

## Uso de termografía infrarroja para estudiar el desempeño térmico de paredes: una revisión bibliográfica

G. P. Silva<sup>1\*</sup> , P. I. B. Batista<sup>1</sup> , Y. V. Povóas<sup>1</sup> 

\*Autor de Contacto: [graziela.ps04@gmail.com](mailto:graziela.ps04@gmail.com)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.341>

Recepción: 05/08/2018 | Aceptación: 09/11/2018 | Publicación: 30/04/2019

Editor Asociado Responsable: Dr. Paulo Helene

### RESUMEN

Este artículo tiene por objetivo presentar la influencia de la termografía infrarroja en paredes de albañilería para detectar manifestaciones patológicas. Se realizó una revisión sistemática a través de investigación con búsqueda automática y snow-balling, selección y cribado de los artículos para restringir los artículos al tema deseado. Después de esto, fue estudiado sobre la termografía infrarroja en las manifestaciones patológicas, las propiedades térmicas y su comportamiento, puentes térmicos, diferencia de temperatura e infiltraciones de aire. En general es necesario tener algunos cuidados durante la ejecución de los experimentos y mediciones. Además, se ha demostrado que la termografía infrarroja es una técnica compleja y precisa de ser utilizada.

**Palabras clave:** termografía infrarroja; rendimiento térmico; manifestaciones patológicas; propiedades térmicas; fugas de aire.

**Citar como:** Silva, G. P., Batista, P. I. B., Povóas, Y. V. (2019), “Uso de termografía infrarroja para estudiar el desempeño térmico de paredes: una revisión bibliográfica”, Revista ALCONPAT, 9 (2), pp. 117 – 129, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.341>

<sup>1</sup> Universidade de Pernambuco, Brasil.

### Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Página Web: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el primer número del año 2020 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 2019.

## The usage of infrared thermography to study thermal performance of walls: a bibliographic review

### ABSTRACT

This article aims to present the influence of infrared thermography on masonry walls to detect pathological manifestations. A systematic review was carried out through research with automatic search and snow-balling, selection and sifting of articles to restrict them to the desired theme. After that, infrared thermography in the pathological manifestations was studied along with the thermal properties and their behavior, thermal bridges, temperature difference and air infiltrations. In general, some care must be taken during the execution of experiments and measurements. It has also been shown that infrared thermography is a complex technique and should be used.

**Keywords:** infrared thermography; thermal performance; pathological manifestations; thermal properties; air leaks.

## O uso da termografia infravermelha para o estudo do desempenho térmico de paredes: revisão bibliográfica

### RESUMO

Este artigo tem por objetivo apresentar a utilização da termografia infravermelha em paredes de alvenaria no auxílio do desempenho térmico. Foi realizado uma revisão sistemática através de pesquisa com busca automática e snow-balling, seleção e peneiramento dos artigos para restringir os artigos ao tema desejado. Após isto, foi estudado sobre a termografia infravermelha nas manifestações patológicas, as propriedades térmicas e seu comportamento, pontes térmicas, diferença de temperatura e infiltrações de ar. De uma forma geral é necessário ter alguns cuidados durante a execução dos experimentos e medições. Ademais foi mostrado que a termografia infravermelha é uma técnica complexa e precisa de ser utilizada.

**Palavras-chave:** termografia infravermelha; desempenho térmico; manifestações patológicas; propriedades térmicas; vazamentos de ar.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las paredes pueden ser evaluadas a fin de verificar una mejor calidad para el desempeño térmico. Hay diversas formas de medición de acuerdo con la funcionalidad o parámetro que desee ser observado, entre ellas: resistencia mecánica, absorción de agua, capilaridad, desempeño térmico, características geométricas, etc., son algunos aspectos que pueden ser evaluados para la obtención de un desempeño satisfactorio de las paredes de una edificación.

La Norma de Desempeño 15575 (ABNT, 2013) y la norma base sobre Desempeño térmico 15220 (ABNT, 2005) se complementan pues la primera define desempeño como “comportamiento en uso de una edificación y de sus sistemas” y la segunda los conceptos térmicos, propiedades y sus cálculos.

La termografía infrarroja es una técnica de inspección no invasiva y no destructiva. Su captura es hecha a través de aparatos que muestran la radiación infrarroja, a través de mecanismos de fácil utilización, rápida y de forma compleja. La utilización de la técnica se ha hecho más común gracias a su naturaleza rápida, precisa y sin contacto que permite ser utilizada en una amplia gama de casos (Kylili et al., 2014). La termografía infrarroja utiliza una cámara para medir la radiación infrarroja emitida de un objeto y convertir en un patrón de radiación térmica, que es invisible al ojo humano, en una imagen visible (Clark et al., 2003).

Muchos investigadores han usado las técnicas de termografía infrarroja para diversas utilidades (Bagavathiappan et al., 2013) como, por ejemplo, medición de la emisividad, determinación del

coeficiente global de transferencia de calor, entre aplicaciones, demostrando así que esto tiene un potencial positivo (Porras-Amores et al., 2013). O’Grady (2017a) trae como dato importante en su investigación: cerca de 40% de la energía consumida en Europa proviene de edificaciones. El estudio previo del comportamiento térmico de las paredes evita errores en la fase de construcción. Después de construido, su verificación *in loco* permite encontrar posibles fallas y/o deficiencias de proyecto que llevan a una reducción de su desempeño térmico.

En Argentina, cerca de un tercio de la energía producida es para el gerenciamiento de los edificios, siendo que la mitad de esta es direccionada para calentamiento y enfriamiento y más de 30% restante es perdido por aislamiento térmico insuficiente o tejados y paredes que tiene una tendencia a presentar supercalentamiento en verano y escapes de calor en invierno (Marino et al., 2016).

De acuerdo con la Green Building Council Brasil (2015) tomando como base el balance energético nacional de 2015, de toda la energía eléctrica demandada, cerca de 50% era para edificaciones. Además de esto, el consumo de energía eléctrica en Brasil, excluyendo las pérdidas, llega a 516,6 TWh, de este valor 258 TWh, o el equivalente a R\$ 60 billones son consumidos apenas por las edificaciones. Según la EIA (2018) en Estados Unidos en el 2017, alrededor de 39% de la energía total producida fue consumida por residencias y sectores comerciales. En los países de la Unión Europea, el sector terciario y residencial consume cerca de 41% de toda la energía producida, siendo que 55% es calor. Similarmente en Sérvia, donde cerca de 50% de la energía total consumida va para las edificaciones, solamente que el 60% de ella es calor (Tanic et al., 2015). Ante esas informaciones, se nota la gran importancia del estudio del comportamiento térmico de paredes.

Las edificaciones rurales en China consumen mucha energía y tiene un desempeño térmico pobre debido al tipo de estado de los materiales de construcción (Diao et al., 2018). Entonces, la detección y cuantificación de las pérdidas de calor a través de las edificaciones se vuelven relevantes por ser un tema de extrema importancia para la sociedad.

Existe aún una carencia de estudios sobre el asunto, dificultando la investigación y un mejor entendimiento sobre el alcance de la termografía infrarroja. Por ser un asunto que tiene más de 25 años de investigaciones relevantes, investigadores están invirtiendo en este tema intencionalmente para explorar toda la extensión de la utilización de la termografía infrarroja. Debido a esto, este trabajo tiene por objetivo realizar una revisión sistemática de los trabajos existentes sobre la utilización de la termografía infrarroja para el conocimiento de los parámetros, sus propiedades y su influencia en el desempeño térmico de paredes.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Histórico de la termografía infrarroja

La termografía infrarroja comenzó a ser utilizada para otros fines y no para la construcción civil. En sus principios fueron descubiertos por casualidad en cuanto se intentaba solucionar un problema astronómico, alrededor de 1800, por el científico William Herchel (Barr, 1961), siendo perfeccionado para su utilización en diversos sectores a lo largo de los años (Lucchi, 2018). En los años 1830, el investigador italiano, Melloni, descubrió que la sal (NaCl) en cristales naturales grandes o suficientes para ser transformados en lentes y prismas, se convirtió en el principal infrarrojo hasta la década de 1930, cuando llegó la era del cristal sintético (Flir, 2017). El primer detector cuántico fue desarrollado entre 1870 y 1920 basado en las interacciones entre las radiaciones, aumentando la precisión y reduciendo considerablemente el tiempo de respuesta (Smith et al., 1958). La termografía fue más perfeccionada durante la segunda guerra mundial, mostrando la importancia de la tecnología principalmente en la noche y su ampliación del uso de las imágenes infrarrojas en el sector de la construcción surgió alrededor del año 2000, con el uso de titanato de bario-estroncio y microbolometro (Lucchi, 2018). Su uso aumentó drásticamente en los últimos años principalmente en obras de restauración, construcción de edificios e inspecciones

(Kylili et al., 2014; Bianchi et al., 2014) debido a las mejoras físicas y tecnológicas, como reducción del tamaño del equipo, reducción de costos y mejoras en la resolución, sensibilidad y precisión, operacionalidad y portabilidad (Meola, 2012). La utilización ha crecido bastante en los últimos 15 años, principalmente para la ingeniería civil y restauraciones de edificios históricos, facilitando así una difusión de las leyes europeas no solo para la eficiencia energética, sino también para la auditoría energética de las edificaciones (Lucchi, 2018). Mucho se ha aprendido con la termografía infrarroja, sin embargo, aún transcurridos más de 30 años desde el inicio de su utilización, aún no ha tenido toda su extensión explorada (Grinzato et al., 2002; Albatici y Tonelli, 2010).

## 2.2 Normalización de la termografía infrarroja en el Brasil y en el mundo

Alrededor del mundo, la utilización de la termografía infrarroja ha sido difundida hace algunos años. Tanto que ya existen normas como las de ASTM, ISO y de la Unión Europea, que regulan la utilización de la termografía infrarroja en edificaciones, sus propiedades y su uso es ampliamente recomendada (ASTM, 2013a; ASTM, 2015a; ASTM, 2013b, ASTM, 2015b; ISO, 2008; ISO, 2015; EN, 1999).

En Brasil no hay una norma que regularmente el uso, teniendo muchas veces que recurrir a normas internacionales o adaptaciones de uso en otras áreas.

La norma brasilera que tiene algún aspecto con el uso de la termografía infrarroja es la NBR 15575 – Norma de Desempeño (ABNT, 2013a), la cual es dividida en 6 partes y habla sobre los aspectos para un buen desempeño de la edificación, inclusive el térmico. Por tanto, no hace referencia a ningún ensayo de campo para la verificación de estos desempeños. Algunas normas brasileñas que hacen referencia a termografía infrarroja, entre ellas se destaca la NBR 15572 (ABNT, 2013b), NBR 15763 (ABNT, 2009) y NBR 15866 (ABNT, 2010), que abordan las técnicas para su utilización.

Según Marques y Chavatal, (2013) el comportamiento térmico de una casa depende sustancialmente de la interacción entre las paredes externas, techo y piso. Hoy en día, alrededor del mundo, las paredes son construidas con varios materiales en diversas capas (Robinson et al., 2017). En Brasil, gran parte de las edificaciones aún usan los materiales tradicionales, como concreto, bloques cerámicos y yeso. Todavía, actualmente los investigadores están explorando otros materiales como EVA (Silva et al., 2012) y fibras vegetales (Savastano Junior y Pimentel, 2000), en diferentes porcentajes, insertados en los materiales tradicionales, para ayudar en su comportamiento sin retirar sus características.

## 2.3 Metodología

De acuerdo con Maldague (2001), la termografía infrarroja está dividida en dos técnicas principales, la activa y la pasiva. Lerma et al. (2018) dice que las técnicas no entran en contacto con el sustrato a fin de evitar daños o recuperaciones a futuro.

La técnica pasiva es aquella en la cual la medición de la temperatura es hecha en condiciones normales, objetos que tienen energía térmica propia o de alguna forma almacenan energía por una fuente natural de calor, existiendo una diferencia de temperatura entre el objeto estudiado y el medio (Kylili et al., 2014; Viégas, 2015). En la técnica de termografía infrarroja activa, es necesario una fuente externa de energía artificial, generando una variación de temperatura sobre el objeto (Viégas, 2015). La utilización de la termografía pasiva irá a depender de la energía disponible en la naturaleza, pudiendo muchas veces sufrir inferencia del viento, sombra, condiciones climáticas y ambientales. Como el principio de la termografía activa es la utilización de fuentes de calor artificial, el uso de bombillos en el ambiente puede ser considerado una alternativa.

Dentro de la termografía activa existen algunas técnicas que se diferencian por la naturaleza de los estímulos aplicados siendo por bombillos de calentamiento o por ondas elásticas, también llamadas de ultrasonido (Kylili et al., 2014), siendo así denominadas de *Pulsed*, *Lock-in*, *Pulsed-Phase* (Maldague, 2001 apud Rocha, Póvoas, 2017), *Laser Spot Array Thermography* (Pei et al., 2016), *Principal Component Thermography* (Milovanovic et al., 2016; Rajic, 2002), entre otros.

Desde el inicio la utilización de la termografía infrarroja en la construcción civil ha sido utilizada en el monitoreo de edificaciones tanto de forma cuantitativa cuanto cualitativa (Grinzato et al., 2002). El análisis cualitativo es considerado una técnica de la termografía infrarroja que ofrece informes instantáneos, pues el enfoque de ella es el perfil y no sus valores (ITC, 2014 apud Viégas, 2015), siendo una comparación del valor relativo al acceso local en relación con un punto de referencia (Bagavathiappan et al., 2013).

En la termografía cuantitativa es posible definir la seriedad de la situación del objeto estudiado, siendo siempre el segundo análisis por hacer, pues la primera debe ser la cualitativa, dado que el análisis cuantitativo permite la cuantificación numérica de los parámetros que están siendo evaluados. Si no fue hecho de esta forma, está siendo hecho solamente el análisis comparativo (ITC, 2014 apud Viégas, 2015). El análisis cuantitativo de los datos permite una determinación precisa de la temperatura de un punto o de una región (Bagavathiappan et al., 2013).

Dentro del tipo de análisis hecho, diversos métodos son utilizados para medir el desempeño térmico de las edificaciones como el Laser spot thermography (LST) (Pei et al., 2016), heat flux meters (HFM) (Danielsky y Fröling, 2015), técnica de termovisión infrarroja (Albatici y Tonelli, 2010), entre otros.

Esas técnicas son utilizadas para la medición de puentes térmicos (O'grady, 2017a; Bianchi et al., 2014; Brás et al., 2014), infiltración de aire (Lerma et al., 2018), transmitancia térmica (Simões et al., 2014; Donatelli et al. 2016), emisividad térmica (Abatici et al., 2013; Ciocia y Marinetti, 2012), y otras propiedades.

A diferencia de los materiales y de la humedad presente en ellos, de la emisividad a ser analizada, los ruidos causados por las lecturas de temperatura reflexivas son algunos de los factores que interfieren en el análisis de la termografía infrarroja.

### **3. DESEMPEÑO TÉRMICO DE LAS PAREDES**

El calentamiento global ha traído un creciente aumento de la temperatura. Al observar este hecho, el sector de la construcción civil busca mejoras en la eficiencia energética a través de alternativas que eviten el desconfort térmico de las edificaciones (Cani et al., 2012). La Directiva Europea 2010/31/ UE (European Parliament and of the Council, 2010) trae una descripción sobre como la eficiencia energética de los edificios ejerce un papel planificado en la obtención del consumo casi cero. Aversa et al. (2017) dice que “para que esto ocurra, el análisis o la auditoría energética es una herramienta eficaz y rápida para nuevas construcciones, proyectos y en la toma de medidas sobre la renovación energética de los edificios existentes que generalmente son caracterizados por ineficiencia que llevan al desperdicio de energía”. Debido al lanzamiento de la Norma de Desempeño en Brasil, la NBR 15575 (ABNT, 2013), cada vez más en cuenta el confort térmico. Este confort térmico es definido como la condición de la mente que expresa la satisfacción del usuario con un ambiente (Ghahramani et al., 2018).

#### **3.1 Escapes de aire**

Lerma et al. (2018) realizaron un trabajo con el objetivo de promover una discusión sobre las oportunidades y restricciones de usar la termografía infrarroja activa para detectar escapes de aire. El potencial es evaluado tanto de forma cualitativa, comparando los termogramas de la termografía infrarroja pasiva con la activa. Además de hacerla cuantitativa, se probaron los métodos de interpretar numéricamente los termogramas. Fue realizado el experimento en un cuarto de una construcción de 1980, en el Noroeste de Portugal. El experimento fue realizado durante 8 días con condiciones climáticas diferentes y la medición fue hecha tanto del lado interno como externo. En el análisis cualitativo, fue detectado, en el enfoque activo, que las infiltraciones de aire empiezan a ser visibles cuando la diferencia de presión es de 25 Pa, y en el enfoque pasivo, la diferencia de presión precisa ser mayor para ocurrir escapes. En el análisis cuantitativo fueron usados dos



diferentes posiciones de la cámara para la detección de los escapes de aire, la cámara perpendicular (PP) y la cámara paralela (PL) al rodillo de obturador de mano. La primera técnica detectó los escapes de aire a través de la diferencia de presión y la segunda detectó los locales con la temperatura más fría como puntos de fuga de aire. Los resultados mostraron que el análisis cuantitativo el escenario PP permitió una discusión más detallada. En el análisis cualitativo, la termografía activa, mostró más claramente los resultados.

Grinzato et al. (1998) utilizaron una metodología que resultó en una discusión de la detección y evaluación de las fallas en edificios. Para la detección de los escapes de aire, fue verificado en una pared maciza con defecto en el yeso, la termografía infrarroja cuantitativa, produjo imágenes antes y después de los escapes para la verificación. Se constató que un estímulo térmico, sea irradiación solar, flujo de aire o flujo radiante de una fuente artificial, sería útil en la detección de defectos. La principal desventaja del análisis transitorio es el aumento considerable del tiempo de procesamiento, difícilmente alcanzado sin equipamiento exclusivo.

### 3.2 Puentes térmicos

Los puentes térmicos son definidos como “todas y cualquiera zona de los alrededores de un edificio en las cuales la resistencia térmica es significativamente alterada relativamente a la zona corriente del entorno” (ISO, 2008 apud Castro, 2010). Las alteraciones ocurridas en la resistencia térmica pueden ser provocadas, por la total o parcial incorporación de materiales con diferente conductividad térmica, por la variación de su espesor y/o por la desigualdad de sus áreas interna o externa, como sucede en el caso de los enlaces entre paredes y pavimentos (Castro, 2010).

Asdrubali et al. (2012) traen en su trabajo, un análisis cuantitativo, a través de la utilización de la termografía infrarroja, como un experimento comparativo de un puente térmico aislada y otra no. El artículo propone una metodología para realizar un análisis cuantitativo de algunos tipos de puentes térmicos, a través de levantamientos termográficos simples y posterior procesamiento analítico. El puente térmico seleccionado fue dado a través de la diferencia de la estructura y del vidrio de la ventana colocada. Esta pared fue elaborada entre 2 salas, con diferencia de temperatura de 20°C. Fueron considerados 2 análisis. La diferencia entre el factor de incidencia de puentes térmicos con relación a las comparaciones es igual a 1606 para el aislado y 2000 para el no aislado. El factor de influencia calculado in situ, es igual a 2,111 y el factor de incidencia de los puentes térmicos calculado por el programa FLUENT es igual a 1,262. Por lo tanto, hay una reducción en la pérdida de calor del puente térmico cercano al 40%. Para un mejor desempeño fueron realizadas simulaciones para una pérdida de calor global en el invierno y se encontró pérdida de calor de 4684 W, 13,4% de los cuales debido al puente térmico. La corrección de este puente térmico reduciría la pérdida de calor para un valor de 4307 W y la incidencia del puente térmico para 8,8%.

Bianchi et al. (2014) utilizaron un análisis cuantitativo de la termografía infrarroja en la medición en campo con el objetivo de evaluar las pérdidas de energía a través de una edificación de 10m<sup>2</sup> en el cual fueron evaluadas las paredes externas, el techo y el piso. Para esto, fue realizado un comparativo entre 9 factores incidentes de puentes térmicos calculados e identificados. En general, el análisis trae que los puentes térmicos aumentan la pérdida de calor a través de la edificación en 9%. Los principales resultados muestran que el procedimiento es una herramienta confiable para cuantificar la incidencia de puentes térmicos. O’Grady et al. (2017a e 2017b), en sus dos trabajos, traen un enfoque cuantitativo y muestran la pérdida de calor por los puentes térmicos a través de la diferencia de temperatura y de la transmitancia térmica. Grinzato et al. (1998) trajeron en su investigación experimentos en tres diferentes tipos de paredes: concreto, lana de roca y panel adosado de concreto con una barra cruzando la capa de aislamiento. La finalidad fue la verificación del comportamiento del puente térmico en la utilización de la termografía infrarroja cuantitativa. Vea la tabla 1 para más información.

Cuadro 1. Resumen de los estudios sobre puentes térmicos

Autor	Metodología	Principales Conclusiones
Asdrubali, Baldinelli, Bianchi (2012)	Comparación de los resultados de la termografía infrarroja cuantitativa con datos obtenidos por medidores de flujo de calor y los resultados de un análisis de volumen finito.	El factor de incidencia del puente térmico describe correctamente el grado de dispersión de la singularidad, cuantificando el resultado de la térmica corrección del puente.
Bianchi et al. (2014)	Utilización de la termografía infrarroja cuantitativa en el monitoreo del área a ser estudiada.	Aumento de las pérdidas de calor de aproximadamente 9%
O’Grady, Lechowska, Harte (2017a)	Utilización de la termografía infrarroja cuantitativa sobre el estudio de los puentes térmicos a través de la diferencia de temperatura y transmitancia térmica; metodología experimental propuesta por el autor.	El viento impacta en la pérdida de calor por el puente térmico en la parte plana. Para puentes térmicos con velocidades de viento entre 0,5 m/s y 4 m/s, el desvío relativo varía entre + 5% y -9%.
O’Grady Lechowska, Harte (2017b)	Utilización de la termografía infrarroja cuantitativa sobre el estudio de los puentes térmicos a través de la diferencia de temperatura y transmitancia térmica; metodología experimental propuesta por el autor.	Funciona bien en el laboratorio. Después de probada en condiciones reales, la metodología puede ser aplicada en cualquier puente térmico.

### 3.3 Propiedades térmicas

Jorge (2011) muestra que las paredes son elementos construidos visando separar los ambientes y cuando la energía térmica es considerada, se puede observar y cuantificar a través de las propiedades térmicas. Como todo objeto, las paredes tienen propiedades mecánicas, químicas y térmicas. En las propiedades térmicas, se destacan la transmitancia térmica, difusividad térmica, resistencia térmica, capacidad térmica, coeficiente de transferencia de calor y la conductividad.

Aversa et al. (2017) propone el estudio experimental del comportamiento térmico de paredes opacas utilizando termografía activa estimulada con el objetivo de evaluar la eficacia de este método en un comportamiento dinámico en paredes prototipos y verificación de su éxito para aplicación *in situ*. Este compara una pared de ladrillos con un prototipo de pared con fibras de cáñamo. Se notó claramente que las fibras de cáñamo influyeron en un aumento del factor de decrecimiento (razón entre la transmitancia térmica periódica y la transmitancia térmica) de 0,87 para 0,92 para las paredes con las fibras. También en el aumento de la diferencia de tiempo estimado. Se concluye que diferentes resultados fueron encontrados, siendo el próximo paso a la medición *in situ*.

Grinzato et al. (2002) utilizaron termografía infrarroja y calcularon la difusividad térmica de una muestra de ladrillo de una edificación antigua en bloque macizo, localizado en el Arsenal Histórico de Venecia, realizando seis pruebas para auxiliar en el mapa de humedad. Fue realizado primeramente el análisis cuantitativo con monitoreo continuo seguido de un análisis cualitativo para mapear la distribución de humedad debido al efecto de enfriamiento de agua por evaporación. El mayor valor encontrado de difusividad térmica fue de  $5,2800 \cdot 10^{-7} m^2/s$  y el menor fue de  $5,1288 \cdot 10^{-7} m^2/s$ . Los resultados mostraron que la aplicación para el mapa de humedad, en la unión de las paredes y en el conocimiento de la difusividad térmica de ladrillos y yeso fue un éxito.

Robinson et al. (2017) tiene por finalidad estudiar un método simple y de bajo costo para estimar la difusividad térmica efectiva en paredes estructurales de edificaciones. Para esto, utilizaron la termografía infrarroja como método experimental y de bajo costo para el cálculo de la difusividad térmica de la pared de concreto bajo condiciones controladas. La mayor dificultad encontrada en

este trabajo fue el control de la pérdida de calor por los límites laterales de la sección, siendo calculado in situ, visto que, en ambiente controlado, los límites laterales fueron aislados. Este experimento barato es combinado con un modelo matemático y resultó en una difusividad del concreto de  $7,2 \text{ m}^2/\text{s} \pm 0,27 \text{ m}^2/\text{s}$ , que es suficientemente preciso. Para este experimento los límites laterales fueron aislados, y se concluyó que hay una gran pérdida de calor para esos límites.

Danielsky y Fröling (2015) investigaron una metodología cuantitativa para analizar el desempeño térmico de la fachada de una edificación en condición de estado no estacionario, incluyendo dos fases. Hicieron experimentos con paredes de madera expuesta a condiciones externas para calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección, encontrándose el valor de  $2,63 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Los parámetros externos utilizados fueron, velocidad del viento, humedad, caída de nieve, además del flujo de calor a través de la pared fue asumido para obtener condición de estado estable apenas escasamente y durante períodos cortos, si en todo. Fue utilizado el HFM y la termografía infrarroja para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor y de la conductividad. Los resultados se encontraron compatibles con diferencias entre los métodos de 4% y 3%, respectivamente para la conductividad y el coeficiente de transferencia global, sugiriendo que el método de la termografía es más preciso.

Donatelli et al. (2016) utilizaron termografía activa para dos paredes prototipos en condiciones ambientales controladas y calcularon la transmitancia térmica in situ, comparando con la transmitancia térmica calculada por un programa de computador. Los resultados mostraron que las mediciones de temperatura hechas en el software (FEA) son idénticas a las de una pared real y que el procedimiento permite la medición de la temperatura en pared prototipo a lo largo del año, sin interferencia climática.

O'Grady et al. (2017a) tuvieron la intención de elaborar un estudio con un método eficiente, no destructivo, basado en un levantamiento termográfico infrarrojo al aire libre, para determinar el desempeño del puente térmico. Para esto, compararon los valores de las propiedades térmicas, principalmente de transmitancia térmica, obtenidos por la termografía infrarroja cuantitativa, con los valores de una caja caliente y por un programa de computador para ajuste de los resultados. Fue calculada la transmitancia térmica de estos dos 2 métodos con 3 velocidades de vientos diferentes y hecha la comparación entre ellos. Para el cálculo de la transmitancia térmica, el coeficiente convectivo externo fue determinado usando la aproximación de Jürges y el número de Nusselt. Los resultados de este estudio demostraron la adecuación de ambos enfoques para el cálculo del valor de la transmitancia térmica, en cuanto a la aproximación de Jürges es menos demorado. La termografía infrarroja es una herramienta efectiva para la determinación de la transmitancia térmica.

O'Grady et al. (2017b) proponen la utilización de un método no invasivo y fácil de usar para brindar las mediciones cuantitativas del desempeño térmico real del puente térmico. Estudiaron las propiedades térmicas y utilizaron la termografía infrarroja cuantitativa además de un programa experimental hecho para cuantificar los puentes térmicos y probado en una caja caliente calibrada y controlada. Ellos utilizaron el cálculo de la transmitancia térmica y de la variación de temperatura. Fueron realizadas 3 muestras, y el mayor valor encontrado por la medición fue tanto por la hot box, cuanto por la termografía. La muestra 1 respectivamente,  $0,441 \text{ W}/(\text{mK})$  y  $0,436 \text{ W}/(\text{mK})$ . Se puede concluir que después de probada en laboratorio y con excelentes resultados para las condiciones externas, las observaciones serán un desafío para la precisión de las mediciones por la termografía infrarroja.

### 3.4 Medición de temperatura

Datcu et al. (2005) utilizaron la termografía infrarroja cuantitativa para la medición de pared con el objetivo de mejorar la medición de la temperatura ambiente, tanto interna cuanto externa. Los autores utilizaron un espejo infrarrojo, que permite mayores medidas de temperatura superficial por termografía infrarroja bajo condiciones próximas al ambiente con mayor precisión. Para validar el método, un estudio experimental fue realizado en una pared de multicapas, que simuló un patrón



de aislamiento. La metodología abordada en el trabajo permitió cuantificar la radiación promedio alrededor del objeto usando en espejo de aluminio altamente reflexivo y difusivo. Entonces fueron utilizadas dos fuentes de calor, una con 24 y otra con 48  $W/m^2$  y los resultados encontrados fueron comparados con los resultados del programa FLUENT para el ambiente interno, y el ambiente externo, fueron comparados a temperatura de la pared, con la de la ventana y con el del receptor de calor.

Lai et al. (2015) utilizaron termografía infrarroja pasiva cuantitativa para el análisis de la pared externa de un rascacielos. Fueron utilizados cuatro paredes de concreto con diferentes revestimientos. La metodología fue utilizada cuando hubo cambios de flujo de calor y de intensidad solar. Ellos utilizaron cámaras termográficas y un programa computacional para el análisis. Porras-Amores et al. (2013) utilizaron la medición de la pared y la superficie a fin de localizar la temperatura de aire interior de la edificación. El estudio realizado se enfoca en el diseño del sistema, su caracterización y cuantificación de su precisión en diferentes configuraciones. Ellos desarrollaron el trabajo de termografía cuantitativa que pretende desarrollar una técnica precisa de medición. Fue realizado el experimento en el estacionamiento y en el sótano. Se apreciaron pequeñas variaciones de temperatura, longitudinalmente.

#### 4. CONCLUSIÓN

La termografía infrarroja, como lo mostrado, puede ser utilizada combinada con otros métodos para efecto de comparación de valores y estructuras.

Se observó una gran aplicabilidad que la termografía infrarroja trae en la identificación de los puntos de escapes de aire. La utilización de la termografía activa ó pasiva va a generar diferentes resultados y la técnica activa muestra más claramente los escapes de aire. Las ventajas destacadas en la utilización de la termografía infrarroja para la detección de los escapes de aire es que los estímulos externos ayudan en esta detección. Las incertezas identificadas fueron las dificultades en el mayor tiempo de procesamiento del análisis transigente, que necesita de un equipo exclusivo para ello, y la interpretación de los datos de los gráficos e histogramas de presión versus temperatura. Para investigaciones futuras, la comparación entre las imágenes térmicas de la termografía infrarroja pasiva con la activa es un enfoque cuantitativo que sería de gran utilidad.

Las ventajas encontradas en los puentes térmicos son evaluaciones de forma simples y eficaz del efecto del puente térmico en la construcción del comportamiento de la energía térmica. Simplicidad de la geometría de la edificación facilita para valores medidos y calculados. En particular, la incerteza del consumo de energía en la configuración con puentes térmicos debe ser tomado en cuenta el error singular debido al análisis de cada puente térmico. El factor de incidencia del puente térmico, analíticamente definido, depende de la temperatura interna de aire y de la temperatura interna de la pared para que la cámara termográfica infrarroja pueda leer. Las aplicaciones sobre puentes térmicos identificadas a través de las mediciones es posible hacer las intervenciones para la mejoría de los aislamientos. Además de esto, es un medio útil para analizar, perfeccionar y validar las herramientas de simulación 3D especialmente proyectadas para la evaluación del desempeño energético en edificios, una vez que estas son capaces de evaluar campos térmicos de paredes internas y externas.

Con relación a las propiedades térmicas, lo que más se abordó fue el cálculo de la transmitancia térmica, habiendo varios métodos para calcular y comparar los resultados, existiendo diferencias significativas entre la transmitancia térmica calculada y la medida *in situ*. Además, algunos trabajos enfatizaron que la medición *in situ* de las propiedades térmicas sería mejor ejecutada en invierno. Hay un estudio hecho en laboratorio, indicando que el procedimiento implementado busca la medición en paredes prototipos durante todo el año, sin preocupaciones con cambios climáticos. Las ventajas encontradas de la termografía infrarroja son la multidisciplinariedad y la integración de los resultados. Entre la incerteza que se repitió, en algunos trabajos fue, como la metodología

aplicada se comportaría lo cual sería su resultado en condiciones normales, es decir, sin ser controladas en laboratorio. Las dificultades encontradas fueron bastante puntuales, tanto en relación con la utilización de la termografía infrarroja en edificios históricos debido a diversos factores ambientales, como a las pérdidas de calor no controladas por los límites laterales de la sección bajo observación. Y no hubo restricciones en cuanto a la aplicabilidad para este tópico.

También fue muy utilizado el enfoque de la termografía infrarroja para la medición de temperatura, la cual presentó un alto poder comparativo. La termografía infrarroja tiene la ventaja de mostrar imágenes con diferentes identificaciones, para medir la temperatura de la superficie en un área del elemento en construcción, ofreciendo así, datos más representativos en relación con las mediciones puntuales. Las dificultades encontradas fueron en el monitoreo cuantitativo a través de la termografía convencional que presenta problemas en la medición de la temperatura de superficie y condiciones de aire en el interior de la edificación. Además de esto, puede ser hecha su aplicación en diversas superficies.

De manera general, la mayor parte de los trabajos sobre la termografía infrarroja trajo el análisis cuantitativo. El enfoque activa también es bastante explorado. Se apreció que hay una multidisciplinariedad entre los tópicos abordados, visto que algunos autores, en sus trabajos, utilizaron la termografía infrarroja para hablar sobre más de un aspecto, enriqueciendo y complementando el estudio hecho.

Algunos autores utilizaron programas computacionales, principalmente para la medición de las propiedades térmicas, cuando había estudios experimentales facilitando la comparación entre valores experimentales y teóricos. Los trabajos que utilizaron experimentos con prototipos y condiciones controladas y tuvieron éxito, dejaron una importante consideración referido a que el próximo paso sería la medición in situ. Por tanto, se espera que la termografía infrarroja sea cada vez más explorada y pueda traer mejores desempeños y economía energética en las edificaciones.

## 5. REFERENCIAS

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas. (2013a). “*NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1 – 6*”. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas. (2013b). “*NBR 15572: Ensaio não destrutivo – Termografia Infravermelha – Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos*”. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas. (2005). “*NBR 15220: Desempenho térmico das edificações Parte 1 – 5*”. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas. (2010). “*NBR 15866: Ensaio não destrutivo – Termografia - Metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos*”. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas. (2009). “*NBR 15763: Ensaio não destrutivo – Termografia – Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência*”. Rio de Janeiro.

Albatici, R., Passerini, F., Tonelli, A. M., Gialanella, S. (2013), “*Assessment of the thermal emissivity value of building materials using an infrared thermovision technique emissometer*”, Energy and buildings, V.66, p.33-40. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.004>

Albatici, R., Tonelli, A. M. (2010), “*Infrared thermovision technique for the assessment of thermal transmittance value of opaque building elements on site*”, Energy and Buildings, V.42, No.11, p.2177-2183. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.07.010>

Asdrubali, F., Baldinelli, G., Bianchi, G. (2012), “*A quantitative methodology to evaluate thermal bridges in buildings*”, Applied Energy, V.97, p.365-373. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.054>

ASTM. (2013a). “*C1046-95: Standard practice for in-situ measurement of heat flux and temperature on building envelope components*”, (West Conshohocken, United States: ASTM

- International), p. 10. <http://dx.doi.org/10.1520/C1046>
- ASTM. (2013b). “C1155-95: Standard practice for determining thermal resistance of building envelope components from the in-situ data”, (West Conshohocken, United States: ASTM International), p. 8. <http://dx.doi.org/10.1520/C1155-95R13>
- ASTM. (2015a). “C1060-11a: Standard practice for thermographic inspection of insulation installations in envelope cavities of frame buildings”, (West Conshohocken, United States: ASTM International), p. 7. <http://dx.doi.org/10.1520/C1060-11AR15>
- ASTM. (2015b). “C1153-10: Standard practice for location of wet insulation in roofing systems using infrared imaging”, (West Conshohocken, United States: ASTM International), p. 6. <http://dx.doi.org/10.1520/C1153-10R15>
- Aversa, P., Palumbo, D., Donatelli, A., Tamborrino, R., Ancona, F., Galietti, U., Luprano, V. A. M. (2017), “Infrared thermography for the investigation of dynamic thermal behaviour of opaque building elements: Comparison between empty and filled with hemp fibres prototype walls”, *Energy and Buildings*, V.152, p.264-272. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.055>
- Bagavathiappan, S., Lahiri, B. B., Saravanan, T., Philip, J., Jayakumar, T. (2013), “Infrared thermography for condition monitoring – A review”, *Infrared Physics & Technology*, V.60, p.35-55. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2013.03.006>
- Barr, E. S. (1961), “The infrared pioneers—I. Sir William Herschel”. *Infrared Physics*, v. 1, p. 1-2.
- Bianchi, F., Pisello A. L., Baldinelli G., Asdrubali, F. (2014), “Infrared Thermography Assessment of Thermal Bridges in Building Envelope: Experimental Validation in a Test Room Setup”, *Sustainability*, V. 10, No. 6, p.7107-7120. <https://doi.org/10.3390/su6107107>
- Brás, A., Gonçalves, F., Faustino, P. (2014), “Cork-based mortars for thermal bridges correction in a dwelling: Thermal performance and cost evaluation”, *Energy and Buildings*, V.72, p.296–308. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.022>
- Cani, B. F., Marinoski, D. L., Lamberts, R. (2012), “Aplicação da termografia infravermelha para verificação da temperatura em telhas cerâmicas com diferentes teores de umidade e condições de limpeza da superfície” in: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - XIV ENTAC, Juíz de Fora: MG (BR).
- Castro, J. L. B. B. (2010), “Quantificação dos coeficientes de transmissão térmica lineares - pontes térmicas”, Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, p.314.
- Ciocia, C., Marinetti, S. (2012). “In-situ emissivity measurement of construction materials”, in: 11th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography, Napoly: Italy.
- Clark, M., McCann, D., Forde, M. (2003), “Application of infrared thermography to the nondestructive testing of concrete and masonry bridges”. *NDT&E International*, V.36, No. 4, pp. 265- 275.
- Danielski, I., Fröling, M. (2015). “Diagnosis of buildings’ thermal performance - a quantitative method using thermography under non-steady state heat flow”, *Energy Procedia*, V.83, p.320-329. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.186>
- Datcu, S., Ibos, L., Candau, Y., Mattei, S. (2005), “Improvement of building wall surface temperature measurements by infrared thermography”, *Infrared Physics & Technology*, V. 46, p. 451-467. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2005.01.001>
- Decreto-Lei Nº 80/2006. (4 de Abril de 2006). Regulamento das características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).
- Diao, R., Sun, L., Yang, F. (2018), “Thermal performance of building wall materials in villages and towns in hot summer and cold winter zone in China”, *Applied Thermal Engineering*, V. 128, p. 517-530. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.08.159>
- Directive 2010/31/EU Of The European Parliament and of the Council. (2010). Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32010L0031&from=IT>>
- Acessado em: 13 de Junho de 2018.

- Donatelli, A., Aversa, P., Luprano, V. A. M. (2016), “*Set-up of an experimental procedure for the measurement of thermal transmittances via infrared thermography on lab-made prototype walls*”, *Infrared Physics & Technology*, V. 79, p. 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2016.10.005>
- EIA. U.S. Energy information administration. (2018). Disponível em: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=86&t=1>. Acessado em: 15 de Junho de 2018.
- EN. (1999), “13187: Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method”, (London, United Kingdom: British Standards Institution), p. 16. <https://doi.org/10.3403/01569434U>
- FLIR-Forward Looking Infrared. (2017). “*User’s manual FLIR Cx Series*” (Wilsonville, United States: FLIR), p. 67.
- Ghahramani, A., Castro, G., Karvigh, S. A., Becerik-Gerber, B. (2018), “*Towards unsupervised learning of thermal comfort using infrared thermography*”, *Applied Energy*, V. 211, p. 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.021>
- Green Building Council Brasil. (2015), “*O consumo de energia nas edificações do Brasil*”. Disponível em: <http://www.gbcbrazil.org.br/detalhe-noticia.php?cod=119>. Acesso em: 03 de julho de 2018.
- Grinzato, E., Bison, P.G., Marinetti, S. (2002). “*Monitoring of ancient buildings by the thermal method*”, *Journal of Cultural Heritage*, V.3, p. 21–29. [https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(02\)01159-7](https://doi.org/10.1016/S1296-2074(02)01159-7)
- Grinzato, E., Vavilov, V., Kauppinen, T. (1998). “*Quantitative infrared thermography in buildings*”, *Energy and Buildings*, V.29, No.1, p. 1-9. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00039-X](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00039-X)
- ISO (2015), “*6781-3: Performance of buildings -- Detection of heat, air and moisture irregularities in buildings by infrared methods -- Part 3: Qualifications of equipment operators, data analysts and report writers*”, (Geneva, Suíça: [International Organization for Standardization](http://www.iso.org)), p. 18.
- ISO (2008), “*13790: Energy performance of buildings -- Calculation of energy use for space heating and cooling*”, (Geneva, Suíça: [International Organization for Standardization](http://www.iso.org)), p. 167.
- Jorge, L. F. A. (2011). “*Determinação do coeficiente de transmissão térmica em paredes de edifícios*”, Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior, Portugal, p. 112.
- Kylili, A., Fokaides, P. A., Christou, P., Kalogirou, S. A. (2014). “*Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review*”, *Applied Energy*, V.134, p.531-549. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.005>
- Lai, W. W., Lee, K., Poon, C. (2015). “*Validation of size estimation of debonds in external wall’s composite finishes via passive Infrared thermography and a gradient algorithm*”, *Construction and Building Materials*, V. 87, p. 113-124. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.032>
- Lerma, C., Barreira, E., Almeida, R. M. S. F. (2018). “*A discussion concerning active infrared thermography in the evaluation of buildings air infiltration*”, *Energy and Buildings*, V. 168, p. 56-66. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.050>
- Lucchi, E. (2018). “*Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review*”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 82, parte 3, p. 3077-3090. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.031>
- Maldague, X. (2001). “*Infrared and Thermal testing: Nondestructive testing handbook*. 3th ed, Columbus, OH: Patrick O. Moore, 2001.
- Marino, B. M., Muñoz, N., Thomas, L. P. (2016). “*Estimation of the surface thermal resistances and heat loss by conduction using thermography*”, *Applied Thermal Engineering*, V. 114, p. 1213-1221. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.033>
- Marinoski, D. L., Souza, G. T., Sangoi, J. M., Lamberts, R. (2010). “*Utilização de imagens em infravermelho para análise térmica de componentes construtivos*”, in: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela: Rio Grande do Sul (BR).
- Marques, T. H.T., Chavatal, K. M. S. (2013). “*A Review of the Brazilian NBR 15575*



*standard: applying the simulation and simplified methods for evaluating a social house thermal performance*”, in: Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, San Diego: Califórnia (EUA).

Meola, C. (2012), *Infrared thermography: recent advances and future trends*. Bentham Books, Italy, p.24-26. eISBN: 978-1-60805-143-4.

Milovanović, B., Pečur, I. B., Štirmer, N. (2016). “*The methodology for defect quantification in concrete using ir thermography*”, *Journal of civil engineering and management*, V. 23, p. 573-582. <https://doi.org/10.3846/13923730.2016.1210220>

O’Grady, M, Lechowska, A. A., Harte, A. M. (2017b). “*Infrared thermography technique as an in-situ method of assessing heat loss through thermal bridging*”, *Energy and building*, V.135, p. 20-32. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.039>

O’Grady, M., Lechowska, A.A., Harte, A. M. (2017a). “*Quantification of heat losses through building envelope thermal bridges influenced by wind velocity using the outdoor infrared thermography Technique*”, *Applied Energy*, V.208, p. 1038-1052. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.047>

Pei, C., Qiu, J., Liu, H., Chen, Z. (2016). “*Simulation of surface cracks measurement in first walls by laser spot array thermography*”, *Fusion Engineering and Desing*, V.109-111, parte B, p. 1237-1241. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2015.11.055>

Porras-Amores, C, Mazzarrónb, F.R., Canas, I. (2013), “*Using quantitative infrared thermography to determine indoor air temperature*”, *Energy and Building*, V.65, p.292-298. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.06.022>

Rajic, N. (2002), “*Principal component thermography for flaw contrast enhancement and flaw depth characterisation in composite structures*”, *Composite Structures*, V. 58, p. 521-528. [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(02\)00161-7](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(02)00161-7)

Robinson, A. J., Lesage, A. F. J., Reilly, A., Mcgranaghan, G., Byrne, G., O’hegarty, R., Kinnane, O. (2017), “*A New Transient Method for Determining Thermal Properties of Wall Sections*”, *Energy and Buildings*, V. 142, p. 139-146. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.029>

Rocha, J. H. A., Póvoas, Y. V. (2017). “*A termografia infravermelha como um ensaio não destrutivo para a inspeção de pontes de concreto armado: Revisão do estado da arte*”, *Revista ALCONPAT*, V. 7, nº 3. <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.223>

Savastano Junior, H., Pimentel, L. L. (2000). “*Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção*”, [Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi](http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662000000100019), V. 4, n. 1, p. 103-110. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662000000100019>

Silva, E. P., Cahino, J. E. M., Melo, A. B. (2012), “*Avaliação do desempenho térmico de blocos EVA*”, in: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Juíz de Fora: Minas Gerais (BR).

Simões, I., Simões, N, Tadeu, A., Riachos, J. (2014), “*Laboratory assessment of thermal transmittance of homogeneous building elements using infrared thermography*”, in: 12th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography, Bordeaux: France.

Smith, R. A., Jones, F. E., Chasmar, R. P. (1958), *The Detection and Measurement of Infrared Radiation*, Oxford University Press.

Tanic, M., Stankovic, D., Nikolic, V., Nikolic, M., Kostic, D., Milojkovic, A., Spasic, S., Vatin, N. (2015). “*Reducing Energy Consumption by Optimizing Thermal Losses and Measures of Energy Recovery in Preschools*”, *Procedia Engineering*, v. 117, p. 919 – 932. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.179>

Viéguas, D. J. A. (2015). “*Utilização de termografia infravermelha em fachadas para verificação de descolamento de revestimentos*”, *Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco*, Recife, p. 164.