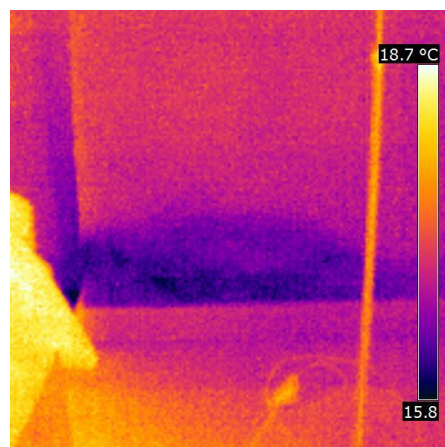


Fig. 18 – Detecção de infiltração não visível

A termografia permite visualizar de forma bem evidente o foco de algumas patologias, nomeadamente de infiltrações.

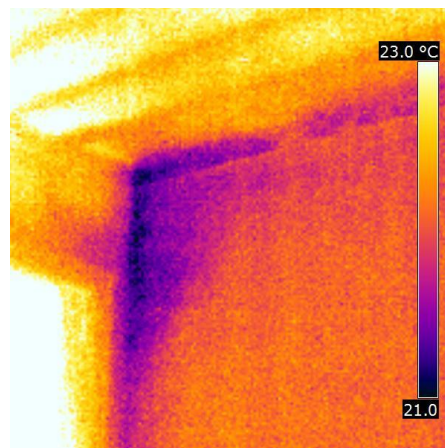


Fig. 19 – Visualização de foco de infiltração

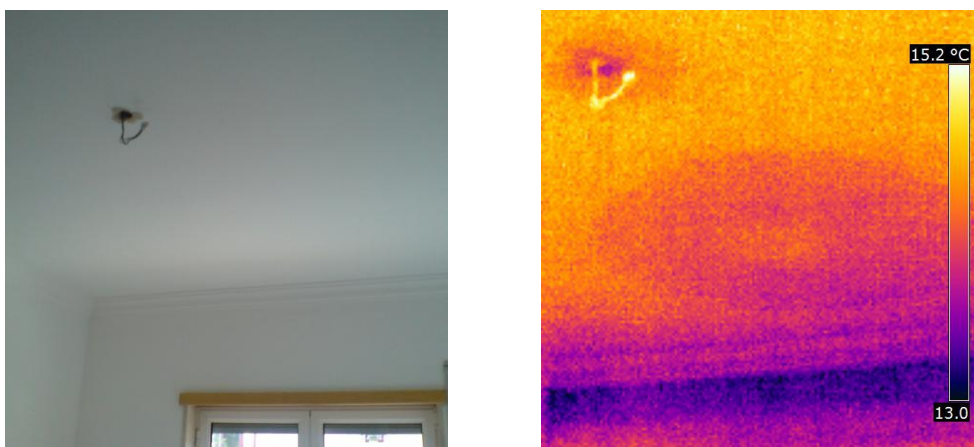


Fig. 20 – Visualização de foco de Infiltração

A análise termográfica de fissuras permite verificar se existe passagem de humidade ou de ar através da mesma, podendo-se revelar útil para a análise patológica.

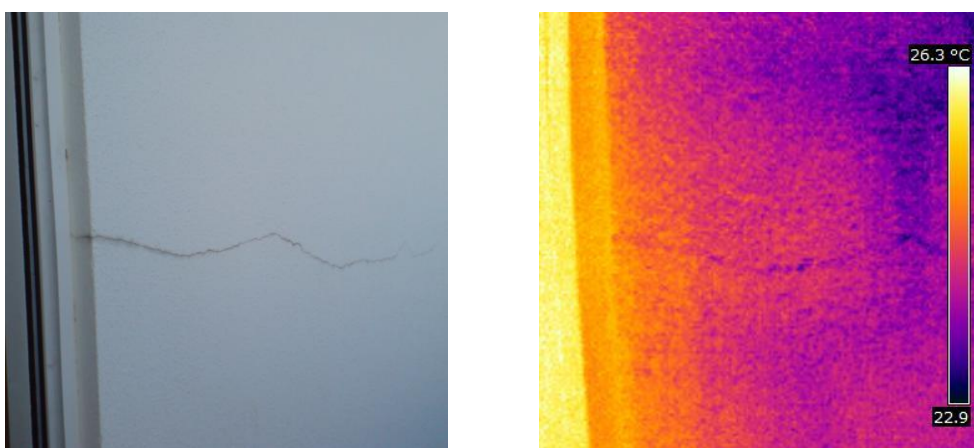


Fig. 21 – Análise termográfica de fissura

A termografia, permite a visualização de elementos estruturais e couretes, inseridos numa fachada em alvenaria. Pelo diferencial térmico obtido entre a zona corrente da fachada e a singularidade observada, correlacionado com as temperaturas interiores e exteriores, é possível distinguir um elemento estrutural de uma courete.

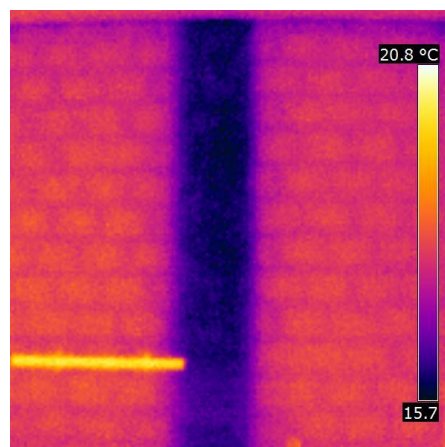


Fig. 22 – Detecção de pilar

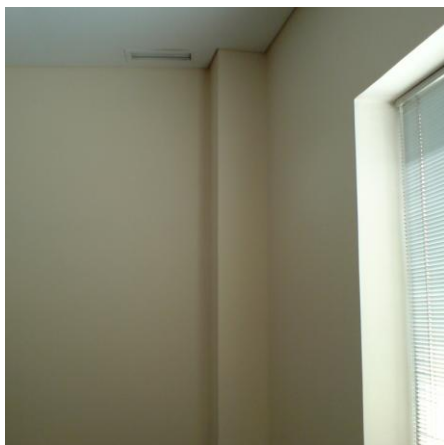


Fig. 23 – Detecção de Corete

A termografia, permite observar claramente o traçado da rede de pavimento radiante bem como a realizar a detecção de fugas no mesmo.

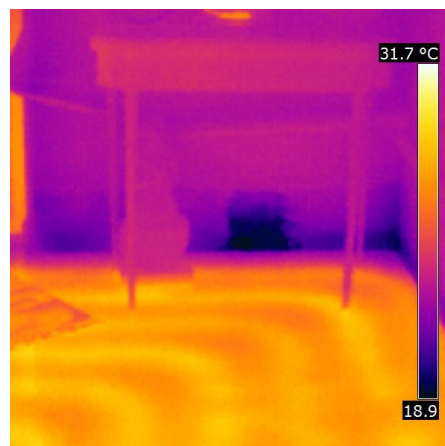


Fig. 24 – Visualização de pavimento radiante

Uma das grandes vantagens da termografia é a de realizar uma análise em área, permitindo, por exemplo, a análise da totalidade ou de grandes partes de uma fachada.

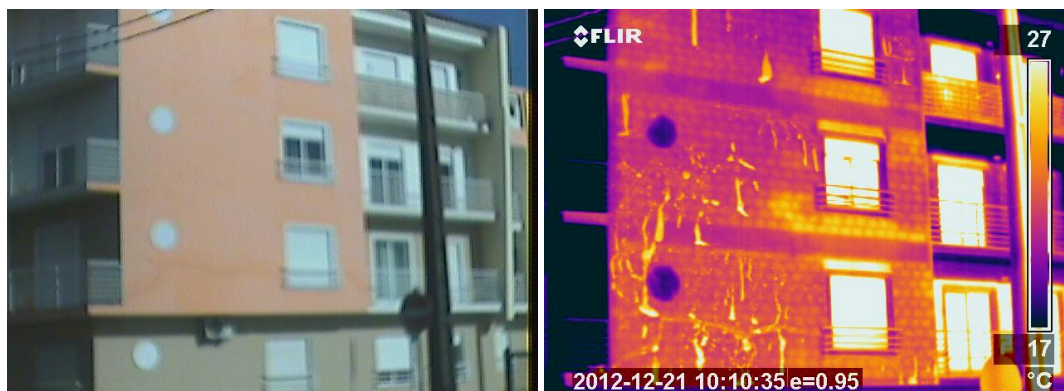


Fig. 25 – Análise de fachada com várias patologias

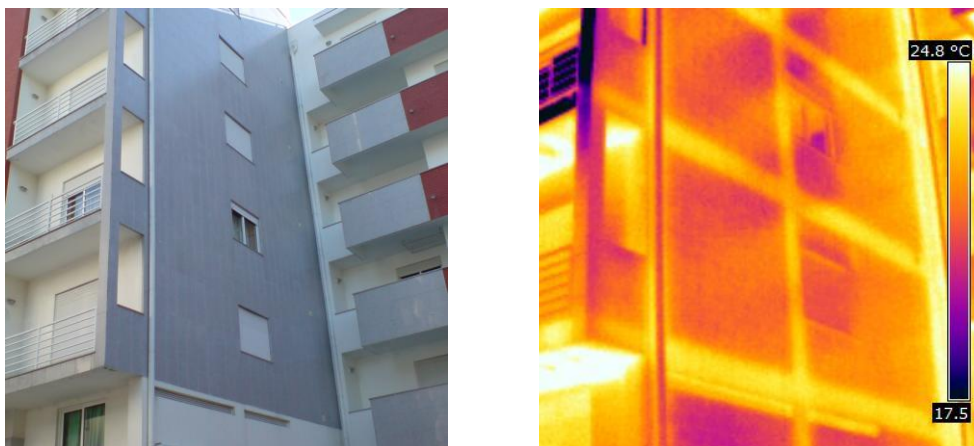


Fig. 26 – Análise de pontes térmicas em fachada

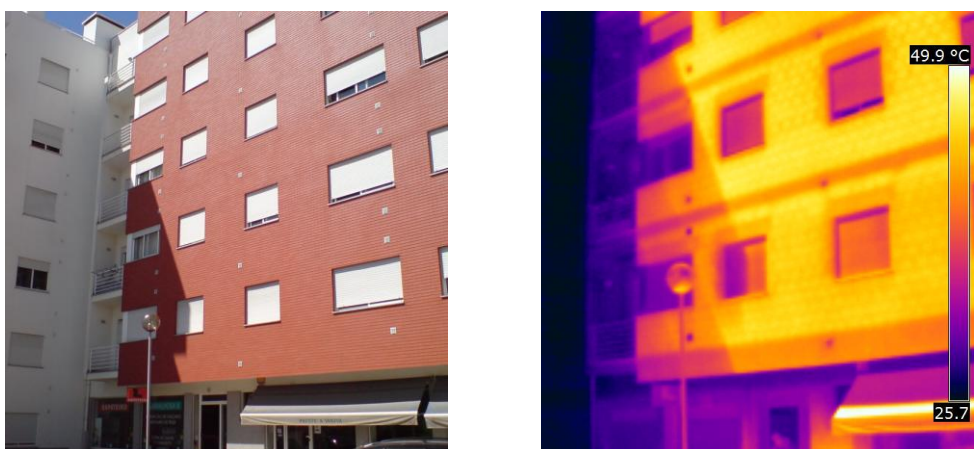


Fig. 27 – Análise de pontes térmicas em fachada

Nos casos de infiltrações recorrentes, é possível verificar se as mesmas se encontram ou não activas à data da análise. Em áreas de acesso restrito essa possibilidade revela-se muito útil.

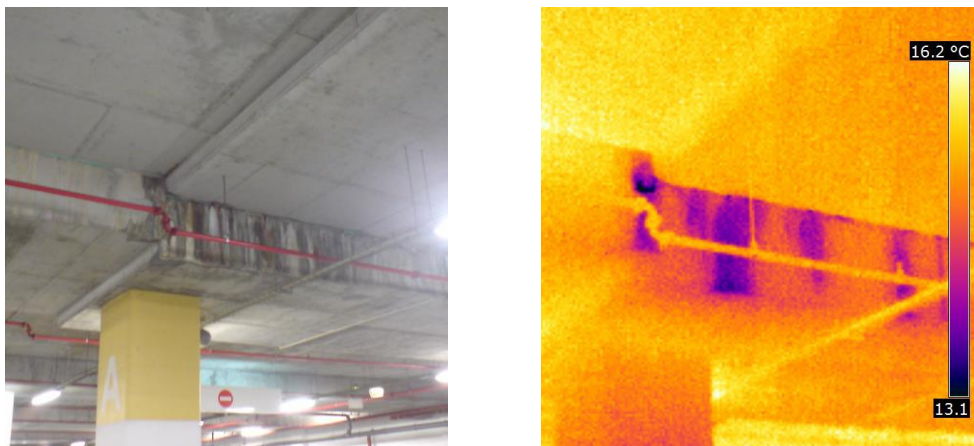


Fig. 28 – Observação da actividade de Infiltração

A análise termográfica permite, em várias situações, identificar a tipologia de elementos constructivos. Isto é possível pela diferença de comportamento térmico dos materiais constituintes.

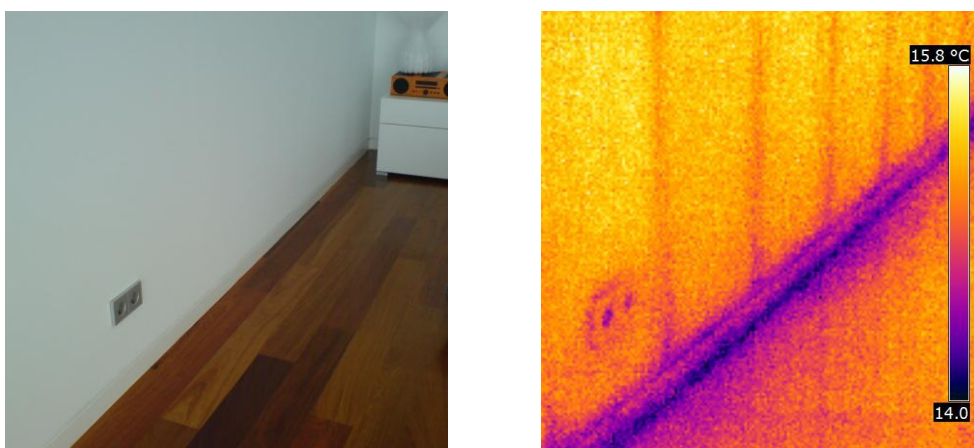


Fig. 29 – Observação da tipologia de parede divisória

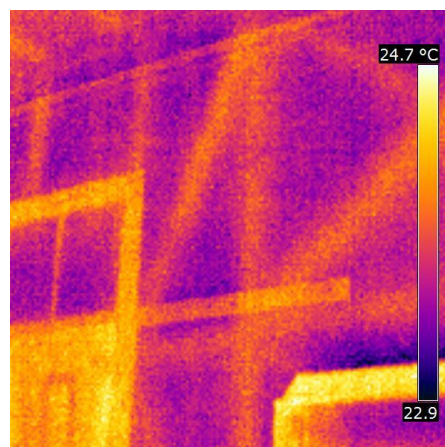
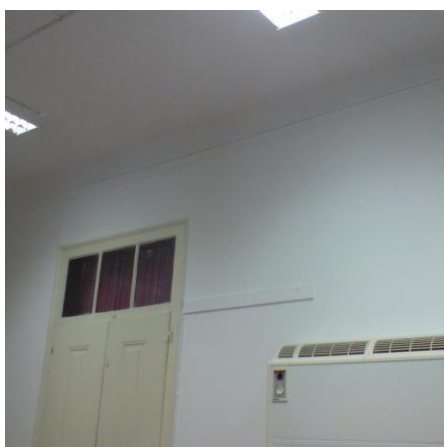


Fig. 30 – Observação da tipologia de parede divisória

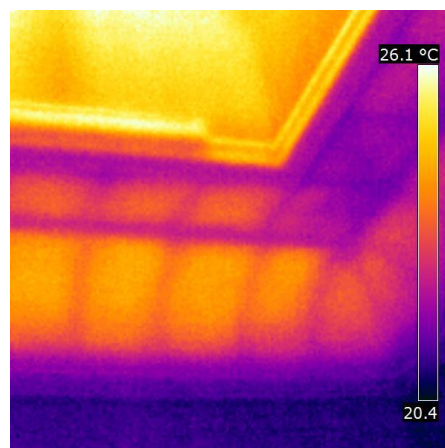
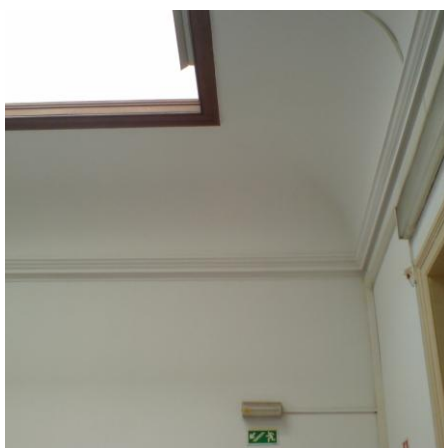


Fig. 31 – Observação da estrutura de suporte de tecto falso

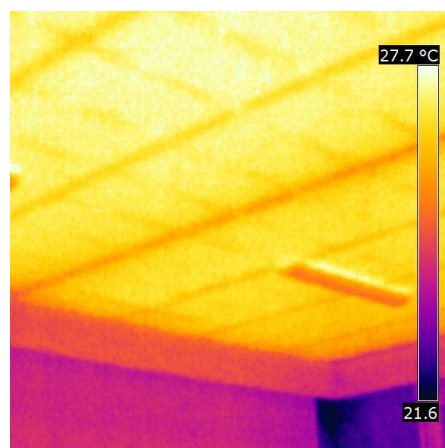


Fig. 32 – Observação da estrutura de suporte de tecto falso

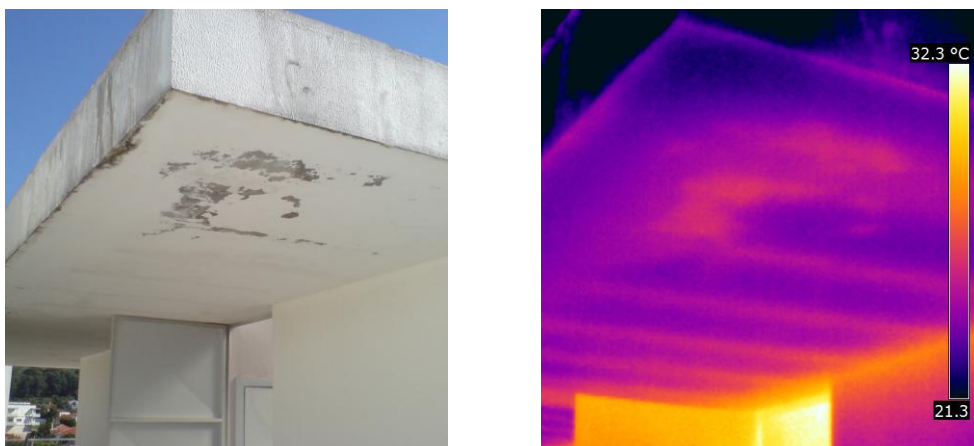


Fig. 33 – Análise de infiltração. Observação de laje de vigotas

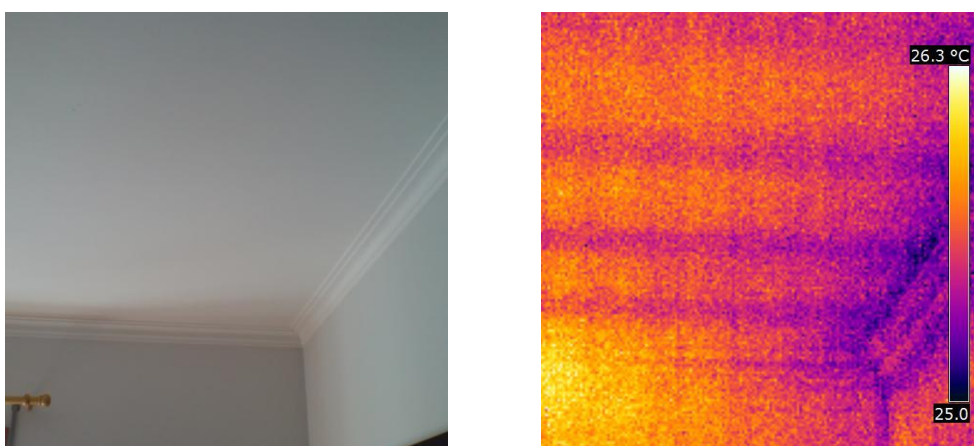


Fig. 34 – Observação de laje de vigotas

A análise termográfica permite também a visualização, de forma não intrusiva, do traçado de redes de abastecimento de águas (quentes e frias) e de drenagem de águas residuais. Esta situação torna-se bastante evidente com a passagem de fluidos quentes pelas referidas tubagens.

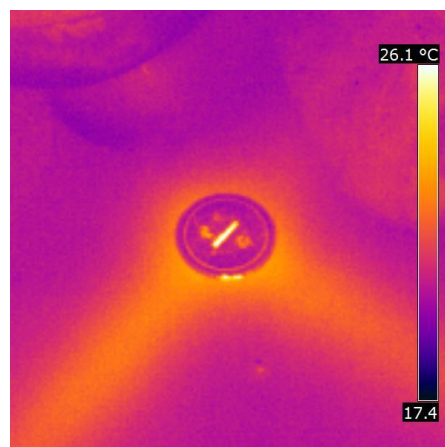


Fig. 35 – Detecção de ramais de esgotos

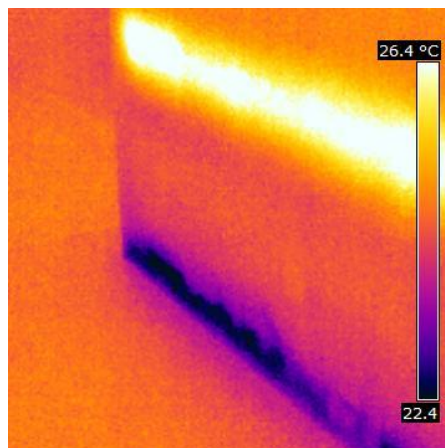
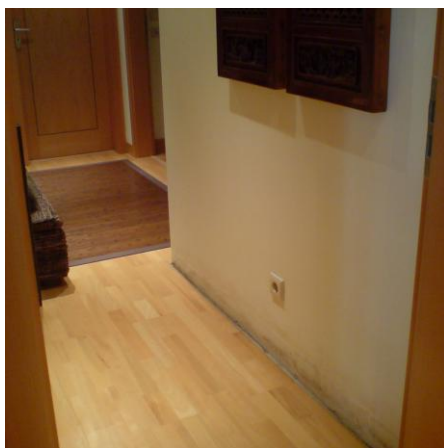


Fig. 36 – Detecção de rede de abastecimento de água quente

Conclusões

Por tudo o referido e ilustrado na presente comunicação, verifica-se que a termografia infravermelha é uma tecnologia de grande utilidade para a inspecção e manutenção de edifícios. Para além de permitir analisar patologias existentes, permite também que as mesmas sejam detectadas em fase embrionária ou pouco disseminada, evitando assim custos agravados de manutenção. A possibilidade de detectar anomalias não visíveis a olho nu, revela-se de particular utilidade para os técnicos que as analisam e que estão encarregues das operações de manutenção de edifícios.

Para além das aplicações referidas, no âmbito da engenharia civil, a termografia infravermelha tem também inúmeras aplicações no âmbito da engenharia electrotécnica, engenharia mecânica e energias renováveis.

Bibliografia

Mendonça, L.V. (2008). *Termografia por Infravermelhos. Aplicações em Edifícios*. Revista Engenharia & Vida. ⁽¹⁾

Mendonça, L.V. (2006). *Engenharia Preventiva. Inspeção Periódica de Edifícios*. Jornal da Madeira. ⁽¹⁾

ITC (2005). *Applications of Infrared Thermography for the Inspection of Commercial and Residential Buildings*. Infrared Training Center & Building Science Institute. Boston. USA.

Wood, S. (2004). *Non-Invasive Roof Leak Detection Using Infrared Thermography*. Proceedings of Inframation 2004. Infrared Training Center. Boston. USA.

Kleinfeld, J. (2004). *IR for Detection of Exterior Wall Moisture and Delamination: A Case Study and Comparison to FEA Predictions*. Proceedings of Inframation 2004. Infrared Training Center. Boston. USA.

⁽¹⁾ Disponível em:

<http://www.spybuilding.com/index.php?id1=5&id2=2>