

Detección de infiltración por causas accidentales con termografía infrarroja: estudio de caso

Detection of infiltration from accidental causes with infrared thermography: case study

Joaquin Humberto Aquino Rocha M.Sc.

Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia
jaquinor@univalle.edu

Cynthia Firmino dos Santos M.Sc.

Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
cynthia_civil@yahoo.com.br

Yêda Vieira Póvoas Ph.D.

Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
yeda.povoas@gmail.com

Fecha de recepción: 28 abril 2020 / Fecha de aprobación: 29 junio 2020

Índices y Bases de Datos:



Políticas de Uso:



Revista Métodos y Materiales por LanammeUCR se distribuye bajo: Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. ISSN electrónico: 2215-4558

Detección de infiltración por causas accidentales con termografía infrarroja: estudio de caso

Detection of infiltration from accidental causes with infrared thermography: case study

Joaquín Humberto Aquino Rocha M.Sc.

Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia

jaquinor@univalle.edu

Cynthia Firmino dos Santos M.Sc.

Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil

cynthia_civil@yahoo.com.br

Yêda Vieira Póvoas Ph.D.

Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil

yeda.povoas@gmail.com

Fecha de recepción: 28 abril 2020 / Fecha de aprobación: 29 junio 2020

RESUMEN

La infiltración en edificios es uno de los problemas más frecuentes, en la mayoría de los casos, es producto de fugas en tuberías, defectos de construcción, entre otros. Su detección es difícil, ya que no presentan manifestaciones externas en las primeras fases. La termografía infrarroja puede ser una técnica potencial para detectar estos defectos, ya que no es destructiva, no necesita contacto directo con la estructura inspeccionada, puede analizar áreas y proporciona resultados en tiempo real. Por lo tanto, este artículo tiene como objetivo evaluar la termografía infrarroja para detectar infiltraciones debido a causas accidentales. La metodología del trabajo consistió en inspeccionar las áreas comunes de un condominio multifamiliar con una cámara termográfica y el uso de un detector de humedad, de manera complementaria. Los resultados mostraron que la detección fue posible con pequeños gradientes térmicos, alrededor de 0.4 °C a 1.5 °C, donde las áreas afectadas se visualizaron con una temperatura más baja debido a la inercia térmica del agua. En la inspección para comprobar si hay infiltraciones, la técnica mostró una rápida detección de esta manifestación patológica y que puede ser utilizada como una herramienta auxiliar.

Palabras clave: Infiltración; Termografía infrarroja; Humedad; Manifestación patológica.

ABSTRACT

Infiltration in buildings is one of the most frequent problems, in most cases it is the result of pipe leaks and construction defects, among other causes. Its detection is difficult, since there are no external manifestations in the first phases. Infrared thermography may be a potential technique to detect these defects, since it is non-destructive, does not need direct contact with the inspected structure, can analyze areas and provides real-time results. Thus, this article aims to assess the relevance of using infrared thermography to detect infiltrations due to accidental causes. The methodology consisted in the inspection of the common areas at a multifamily condominium with a thermographic camera and the use of humidity detector, in a complementary way. Results allowed proving that detection was possible with small thermal gradients, around 0.4 °C to 1.5 °C, visualizing the affected areas with a lower temperature due to the thermal inertia of water. In the inspection to check for infiltrations, the technique showed a rapid detection of this pathological manifestation and can be used as an auxiliary tool.

Keywords: Infiltration; Infrared thermography; Moisture; Pathological manifestation.

1. INTRODUCCIÓN

Las manifestaciones patológicas más comunes en los edificios son aquellas que involucran humedad, que comprometen el desempeño del edificio, causando daños materiales y altos costos de reparación (Jonov et al., 2013; Israel, 2016; EPA, 2013).

Hay varias formas de manifestar humedad en una edificación. Barreira et al., (2016) las clasificaron en seis categorías: humedad del edificio, humedad creciente, humedad de precipitación, humedad de condensación, humedad debido a fenómenos higroscópicos y humedad debido a causas fortuitas (accidentales).

La humedad debida a causas fortuitas en los edificios puede originarse por varios factores, tales como: fallas humanas, errores de construcción y problemas en la instalación u operación de los equipos. Las fugas en las tuberías de agua potable, agua de lluvia y de alcantarillado son las causas más frecuentes, y a menudo son difíciles de detectar, ya que estos problemas suelen ser internos y están ocultos en sus etapas iniciales. En etapas avanzadas, el agua migra a lugares lejanos de la fuente del problema, mostrando, en estos lugares, las manifestaciones patológicas características de la humedad (Freitas et al., 2008; Righi, 2009).

Se han utilizado varias pruebas no destructivas para inspeccionar diferentes defectos en edificaciones, incluida la humedad. En este sentido, aparece la termografía infrarroja, un ensayo no destructivo que no necesita contacto directo con la superficie inspeccionada, además de presentar resultados rápidos y ocultos a simple vista (Barreira, 2004; Tarpani et al., 2009; Amarante et al., 2016; Ferreira, 2016; Oliveira, 2013). La termografía mide la radiación infrarroja emitida por la superficie de los objetos para ser procesada como una imagen térmica (termograma). La radiación medida por la cámara termográfica depende de la temperatura y emisividad del

objeto. La emisividad se define como la medida de la eficiencia de una superficie para actuar como un radiador, este valor está en el rango cero a uno (Clark et al., 2003; Rocha et al., 2017).

La termografía infrarroja, según los métodos utilizados para producir diferencias de temperatura se divide en dos categorías, activa y pasiva. No se necesitan estímulos para una termografía pasiva mientras que en la termografía activa se usan diferentes tipos de estímulos externos (Rehman et al., 2016). En los últimos años, la prueba se ha utilizado para investigar manifestaciones patológicas y fenómenos asociados con el aumento de la humedad, la precipitación y la condensación de la superficie (Alam, 2016; Barreira et al., 2016; Lerma et al., 2011; Oliveira, 2013; Poblete y Pascual, 2007; Rocha et al., 2018; Santos et al., 2019).

A pesar de la existencia de varios estudios desarrollados para fomentar la discusión y el progreso sobre el tema, todavía hay incertidumbres con respecto al alcance del ensayo. En este sentido, el objetivo de este artículo es evaluar la técnica de termografía infrarroja de forma pasiva en la detección de infiltraciones por causas accidentales en edificios.

2. METODOLOGÍA

Para mostrar la aplicación de la termografía infrarroja pasiva en la detección de infiltración por causas accidentales, se realizaron inspecciones en una edificación. El edificio elegido fue un condominio multifamiliar construido hace unos cincuenta años, consta de doscientas unidades residenciales, diez por piso.

El edificio está ubicado en Rua da Aurora, Boa Vista, Recife / PE, como se muestra en la Figura 1a, siendo los corredores (Figura 1b) las áreas estudiadas, ya que mostraron signos de infiltración en algunos sectores, además de la ocurrencia de alto consumo de agua en las áreas compartidas del edificio.

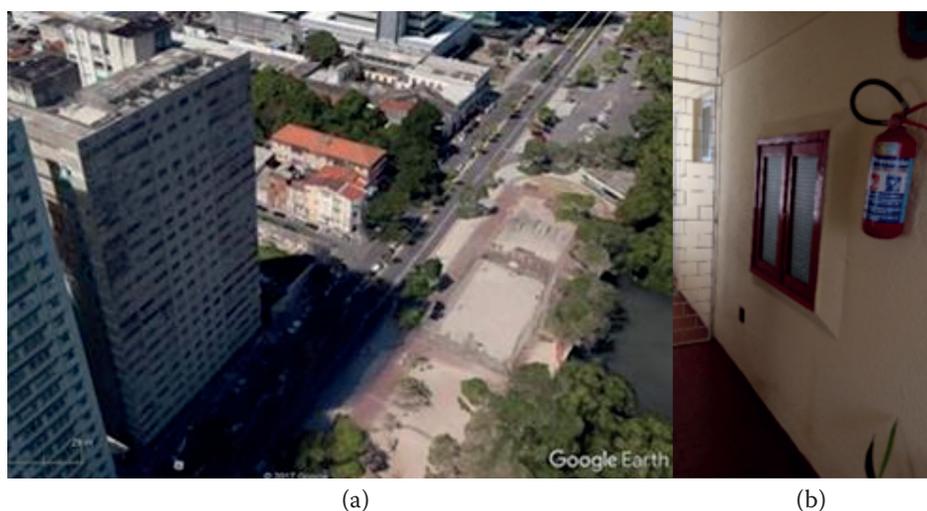


Figura 1. Condominio multifamiliar: a) fachada principal (Google Earth, 2017); (b) corredor

Se utilizó la cámara termográfica FLIR E-60, cuyas especificaciones se muestran en la Tabla 1.

Resolución IR	320 x 240 pixels
Sensibilidad térmica	< 0.05°C
Precisión	±2°C o ±2% de lectura
Rango de temperatura	-20°C a 650°C
Display Colorido TouchScreen	3.5" (320 x 240)
Peso	0.825 kg

La distancia de la cámara a la pared estudiada fue de entre 1 m y 2 m, tratando de tener una buena resolución de los termogramas. La determinación de la emisividad se realizó mediante el método de la "cinta negra", donde se colocó un trozo de una cinta de emisividad conocida en la superficie del objeto estudiado, midiendo la emisividad de la pared hasta que la temperatura del objeto fuera igual a la cinta. El valor obtenido en todas las paredes estuvo en el rango de 0.93 a 0.95. La temperatura reflejada se calculó utilizando el método de reflexión, que se describe en el manual de la cámara (FLIR, 2013).

Para el análisis de los resultados, se realizó un enfoque cualitativo observando los termogramas. Una región no afectada por la humedad también se comparó con una que presentaba manifestaciones patológicas características de infiltración, representada como una diferencia térmica, expresada en la Ecuación 1.

$$\Delta T = SP1 - SP2 \quad (1)$$

Donde:

ΔT = diferencia de temperatura entre el área seca y el área afectada por la humedad (°C);

SP1 = temperatura del área seca (°C);

SP2 = Temperatura de la zona afectada por la humedad (°C).

Para verificar la presencia de humedad, se utilizó el medidor de humedad con imagen térmica (modelo FLIR MR-160) como complemento. La Tabla 2 muestra algunas especificaciones del equipo.

Tabla 2. Especificaciones de FLIR MR-160 (FLIR, 2015)

Medidor de humedad	
Rango y precisión de la sonda externa	0 a 100% WME ± 5%
Rango de humedad	0-100 medición relativa
Resolución de medición	0.1

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la inspección visual de las áreas internas estudiadas (corredores), se encontraron manifestaciones patológicas, tales como: manchas de agua, presencia de microorganismos, desprendimiento de revestimiento y pintura; especialmente en las áreas cercanas a las cajas de manguera contra incendios, donde fue posible comprobar tuberías rotas y evidencia de fugas antiguas (Figura 2).

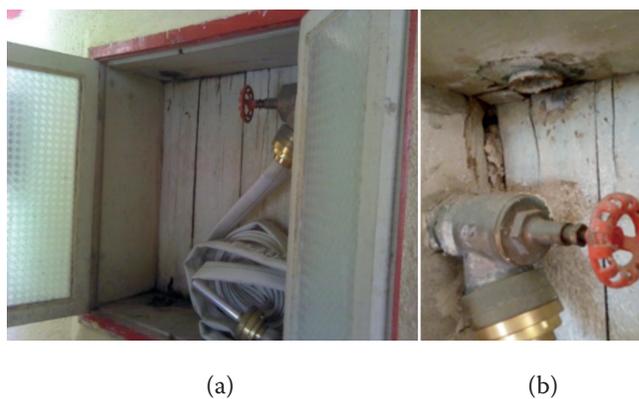


Figura 2. Caja para manguera contra incendios: a) visión general; b) tubería rota

La Figura 3a muestra la pared del corredor en el piso 19, donde se observó la presencia de manchas, grietas y también desprendimiento del revestimiento, mostrando signos de problemas relacionados con la humedad, lo que fue confirmado por el medidor de humedad, que mostró un valor de 100 % en este sector. En la imagen térmica (Figura 3b), se observó que las áreas afectadas por la infiltración aparecían como áreas frías (color púrpura), debido a la presencia de agua que modificó la inercia térmica de la pared, requiriendo una mayor cantidad de calor para aumentar su temperatura (Melrinho et al., 2015). El contraste térmico entre el área de humedad máxima (SP2) y el sector no afectado (SP1) fue de 1.2 °C, un valor superior al recomendado por otros autores (Maldague, 2001) para una detección adecuada.

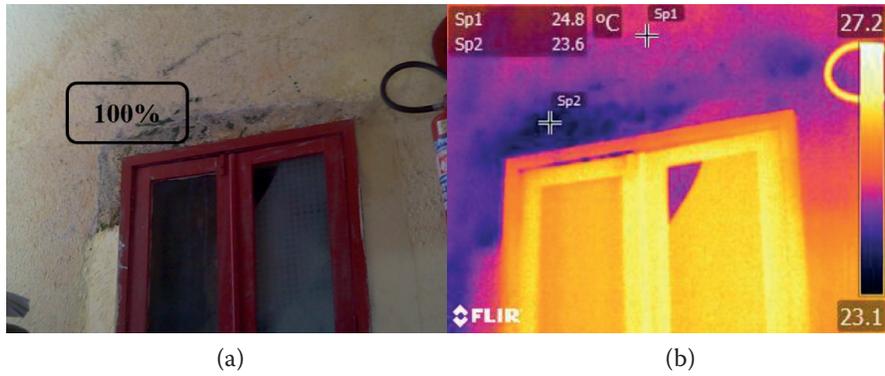


Figura 3. Caja para manguera contra incendios en el piso 19: a) vista frontal superior con los resultados de la medición de humedad; (b) termograma (°C) de la vista frontal superior

En la misma pared, en la parte inferior, se observaron puntos característicos de infiltración y presencia de moho (Figura 4a), con valores de humedad del 90% y 100% en los dos puntos seleccionados. La imagen térmica (Figura 4b) definió claramente el área afectada por la humedad, presentándose como el área con la temperatura más baja. Los contrastes térmicos fueron de alrededor de 1.1 °C (SP1-SP2) y 1.5 °C (SP1-SP3).

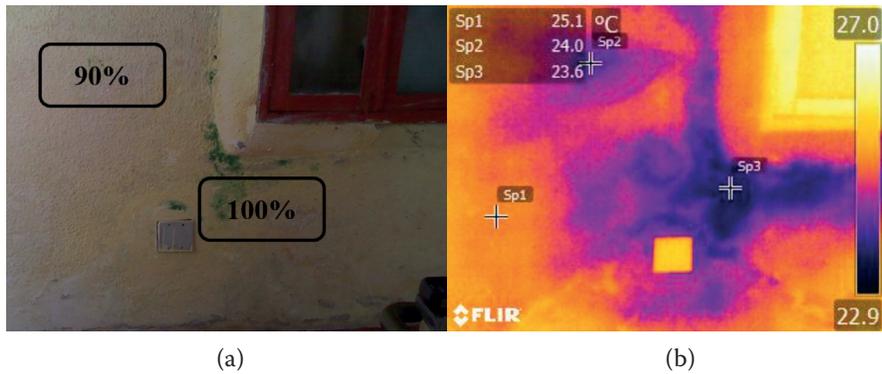


Figura 4. Caja para manguera contra incendios en el piso 19: a) vista frontal inferior con los resultados de la medición de humedad; (b) termograma (°C) de la vista frontal inferior

La Figura 5a muestra la pared del corredor del quinto piso, donde no fue posible identificar una manifestación patológica relacionada con la humedad. Pero, durante la prueba con la cámara termográfica, fue posible identificar un área fría en el fondo de la caja, que mostró un 100% de humedad, lo que demuestra la presencia de agua. Aunque el gradiente térmico era de 0.5 °C (SP1-SP2), aún era posible detectar adecuadamente el área afectada.

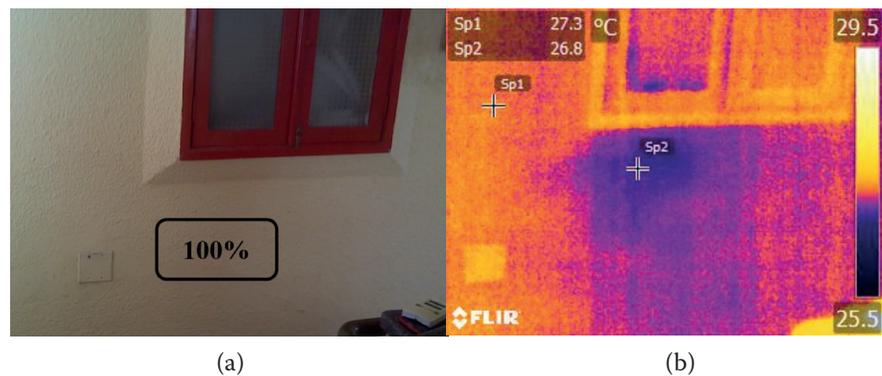


Figura 5. Caja para manguera contra incendios en el quinto piso: a) vista frontal inferior con los resultados de la medición de humedad; (b) termograma (°C) de la vista frontal inferior

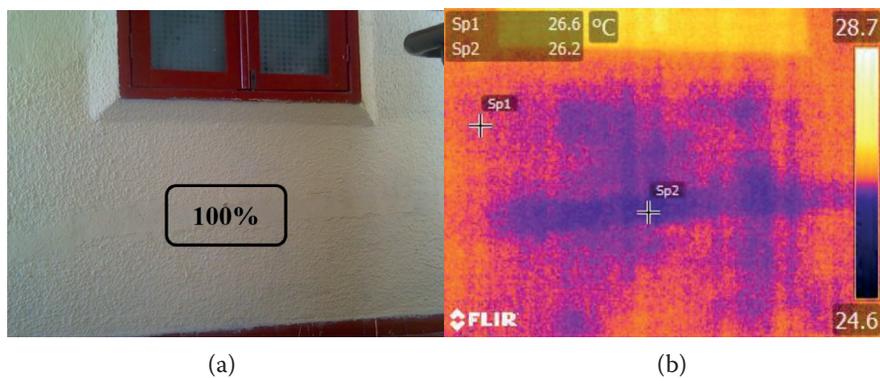


Figura 6. Caja para manguera contra incendios en el 4to piso: a) vista frontal inferior con los resultados de la medición de humedad; (b) termograma (°C) de la vista frontal inferior

El corredor del cuarto piso se muestra en la Figura 6a, que tampoco mostró signos visibles de deterioro o problemas de infiltración. Sin embargo, el termograma (Figura 6b) permitió distinguir algunas áreas frías, incluso con el valor de contraste térmico de solo $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (SP1-SP2), revelando problemas de infiltración en estos sectores, lo cual fue demostrado por el resultado del medidor humedad, indicando 100% en el área SP2.

Los resultados obtenidos coincidieron con los presentados por Lerma et al. (2011) y Melrinho et al. (2015) en la detección de problemas relacionados con la infiltración de edificios mediante termografía infrarroja; además de demostrar la aplicabilidad de la técnica en ambientes interiores, como lo señalan Rocha et al. (2018).

Los gradientes térmicos en las paredes se produjeron a través del mecanismo de convección a temperatura ambiente, porque las áreas estudiadas se encuentran dentro del edificio y no tienen contacto directo con el sol.

A pesar de los pequeños valores de los contrastes térmicos, alrededor de $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, permitieron la detección de las áreas afectadas por la infiltración. Sin embargo, cuanto más altos sean estos valores, mejor será la detección, como paredes expuestas a la luz solar o fuentes de calor externas, como lo hicieron Lourenço et al. (2017) y Edis et al. (2014).

4. CONSIDERACIONES FINALES

En el presente estudio, se desarrolló una investigación de campo con el objetivo de verificar la aplicabilidad de la termografía infrarroja para la detección de infiltración debido a causas accidentales. La técnica permitió una detección adecuada de estos defectos incluso sin fuentes externas de calentamiento, ya que solo se usó la temperatura ambiente.

La detección fue posible con contrastes térmicos por debajo de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, sin embargo, los valores más altos definen mejor las áreas afectadas por la humedad. En esta investigación, solo se utilizó la termografía pasiva, sin embargo, el uso de otras fuentes externas (termografía activa) podría caracterizar más claramente las áreas afectadas por el agua.

La termografía se presentó como una herramienta auxiliar no destructiva para la inspección de obras civiles, especialmente para problemas relacionados con la infiltración, ya que proporcionaba más información que una inspección visual y no producía interferencia a los usuarios, como es el caso de pruebas destructivas. Sin embargo, se deben considerar algunos factores para una inspección más efectiva, como el manejo correcto del equipo y un análisis adecuado de los termogramas.

Los resultados presentados nos permiten contribuir a la investigación para analizar fugas en edificios, con el objetivo de diagnósticos más precisos y reparaciones más racionalizadas.

5. REFERENCIAS

- Alam, F. W. Al. (2016). *Potencialidade da termografia na detecção de manifestações patológicas associadas à umidade accidental* (Tesis de maestría) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Brasil.
- Amarante, H. M. S., Pontes, J. C. A. de, & Michaloski, A. O. (2016). *Termografia na prevenção de acidentes no sistema elétrico de potência*. Revista Espacios, 37(23), 24.
- Barreira, E. (2004). *Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrotérmico dos Edifícios* (Tesis de maestría) Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal.
- Barreira, E., Almeida, R. M. S. F., & Delgado, J. M. P. Q. (2016). *Infrared thermography for assessing moisture related phenomena in building components*. Construction and Building Materials, 110, 251-269. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.026>
- Clark, M., McCann, D., & Forde, M. (2003). *Application of infrared thermography to the non-destructive testing of concrete and masonry bridges*. NDT & E International, 36(4), 265–275. [https://doi.org/10.1016/s0963-8695\(02\)00060-9](https://doi.org/10.1016/s0963-8695(02)00060-9)
- Edis, E., Flores-Colen, I., & De Brito, J. (2014). *Passive thermographic detection of moisture problems in façades with adhered ceramic cladding*. Construction and Building Materials, 51, 187-197. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.085>
- EPA - Environmental Protection Agency (2013). *Moisture Control Guidance for Building Design, Construction and Maintenance*. Washington, United States: U.S. Environmental Protection Agency.
- Ferreira, J. P. B. (2016). *A termografia de infravermelhos na avaliação dos fenómenos de humedificação e secagem* (Tesis de maestría) Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal.
- FLIR (2015). Manual do usuário do equipamento FLIR MR-160. Wilsonville, USA: FLIR.
- FLIR (2013). User's manual FLIR Exx Series. Wilsonville, USA: FLIR.
- GOOGLE. Google Earth. Version 9. 2017. Recife, Brasil. Recuperado de: <<https://earth.google.com/web/>>. Acesso em: 14 mar. 2020.
- Freitas, V. P. de., Torres, M. I., & Guimarães, A. S. (2008). *Humidade Ascensional*. Porto, Portugal: FEUP edições.
- Israel, M. C. (2016). *Ensaios não destrutivos aplicados à avaliação de revestimentos de argamassa* (Tesis de maestría) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Brasil.
- Jonov, C. M. P., Nascimento, N. O., & Silva, A. P. (2013). *Avaliação de danos às edificações causados por inundações e obtenção dos custos de recuperação*. Ambiente Construído, 13(1), 75-94. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212013000100006>
- Jerma, J. L., Cabrelles, M., & Portalés, C. (2011). *Multitemporal thermal analysis to detect moisture on a building façade*. Construction and Building Materials, 25(5), 2190-2197. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.10.007>
- Lourenço, T., Matias, L., & Faria, P. (2017). *Anomalies detection in adhesive wall tiling systems by infrared thermography*. Construction and Building Materials, 148, 419-428. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.052>
- Maldague, X. P. (2002). *Introduction to NDT by active infrared thermography*. Materials Evaluation, 60(9), 1060-1073.
- Melrinho, A., Matias, L., & Faria, P. (2015). *Detecção de anomalias em impermeabilizações de coberturas em terraço através da termografia de infravermelhos*. Tech ITT by Construlink, 13(37), 29-38.
- Oliveira, G. F. P. de. (2013). *Potencialidades da termografia para o diagnóstico de patologias associadas à humidade* (Tesis de maestría) Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal.
- Poblete, A. & Pascual, M. A. (2007). *Thermographic measurement of the effect of humidity in mortar porosity*. Infrared Physics & Technology, 49(3), 224-227. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2006.06.009>
- Rehman, S., Ibrahim, Z., Memon, S. A., & Jameel, M. (2016). *Nondestructive test methods for concrete bridges: A review*. Construction and Building Materials, 107, 58–86. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.011>
- Righi, G. V. (2009). *Estudos dos sistemas de impermeabilização: patologias, prevenções e correções-análise de casos* (Tesis de maestría) Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.
- Rocha, J. H. A., Silva, M. T., Póvoas, Y. V., & Monteiro, E. C. B. (2017). *Análise da Profundidade de Fissuras em Concreto com Termografia Infravermelha*. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, 2(3), 58-65. <https://doi.org/10.25286/rep.v2i3.688>
- Rocha, J. H. A., Santos, C. F., Oliveira, J. B., Albuquerque, L. K., & Póvoas, Y. V. (2018). *Detecção de infiltração em áreas internas de edificações com termografia infravermelha: estudo de caso*. Ambiente Construído, 18(4), 329-340. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000400308>
- Santos, C. F., Rocha, J. H. A., & Póvoas, Y. V. (2019). *Utilização da termografia infravermelha para detecção de focos de umidade em paredes internas de edificações*. Ambiente Construído, 19(1), 105-127. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000100296>
- Tarpani, J. R., Almeida, E. G. R. de, Simêncio, E. C. A., Mota, L. P., Paz, J. H. A. A., Gualberto, A. R. M., Cardoso, F. L. A., & Gatti, C. A. (2009). *Inspeção termográfica de danos por impacto em laminados de matriz polimérica reforçados por fibras de carbono*. Polímeros, 19(4), 318-328. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282009000400012>