

Inspección de manifestaciones patológicas en edificios con cámara térmica integrada en Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT): una investigación documental

W. P. A. Silva^{1*}, A. C. Lordsleem Júnior¹ , R. D. B. Ruiz¹ , J. H. A. Rocha² 

*Autor de Contacto: wpas@poli.br

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.447>

Recepción: 14/11/2019 | Aceptación: 30/10/2020 | Publicación: 01/01/2021

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo presentar el uso de la cámara termográfica integrada en VANT en los procesos de inspección de edificios. El desarrollo de este trabajo se basó en una revisión sistemática de artículos y trabajos relacionados al tema, investigando las características y el funcionamiento de las cámaras termográficas, el uso de VANTS y los factores que influyen en la detección de manifestaciones patológicas. Los resultados permitieron identificar las ventajas y limitaciones de la integración de cámaras y VANT, demostrando la viabilidad y efectividad del uso conjunto. Como contribución, este trabajo proporcionó el desarrollo de un protocolo de vuelo que ordena los pasos y procedimientos necesarios para realizar una inspección utilizando la cámara térmica integrada en VANT.

Palabras clave: VANT; cámara térmica; inspección de edificios.

Citar como: Silva, W. P. A., Lordsleem Júnior, A. C., Ruiz, R. D. B., Rocha, J. H. A. (2021), "Inspección de manifestaciones patológicas en edificios con cámara térmica integrada en Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT): una investigación documental ", Revista ALCONPAT, 11 (1), pp. 123 – 139, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.447>

¹ Grupo de Tecnologia e Gestão da Construção de Edifícios (POLITECH), Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil.

² Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Tecnología, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia.

Contribución de cada autor

En este trabajo, el autor W. P. A. Silva contribuyó a la revisión bibliográfica, recolección de datos y redacción del trabajo, el autor A. C. Lordsleem Júnior contribuyó a la orientación y coordinación de la investigación, siendo responsable de la idea original. El autor R. D. B. Ruiz colaboró en los procesos de investigación y marco teórico. A su vez, el autor J. H. A. Rocha jugó un papel decisivo en la recopilación de datos, la revisión de la redacción y la discusión de los resultados.

Licencia Creative Commons

Este trabajo está publicado bajo los términos de una Licencia Internacional Creative Commons Atribución 4.0 Internacional ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2021 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2021.

Inspection of pathological manifestations in buildings using thermal imaging camera integrated into Unmanned Aerial Vehicle (UAV): a documental research

ABSTRACT

This paper aims to present the use of the UAV integrated thermographic camera in buildings inspection processes. The development of this study was based on a systematic review of articles and technical documents, scoping out the features and basic operations of thermographic cameras, the use of UAVs and the factors that influence the detection of pathological manifestations. The results allowed to identify the advantages and limitations of camera and UAV integration, demonstrating their feasibility and effectiveness when employed together. As a contribution, this study developed a flight protocol regarding the steps and procedures necessaries to perform an inspection using the thermal camera integrated with the UAV.

Keywords: UAV; thermal camera; building inspection.

Inspeção de manifestações patológicas em edifícios utilizando câmera termográfica integrada ao Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT): uma pesquisa documental

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo apresentar o emprego da câmera termográfica integrada ao VANT nos processos de inspeção de edifícios. O desenvolvimento do trabalho foi baseado em revisão sistemática de artigos e trabalhos da área de conhecimento, investigando as características e o funcionamento das câmeras termográficas, o emprego dos VANTs e os fatores que influenciam na detecção de manifestações patológicas. Os resultados permitiram identificar as vantagens e limitações da integração câmera e VANT, demonstrando a viabilidade e eficácia do uso conjunto. Como contribuição este trabalho proporcionou o desenvolvimento de um protocolo de voo ordenando as etapas e os procedimentos necessários para a realização de uma inspeção utilizando a câmera termográfica integrada ao VANT.

Palabras clave: VANT; câmera térmica; inspección predial.

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, Página Web: 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.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

1. INTRODUCCIÓN

Las manifestaciones patológicas están presentes en la mayoría de las edificaciones, sea con mayor o menor intensidad, variando el período de aparición siendo necesario el diagnóstico y reparación, o entonces de manera compleja, exigiendo un análisis individualizado (Ferreira y Lobão, 2018). No obstante, aun cuando interfieran directamente en la vida útil y en el desempeño de la edificación, generando incomodidad y riesgo, tanto para las personas que lo usan directamente el desarrollo como para los transeúntes de su entorno, el análisis y tratamiento de las manifestaciones patológicas no es una prioridad (Bauer et al., 2011; Viégas, 2015). En diversas ocasiones la estructura no recibe la atención que necesita en relación con el proyecto, ejecución y mantenimiento, hecho que aumenta la susceptibilidad del desarrollo y la gravedad de las manifestaciones patológicas (Silva, 2007).

En vista de eso, es imprescindible el proceso de investigación y monitoreo de la estructura, ya que tales procedimientos permiten el acompañamiento del comportamiento de esta a lo largo del uso del desarrollo, recogiendo informaciones que, al ser enviadas para los modelos de análisis y decisión, permiten acompañar y detectar fallas (Agostinho, 2012). En ese sentido, los ensayos destructivos aplicados en materiales, componentes o sistemas constructivos se vuelven indeseables cuando se trata de diagnóstico de problemas en el contexto de las edificaciones en uso (Freitas et al., 2014). Con efecto en el desarrollo de técnicas no destructivas, que divisen el diagnóstico de deterioros en las construcciones, de forma general, vienen siendo objeto de estudio de muchas investigaciones. A partir de allí, el uso de la termografía infrarroja y de vehículos aéreos no tripulados (VANT) en los procesos de inspección de edificios viene siendo explorado y difundido en la sociedad (Nascimento, 2014; Ellenberg et al., 2016; Entrop y Vasenev, 2017).

La termografía infrarroja es una técnica no destructiva de imágenes de sensor remoto utilizado para detectar fallas en equipos eléctricos, tanto como alteraciones en diferentes partes de la edificación, como en el techo, los sistemas estructurales, los sistemas de cerramientos y los revestimientos. Una de esas alteraciones se refiere a la detección de excesos de humedad y temperatura, responsables por daños en materiales, con consecuencias en la salud de los usuarios (Cortizo, 2007; Lerma et al., 2011; Freitas et al., 2014). Sin embargo, aun cuando la técnica de la termografía infrarroja sea ampliamente difundida en los países europeos, gracias al acervo histórico, en Brasil su uso es relativamente incipiente, sea por el costo de los equipos de análisis, o por la dificultad de aplicación práctica (Cortizo et al., 2008).

En paralelo, el uso de VANT ha sido objeto de estudios en lo referente a la inspección de edificaciones para verificar las condiciones de desempeño y determinar medidas preventivas y correctivas que se hacen necesarias, en virtud de la inherente complejidad (altura, tamaño, dificultad de acceso y condiciones de exposición) (Witzczuk et al., 2017). El VANT puede reducir el tiempo de estas operaciones de monitoreo, bien sea como un auxiliar de otros procesos de inspección que colocan en riesgo la vida humana (Álvarez et al., 2016). En este contexto, el presente artículo trata de la aplicación de la cámara infrarroja integrada a los vehículos aéreos no tripulados (VANT) como herramienta de inspección y monitoreo de edificios, explicando acerca de los factores del proceso (factores que influyen en la obtención de termogramas precisos para la identificación de manifestaciones patológicas), además de las ventajas y limitaciones de esa tecnología.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Termografía infrarroja

La termografía infrarroja constituye una herramienta predictiva usada en el diagnóstico precoz de fallas y otros problemas (estudio de análisis de desempeño, a fin de predecir y señalar eventuales anomalías, coadyuvando en el mantenimiento preventivo). Los resultados son presentados instantáneamente, durante la inspección, en la forma de imágenes térmicas o termogramas, que representan la distribución de la temperatura superficial del objeto observado y como tal, registrados para fines de las subsecuentes acciones, por parte de los interesados y posterior archivo (ITC, 2014).

Los sistemas de termografía infrarroja captan la radiación térmica, representada en el espectro eletromagnético, por el hecho de que todos los cuerpos están a una temperatura superior a cero absoluto emitiendo radiación, y convirtiéndola en un termograma el cual posee una escala policromática (colores) o monocromático (gris). El fenómeno de la radiación infrarroja (IR) fué descubierto por William Herschel en 1800 y en 1821, hubo el descubrimiento del efecto termoeléctrico por Thomas Johann Seebeck, que es la conversión directa de la diferencia de temperatura en tensión eléctrica y vice-versa, siendo ese efecto la base para el funcionamiento de cámaras térmicas (Mistry, 2009; Viégas, 2015). La radiación térmica emitida por un objeto es captada por la cámara térmica viene dada por la ley de Stefan-Boltzmann (1).

$$E = \frac{q}{A} = \varepsilon \times \sigma \times T^4 \quad (1)$$

Donde E es la radiación emitida por el objeto (W/m^2), q es el grado de emisión de energía (W), A es el área de la superficie emisora (m^2), T es la temperatura absoluta (K), σ es la constante de Stefan-Boltzmann de valor $5.676 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$, y ε es la emisividad de la superficie emisora, cuyo valor está entre 0 y 1, e indica cuanto la superficie se aproxima del comportamiento de un cuerpo negro, que sería una superficie ideal donde el índice de radiación sería máxima, luego $\varepsilon=1$. (Çengel y Ghayar, 2012).

Además, esa técnica puede ser clasificada como activa y pasiva, de acuerdo con el estímulo térmico utilizado. En la termografía activa, un estímulo externo es necesario para generar diferencias relevantes de temperatura. Diferentes técnicas pueden ser usadas para provocar un flujo de calor en el objeto de estudio, cada cual con características y limitaciones propias. La elección del tipo de estímulo térmico depende de las características del objeto de ensayo y del tipo de información a ser investigada (Batista, 2019).

En contraparte, para usar la termografía pasiva, donde ninguna estimulación artificial es utilizada, debe existir una diferencia natural de temperatura entre el objeto estudiado y el medio en el cual se encuentra, ya que frecuentemente está a una temperatura más elevada. El análisis por el método pasivo cuenta con las condiciones naturales de la estructura estudiada y de su entorno, siendo el calor solar un factor determinante (Cortizo, 2007). Por tanto, según lo demuestreado en la Figura 1, las cámaras termográficas capturan la energía infrarroja emitida por los objetos y se convierten en una señal eléctrica y finalmente, en una imagen visible, en que cada nivel de energía es representado en una escala de colores (Meola y Carlomagno, 2004).

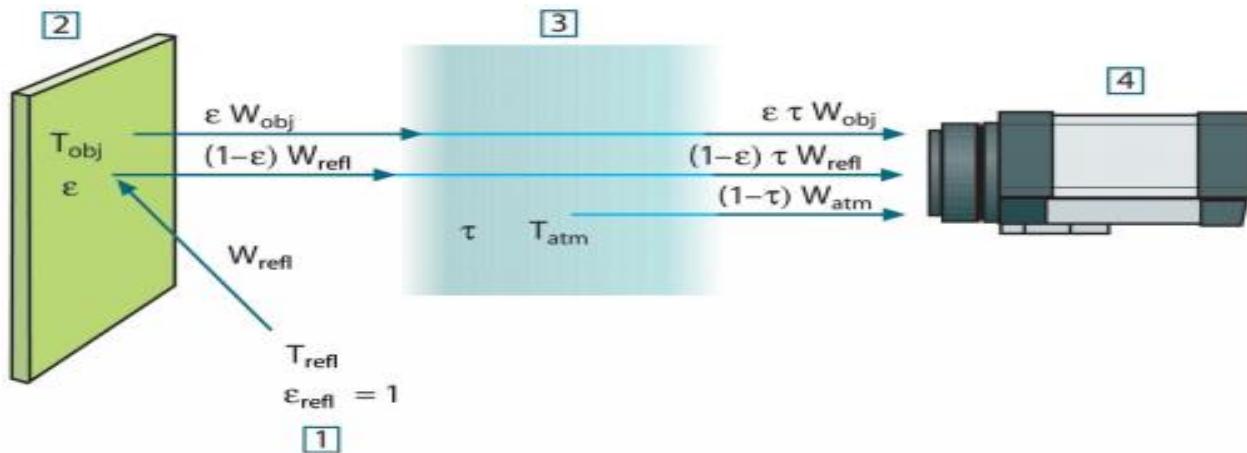


Figura 1. Representación esquemática de la situación de la medición termográfica general. 1) medio adyacente, 2) objeto, 3) atmósfera, 4) cámara. T_{obj}: temperatura del objeto, T_{refl}: temperatura reflejada, T_{atm}: temperatura de la atmósfera. W_{obj}: potencia de radiación emitida por el objeto, W_{refl}: potencia de la radiación emitida por el medio adyacente, W_{atm}: potencia de la radiación emitida por la atmósfera (Caldeira y Padaratz, 2015).

Así, esa técnica aplicada en edificios puede ser utilizada para evaluar la comodidad del revestimiento del piso (Barreira et al., 2013), detectar defectos de aislamiento, fugas de aire (Ocaña et al., 2004) problemas de humedad (daños en los tejados, contenido de humedad en las paredes), puentes térmicos (Asdrubali et al., 2012), para inspeccionar sistemas HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning), detalles de construcción (Cerdeira et al., 2011; Barreira et al., 2013) y también en la inspección predial (Brique, 2016), según lo demuestro en la Figura 2.

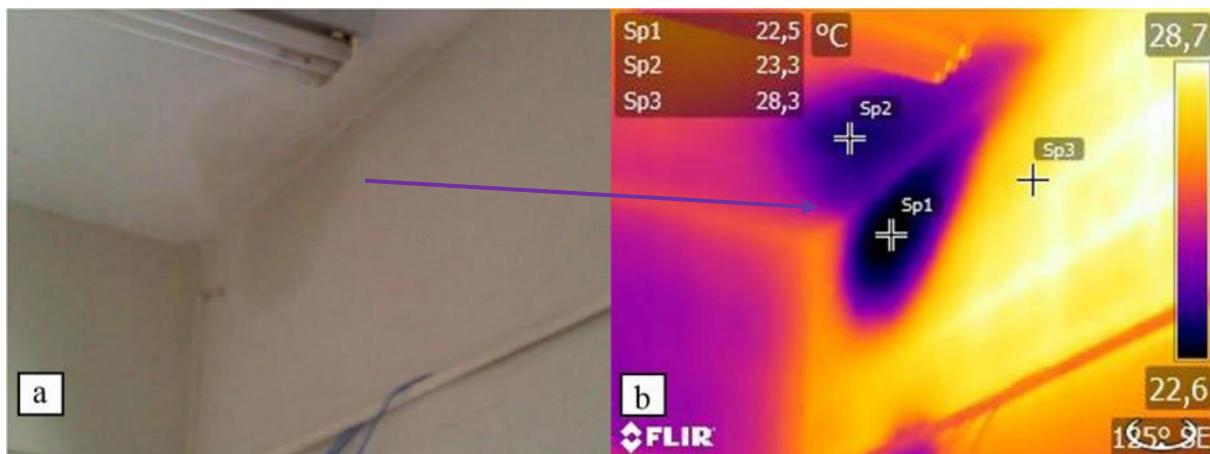


Figura 2. Penetración de agua de lluvia: (a) imagen digital y (b) termograma (Rocha et al., 2018).

En vista de las variables destacadas en la Tabla 1, cuanto mayor la resolución térmica (pixeles) de la cámara, es posible inspeccionar áreas mayores con mayor precisión. Así el uso de cámaras térmicas integradas al VANT, las mismas deben tener la mejor resolución posible. Además, el valor del IFOV (*Instantaneous Field of View*) y el ángulo de abertura del lente es una de las principales limitantes en los estudios envolviendo el análisis de edificios. Cuanto mayor sean estos parámetros, menor será la resolución de los termogramas y la precisión del estudio. (Andrade et al., 2019). Además de eso es necesario destacar que la inspección es limitada apenas a una aplicación pasiva de la termografía infrarroja, lo que significaría que la inspección de la estructura no sería, posible todos los días o sería restricta a horarios determinados localmente.

Tabla 1. Principales variables relacionadas a la cámara termográfica (Andrade et al., 2019)

RESOLUCIÓN DE LA CÁMARA PIXELS	IFOV (<i>Instantaneus Field of View</i>)	ÁNGULO DE ABERTURA DEL LENTE
60 x 60, 120 x 120, 240 x 380, 320 x 240, 640 x 480.	El valor varía entre 0,6 y 3,7 mrad, usando el lente del equipo.	Las lentes más comunes son las de 15 y 25 grados, todavía puede variar entre 7 y 80 grados.

2.2 VANTS

Los Vehículos Aéreos no Tripulados (VANTS) son según la ANAC (Agencia Nacional de Aviación Civil, 2017) cualquier aeronave no tripulada que puede ser remotamente pilotada, o automatizada. Esas aeronaves son pilotadas remotamente o de forma automática a través del uso de coordenadas pre-definidas. Se trata de una tecnología en ascenso que cada día tiene su uso diseminado en varias áreas (Nascimento, 2014). Los primeros desarrollos para VANT comenzaron en la década de 50 y se destinaban exclusivamente para fines militares. Diferentes proyectos fueron iniciados en diversos países con el objetivo de producir vehículos capaces de transportar misiones sin piloto a bordo de modo de evitar aún más pérdidas (Agostinho, 2012). Con el pasar del tiempo la tecnología pasó a ser difundida, y se usó por primera vez para fines no militares en 1986, para monitorear incendios forestales en Montana, Estados Unidos (Agostinho, 2012). En ese sentido el crecimiento en el uso de VANT se da por su bajo costo, agilidad de recolección y de procesamiento, facilidad de maniobra de las aeronaves, y el eficiente sistema de captura de imagen (Seibert y Teizer, 2014). Además de eso, los VANT son herramientas eficaces para la realización de procedimientos de sensor remoto, siendo el principal argumento para su uso la capacidad de alcanzar locales de difícil acceso, aliado a la gama de sensores aplicables que pueden ser incuerporados al mismo, como cámara infrarroja, detección de luz y sensores de distancia (LIDAR, en inglés *Light Detection And Ranging*) (Freimuth y König, 2018).

En vista de eso, actualmente en el mercado existen dos tipos de VANTS, donde la diferencia básica se refiere al sistema aerodinámico, siendo de ala rotativa o fija. El primero se asemeja a un helicóptero o multirotor, son aeronaves compactas de fácil operación y menor costo. En contrapare, los de ala fija presentan tamaños variados de acuerdo con la funcionalidad. (Jorge e Inamasu, 2014; Melo y Costa, 2015).

Tabla 2. Clasificación de los VANTS (Bento, 2008).

CATEGORÍA	ACRÓNIMO	ALCANCE [km]	ALTITUD VUELO [m]	AUTONOMÍA [h]	PESO [kg]
<i>Micro</i>	μ (micro)	< 10	250	1	<5
<i>Mini</i>	Mini	< 10	150 – 3000	< 2	150
<i>Close Range</i>	CR	10 – 30	3000	2 – 4	150
<i>Short Range</i>	SR	30 – 70	3000	3 – 6	200
<i>Medium Range</i>	MR	70 – 200	5000	6 – 10	1250
<i>Medium Range Endurance</i>	MRE	>500	8000	10 – 18	1250
<i>Low Altitud Deep Penetration</i>	LADP	>250	50 – 9000	0,5 – 1	350
<i>Low Altitud Long Endurance</i>	LALE	>500	3000	>24	<30
<i>Medium Altitud Long Endurance</i>	MALE	>500	14000	24 – 48	1500

La Tabla 2 muestra que los UAV utilizados en el proceso de inspección de edificios en general tienen un peso inferior a 150 kg. El rango de vuelo, un factor dominante para el desarrollo del protocolo de vuelo y la eficiencia en el monitoreo de edificios, es inferior a dos horas.

2.3 La termografía integrada al VANT

Aun cuando la termografía y los VANTS son objeto de diferentes investigaciones recientes, y aún más incipiente el estudio integrado de ambos. Analizar los beneficios relacionados a esos dos tópicos motiva la combinación de sus funcionalidades para obtener beneficios mutuos (Entrop y Vasenev, 2017). La cámara térmica integrada al VANT es una importante herramienta para evaluar grandes áreas de forma automatizada y con reducida demanda de tiempo para la ejecución (Viana et al., 2018). Los principales desafíos de esa tecnología son la baja resolución de algunas cámaras termográficas, regulaciones que limitan las operaciones involucrando VANT la línea visual y la alta dependencia del clima (Witczuk et al., 2017).

Además de eso, los sensores de calor son una opción de carga útil para la generación de imágenes térmicas aéreas de alta resolución. Esta tecnología permite el levantamiento rápido y seguro de áreas térmicas, muchas veces presentes en terrenos inaccesibles o peligrosos (Harvey et al., 2016). Esas imágenes tomadas por el VANT tienen el potencial de convertirse en una herramienta fundamental en la ciencia geotérmica, incluyendo levantamientos geológicos, geoquímicos y geofísicos, línea de base para estudios y monitoreos ambientales, geotécnicos y obras civiles, destacando en el caso de esta investigación, la inspección de edificios. Tal tecnología puede ser utilizada para el mapeamiento de pérdida de calor, además de poder reunir informaciones térmicas, tales como fugas de calor, usando una cámara infrarroja y haciendo el procesamiento de la imagen obtenida. Aun cuando la realización de las inspecciones sea un proceso menos difícil para edificaciones de pequeña altura, tomar los datos térmicos con el aumento de la altura, notablemente en rascacielos y tejados es mucho más complejo, siendo un proceso peligroso (Kayan et al., 2018). La termografía aérea es una tecnología que ha sido utilizada en tiempos recientes para grabar imágenes térmicas sin la necesidad de acceso a los edificios, además de ser capaz de alcanzar un área de difícil acceso, como los tejados, mientras carga las cámaras infrarrojas y otros sensores (Chu et al., 2016).

Por lo tanto, la combinación de la termografía por infrarrojo con los VANTS permite que las tareas de mantenimiento sean optimizadas (Muñoz et. al., 2017) y, en consecuencia, trae ventajas económicas significativas (Ramírez et al., 2018). Tales aspectos se deben al hecho que los VANTS pueden ser equipados con cámaras de alta resolución permitiendo a los usuarios obtener datos en tiempo real. Además, las imágenes aéreas que antes eran capturadas de un avión liviano o un helicóptero, y el costo del combustible, son desventajas que hace de los VANTS más viables, una vez que la fuente de energía para el vuelo puede ser fácilmente regurgitada (Lavars, 2015). Así, siendo equipado con una cámara termográfica de alta resolución, el VANT se vuelve una excelente herramienta para tomar informaciones térmicas de edificios (Zhang et al., 2015). En ese sentido, la Figura 3, demuestra un modelo de VANT que ya viene integrado con la cámara digital en paralelo con la cámara termográfica, diferente de otros modelos el que es necesario remover la primera para posteriormente instalar la segunda.



Figura 3. VANT con cámara termográfica acoplada a la cámara digital. (Topdrone, 2020).

3. INSPECCIÓN DE EDIFICIOS

La aplicación de la termografía en el proceso de inspección está basada en la existencia de anomalías o defectos que influyen en las propiedades térmicas de la estructura, en la Figura 4, los defectos interrumpen la transferencia de calor del concreto, visto que los vacíos existentes son llenados con aire o agua, y debido la diferencia de conductibilidad térmica de los materiales, y verificada la variación de la temperatura a lo largo de la estructura (Rocha y Póvoas, 2017).

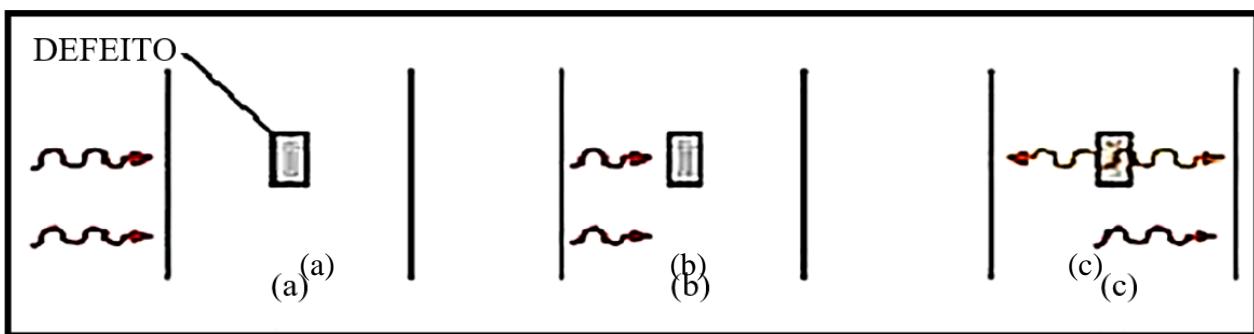


Figura 4. Propagación idealizada de un único pulso de calor en un material: (a) Un impulso de energía aplicado a la superficie; (b) El pulso de calor viaja dentro del material y encuentra un defecto; (c) El defecto refleja parcialmente y transmite parcialmente el pulso (Cortizo, 2007).

Además, la termografía infrarroja produce una imagen térmica, en que cada color representa un nivel de temperatura superficial de los objetos. Por medio del análisis de la imagen obtenida por el equipo, es posible identificar la existencia de focos de humedad, anomalías, elementos ocultos, entre otros (Grinzato et al., 2011). En consecuencia, con la termografía infrarroja es posible detectar solamente anomalías asociadas a las modificaciones mensurables de las características térmicas como flujo de calor y temperaturas resultantes, manifestaciones patológicas con profundidades limitadas, es decir cercanas a la superficie (Bauer y Pavón, 2015). Así en la construcción civil, una variación de temperatura de 1°C hasta 2°C es generalmente indicativo o una sospecha de existencia de problemas. A partir de 4°C se afirma la existencia de la anormalidad en el cuerpo (Maldague y Marinetti, 1996; Cortizo et al., 2008).

Por tanto, con esa tecnología es posible identificar fallas de adherencia o ausencia de mortero (Bauer et al., 2015), presencia de humedad confinada en revestimientos cerámicos (Edis et al., 2014; Bauer y Pavón, 2015), además de la existencia de fisuras, problemas de desprendimiento, y filtraciones, por el gradiente térmico verificado en el termograma. (Freitas et al., 2014; Viégas, 2015; Rocha y Póvoas, 2017; Takeda y Mazer, 2018; Batista, 2019).

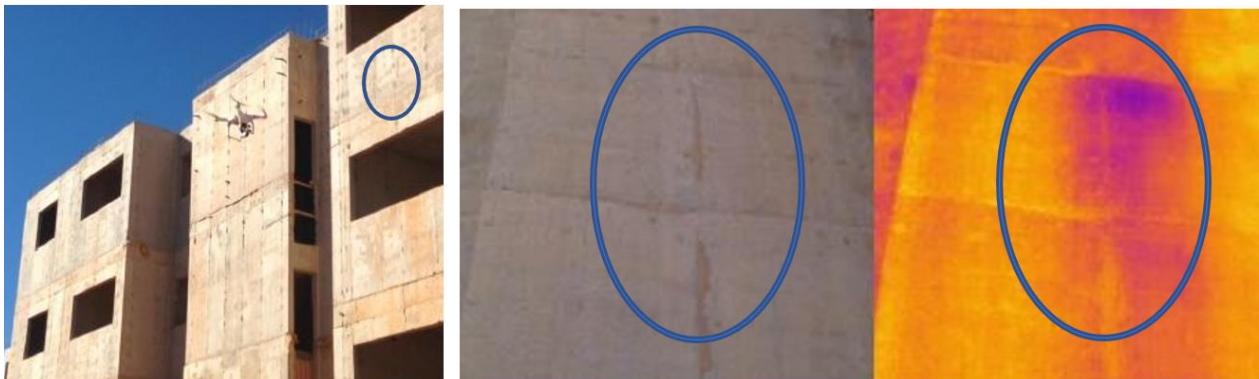


Figura 5. Inspección con VANT integrado con cámara térmica (Nascimento, 2014)

En el caso de la Figura 5, de acuerdo con Nascimento (2014), las imágenes fueron obtenidas al inicio de la mañana siendo posible el reconocimiento de regiones con fisuras y filtraciones, ya que el clima estaba ameno y permitió una mayor diferencia en el gradiente de temperatura, siendo las regiones más claras las que presentan mayor temperatura que aquellas que están representadas por tonos más oscuros.

3.1 Ventajas y limitaciones

En la Tabla 3 son presentadas las principales ventajas y limitaciones del uso de la cámara termográfica integrada al VANT de acuerdo con la literatura (Yehia et al., 2007; Agostinho, 2012; Sham et al., 2012; Jorge y Inamasu, 2014; Mavromatidis et al., 2014; Seibert y Teizer, 2014; Domingues, 2015; Melo y Costa, 2015; Pajares, 2015; Watase et al., 2015; Zhang et al., 2015; Ariwoola, 2016; Ellenberg et al., 2016; Hiasa et al., 2016; Rehman et al., 2016; Entrop y Vasenev, 2017; Muñoz et al., 2017; Witczuk et al., 2017; Freimuth y König, 2018); Ramírez et al., 2018; Andrade et al., 2019).

Tabla 3. Ventajas y limitaciones del uso da cámara termográfica integrada al VANT.

VENTAJAS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de alcanzar áreas de difícil acceso; • Obtener datos en tiempo real; • Reducir riesgos operacionales; • Aumentar la seguridad del operador y los colaboradores involucrados; • Reducción del tiempo de inspección, generando economía y agilizando la planificación de la recuperación de la estructura; • Mayor confiabilidad comparada con métodos convencionales; • Tecnología rápida, no-invasiva, no destructiva y sin contacto; • Puede ser aplicada a una distancia considerable para analizar e inspeccionar grandes áreas en pequeños intervalos de tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Autonomía de vuelo entre 30 min a 2 h, en modelos con menos de 150 kg; • Condiciones climáticas favorables, implicando tanto en el vuelo como en la emisión calórica de la superficie; • Sujeto a las regulaciones y restricciones locales para la realización del vuelo, no siendo posible ser realizado en cualquier localidad; • Interferencia en los resultados debido a reflejos en caso de que sea utilizado en un predio que tenga edificios vecinos con fachadas de espejos; • Alteraciones en lecturas obtenidas a distancias superiores a 10 metros entre la cámara y el objeto estudiado; • No es posible medir el espesor y la profundidad de la manifestación patológica.

Por medio de la Tabla 3 es posible constatar que las principales ventajas del uso de esa tecnología están conectadas al hecho de la optimización de los procedimientos de inspección, obteniendo datos en tiempo real y en menor intervalo de tiempo. En contrapartida, sus limitaciones están relacionadas a los requisitos necesarios para la obtención de un termograma preciso, destacando las condiciones climáticas favorables y lecturas efectuadas a partir de ángulos y distancias que no interfieran en los resultados.

Finalmente, uno de los factores preponderantes para el uso de la termografía aérea, está relacionado al costo de la operación y de los equipos, no obstante, realizando una comparación de los beneficios de esa herramienta, en relación a los métodos convencionales, se verifica sus potencialidades, observando la velocidad de obtención de los datos y la seguridad del responsable por la inspección (Mavromatidis et al., 2014; Ariwolla, 2016).

3.2 Factores del proceso referente a la lectura térmica

El análisis termográfico es un procedimiento en el cual el inspector opera el termovisor, apunta hacia el objeto de inspección y detecta el defecto a través del análisis del termograma obtenido. A pesar de la simplicidad aparente de la técnica, el análisis de los resultados puede ser complicado y hasta llevar a conclusiones erradas en caso de no tomar ciertas precauciones antes y durante la realización del ensayo (Brique, 2016). Luego que el propio operador debe tener conocimiento de la influencia de la radiación solar, del viento, la lluvia, y la forma como esos factores afectan la distribución térmica del objeto analizado en ambiente abierto (Batista, 2019).

En vista de eso, para garantizar la calidad de la imagen, la sensibilidad y el contraste térmico, es necesario estar atento a algunos factores como la emisión del material que es función de la temperatura superficial y del ángulo de observación, en el reflejo de la superficie, función de la radiación directa incidente y de la radiación por presencia de fuentes externas (sombras, reflejos), distancia y ángulo de medición. (Barreira, 2004; Cortizo, 2007; Bauer, 2015; Viégas, 2015; Batista, 2019). De otra manera, el calor irradiado por el sol puede afectar la medición termográfica, pues altera el flujo normal de calor del interior hacia el exterior. La distancia del equipo al objeto puede alterar la lectura de la temperatura superficial, pues disminuye la resolución de los termogramas e influye la atenuación atmosférica (Labat et al., 2011).

En relación con el horario de inspección, fue verificado que hay divergencias entre los autores, pero ese parámetro depende de las condiciones ambientales del local objeto de estudio (Rocha y Póvoas, 2017). En ese sentido, fue verificado un comportamiento distinto en relación a los períodos de medición (seco y lluvioso), así como los horarios 8h, 15h y 21h (Freitas et al., 2014). En otros casos, fueron realizadas mediciones en horarios distintos en el período de la mañana y la tarde (Nascimento, 2014), ya que la emisión de materiales no compuestos por metales disminuye con el aumento de la temperatura (Barreira, 2004). Hubo también casos en que se optó por verificar las mediciones durante todo el día (6-18h), a fin de evaluar los mejores horarios de medición, tanto en la mañana como en la tarde (Viégas, 2015).

Finalmente, algunos autores (Uemoto, 2000; Watase et al., 2015; Hiasa et al., 2016) recomiendan la inspección durante la noche para eliminar los efectos de la radiación solar, y tener una mejor visión entre el defecto y las regiones intactas, evitando falsas detecciones (Rocha y Póvoas, 2017). Además de eso, los gradientes térmicos y la turbulencia alteran el índice de refracción del aire provocando una reducción en la calidad de la imagen. En paralelo, la atmósfera presente entre la fuente emissora y el receptor puede originar perturbaciones en la medición. Luego, se debe mantener la distancia de 10 metros entre la fuente emisora y el receptor, corrigiendo las mediciones realizadas con distancias superiores (Barreira, 2004; Comitti, 2012; Viégas, 2015). Además, en los días con vientos sobre de 7m/s no se debe realizar mediciones con termografía infrarroja, ya que los datos obtenidos inducirán al error del análisis térmico del objeto (ITC, 2014).

De acuerdo con la norma NBR 15572 (ABNT, 2013), es necesario que el ángulo entre el termovisor

y el punto inspeccionado sea lo más perpendicular posible, para que no haya reducción en la emisión debido a los ángulos de observación inadecuados (mayores que 60°). Viégas (2015) afirma que no se debe permanecer directamente frente al objeto para que no haya reflexión del calor del termografista, para tanto es recomendado ubicarse con un ángulo aproximado de 5°, con relación a la horizontal del objeto a ser analizado térmicamente, según la Figura 6.

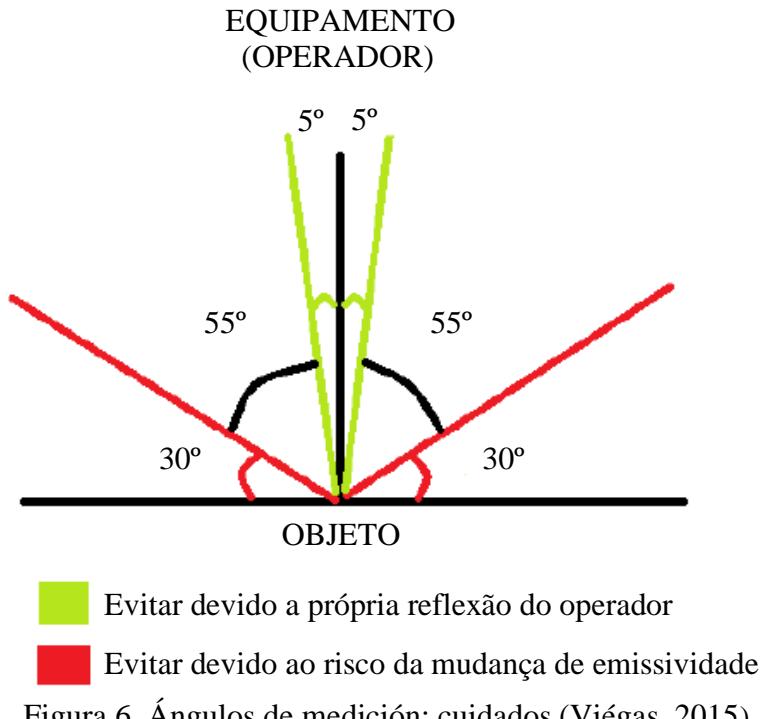


Figura 6. Ángulos de medición: cuidados (Viégas, 2015)

3.3 Protocolo de vuelo

La planificación y desarrollo del proyecto podrá variar según la capacidad de vuelo, siendo influenciado por la precisión y la trayectoria de estos (Agostinho, 2012). Todavía, se percibe que las herramientas de preparación de vuelos comercialmente disponibles, en algunos casos aún son insuficientes para realizar determinadas inspecciones, quedando al operador crear sus propias herramientas y sus propios protocolos (Siebert e Teizer, 2014). En consecuencia, de esto, el siguiente protocolo, Figura 7 y Tabla 4, fue desarrollada basado en el trabajo de diversos autores (Agostinho, 2012; Siebert y Teizer, 2014; Ariwoola, 2016; Ellenberg et al., 2016; Entrop y Vasenv, 2017; Freimuth y König, 2018).



Figura 7. Etapas del protocolo de vuelo.

Tabla 4. Protocolo de Vuelo

ETAPAS	PROCEDIMIENTOS
1. Análisis de las interacciones dinámicas del vuelo	En esa etapa es necesario verificar la regulación sobre el uso de VANT en el local donde será hecha la inspección, además de un estudio sobre las condiciones climáticas de la fecha, y configuración del objeto a ser estudiado (área, cantidad de pavimentos, límite máximo), y así, proceder con la elección de los equipos.
2. Descripción del área de vuelo	En la segunda etapa es preciso realizar un vuelo test con el propósito de determinar las áreas de riesgo, además de establecer los ángulos y las distancias de lectura.
3. Construcción de la trayectoria de vuelo	Una vez determinada las áreas de riesgo, se debe construir una trayectoria de vuelo, de tal forma que sea posible realizar la misma con 75% de carga del VANT, garantizando la autonomía de vuelo.
4. Realización de la inspección	Finalizada las etapas anteriores, es posible iniciar la inspección, de tal forma que sea posible obtener los datos de lectura de forma segura y precisa.

Analizando la Tabla 4 se verifica que la etapa inicial está relacionada a los prerrequisitos para realizar los tales equipos en el local donde será efectuado el procedimiento, las condiciones climáticas, siendo necesario vientos inferiores a 7 m/s y no recomendada su realización los días nublados, tener conocimiento del objeto a ser estudiado, como dimensiones y localización, y a partir de allí realizar las elecciones de los equipos que garanticen una autonomía de vuelo para tal procedimiento. Posteriormente, se debe determinar el área que el VANT se estará desplazando a lo largo de la inspección, estando atento a las áreas de riesgos, tales como: flujo de personas, animales y obstáculos, y estableciendo los ángulos y las distancias en que las lecturas serán efectuadas, de tal forma que las distancias no sean superiores a 10 metros y que los ángulos obedezcan lo que fue discutido en 3.1, asegurando la precisión de los datos obtenidos. A partir de allí, se debe construir el camino que será recorrido por el VANT de tal forma que no haya desplazamiento en áreas de riesgos, y que el aparato tenga una autonomía de vuelo suficiente, siendo posible concluir la trayectoria con 75% de carga en la batería, visto la energía consumida en los procedimientos de aterrizaje y despegue. Finalmente, concluidas las etapas anteriores se puede realizar la inspección.

3.4 Análisis de datos de la literatura

Se verificó que a pesar de la simplicidad de utilizar el termovisor para obtener termogramas durante las inspecciones, si no se toman en consideración las interferencias y las condiciones ambientales en las cuales las imágenes fueron obtenidas, el análisis y la interpretación de los termogramas pueden llevar a conclusiones equivocadas (Takeda y Mazer, 2018). Además de eso, fue constatado que, cuanto mayor y más superficial el área del defecto, la detección será más fácil (Rocha y Póvoas, 2017). En ese sentido, fue constatado que se la relación R/d (R: dimensión corta del defecto y d: profundidad del defecto desde la superficie) sea mayor que 1, los defectos son encontrados; caso esta relación R/d sea igual a 0,45, son detectables hasta una profundidad de 10 centímetros (Farrag et al., 2016). Además, en los perfiles térmicos presentados en los termogramas de las paredes, había una nítida variación en la temperatura superficial. Tal diferencia térmica encontrada denota la presencia de diferentes materiales en el interior de la pared, debido a las propiedades físicas y químicas bastante distintas (Cortizo, 2007).

Además de eso, fue verificado en la inspección de una estructura con revestimiento cerámico que las mejores mediciones fueron obtenidas posterior al calentamiento de la fachada (técnica pasiva), e que el termograma en la tarde tuvo mejor nitidez comparado con el termograma de la mañana (Viégas, 2015). En un momento posterior, estudiando una edificación revestida con mortero, se

constató que los mejores horarios para medición son entre 11-12h y 17-18h, además de verificar una coloración amarilla “más vibrante” en la región con presencia de desprendimiento de revestimiento. Esto porque, en la referida región hay elevación de la temperatura con relación al restante de la fachada revestida con mortero sin presencia de manifestaciones patológicas. Finalmente, realizando el monitoreo de una estructura revestida con azulejos, los mejores horarios para la medición fueron entre 9-10h y 14-15h (Viégas, 2015). Corrobizando así, lo que fue afirmado en 3.1, en lo que se refiere a los horarios de medición.

Se observó también una leve tendencia de haber mayores diferencias de temperatura (entre las regiones con y sin fisuras) en las áreas más calentadas, así como se verificó una mayor dispersión de esas variaciones medidas para las áreas más calientes (Freitas et al., 2014). Además, en un primer momento fue considerado que al menos una distancia de 5 metros, entre el VANT y los objetos de investigación era segura. Todavía en la realización de los ensayos, esa distancia fue aumentada para 10 metros, garantizando tanto la veracidad de los datos obtenidos, cuanto a seguridad de la aeronave (Entrop e Vasenev, 2017). De otra manera la realización de simulaciones y creación de modelos de vuelo proporcionan una inspección más precisa y un mejor rendimiento por parte del VANT, vista las características de velocidad y necesidad de recarga de la batería (Freimuth y König, 2018).

4. CONCLUSIONES

Con base en lo que fue discutido y en los datos presentados, es posible afirmar que la termografía integrada al VANT se muestra como una herramienta capaz de identificar anomalías térmicas asociadas a las manifestaciones patológicas. Adicionalmente, se verifica que ese mecanismo optimiza los procesos de inspección predial, permitiendo la caracterización de áreas de difícil acceso, sin poner en riesgo la seguridad de los colaboradores, además de ofrecer datos con una mayor rapidez y precisión, que ayudarán en los ensayos de inspección y recuperación de las estructuras.

Sin embargo, quedó constatado que la misma aún presenta algunas limitaciones, siendo vulnerable la capacidad de carga del VANT, las oscilaciones climáticas que implican el vuelo y en los datos obtenidos en el termograma, además de los reflejos de los objetos cercanos a los que están siendo estudiados que pueden interferir en los resultados. En ese sentido, las principales contribuciones del trabajo consisten en un protocolo de vuelo específico para el uso de cámara termográfica integrada al VANT y una revisión bibliográfica sobre los principios y las técnicas involucradas en ese procedimiento, siendo una base para estudios e investigaciones de desarrollo y ampliación de los modelos de monitoreo, que, en paralelo con los avances tecnológicos, tienden a superar las desventajas y garantizar la eficacia de tal herramienta.

5. REFERENCIAS

- Agência nacional de aviação civil. (2017). *Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil - RBAC-E nº 94. Resolução n. 419*. Brasília.
- Agostinho, S. L. (2012), “*Inspeção e Monitorização de Estruturas em Engenharia Civil – Utilização de UAV na Inspeção e Monitorização*”, Dissertação de Mestrado, Universidade da Madeira, p. 105.
- Álvares, J., Costa, D. B., Melo, R. R. S., Bello, A. (2016), “*Estudo exploratório de mapeamento 3D de canteiros de obras utilizando veículos aéreos não tripulados*”, In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, Brasil, pp. 5067-5080.
- Andrade, R. P., Resende, M. M., Maranhão, F. L., Portella, F., Bulzico, B. (2019), “*Estado da arte da utilização da técnica de termografia embarcada em drones para inspeção de revestimentos de*

- fachadas*”, In: 2º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos, São Paulo, Brasil, p.5, disponível em: <https://antaceventos.net.br/index.php/tecsic/tecsic2019/paper/view/304/139>
- Ariwoola, R. T. (2016), “*Use of Drone and Infrared Camera for a Campus Building Envelope Study*”, Master Thesis, East Tennessee State University, p. 83. <https://dc.etsu.edu/etd/3018>
- Asdrubali, F., Baldinelli, G., Bianchi, F. (2012), *A quantitative methodology to evaluate thermal bridges in buildings.* Applied Energy. 97(1):365–373. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.054>
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15572: Ensaios não destrutivos — Termografia — Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos.* Rio de Janeiro.
- Barreira, E. (2004), “*Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrotérmico dos Edifícios*”, Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, p. 198.
- Barreira, E., de Freitas, S. S., de Freitas, V. P., Delgado, J. M. P. Q. (2013), *Infrared thermography application in buildings diagnosis: a proposal for test procedures, industrial and technological applications of transport in porous materials.* Advanced Structured Materials. 36. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37469-2_4
- Batista, T. S. (2019), “*Avaliação do desempenho da termografia infravermelha em diferentes espessuras e profundidades de trincas em edificações*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Pernambuco, p. 109.
- Bauer, E., Castro, E. K., Antunes, G. R., Leal, F. E. (2011), “*Identification and Quantification of Pathologies in Facades of New Buildings in Brasília*” in: XII DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto, Portugal.
- Bauer, E., Freitas, V. P., Mustelier, N., Barreira, E., Freitas, S. (2015), *Infrared Termography – Evaluation of the results reproducibility.* Structural Survey. 33(1): 82-86. <https://doi.org/10.1108/ss-05-2014-0021>
- Bauer, E., Pavón, E., (2015), *Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios.* Revista Concreto e Construções.79:93-98. ISSN:1809-7197.
- Bento, M. F. (2008), “*Unmanned aerial vehicles: an overview*”, Inside GNSS, pp. 54-61.
- Brique, S. K. (2016), “*Emprego da termografia infravermelha no diagnóstico de falhas de aderência de peças cerâmicas utilizadas em fachadas de edifícios*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, p. 180
- Caldeira, M. M., Padaratz, I. J. (2015), *Potentialities of infrared thermography to assess damage in bonding between concrete and GFRP.* Ibracon Structures and Materials Journal. 8:296-322. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952015000300004>
- Cengel, Y. A., Ghajar, A. J. (2012), “*Transferência de Calor e Massa - Uma Abordagem Prática*” (Porto Alegre, Brasil: Amgh Editora), p. 906.
- Cerdeira, F., Vázquez, M., Collazo, J., Granada, E. (2011), *Applicability of infrared thermography to the study of the behaviour of stone panels as building envelopes.* Energy Build. 43:1845–1851. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.029>
- Chu, A-M., Westerhoff1, L., Sheppard1, S., Storey, S., Goodhew, J., Fox, M., Goodhew, S., Pahl, S., Higgins, C. (2016), “*Exploring the Use of Thermal Imagery for the Promotion of Residential Energy Efficiency. Report prepared for the City of Vancouver*”, available at: <http://calp2016.sites.olt.ubc.ca/files/2016/05/Thermal-Imaging-Report.pdf>
- Comitti, A. (2012), “*Engenharia de manutenção: Uso da Termografia*”, Revista Saber Eletrônica, 47(459):14-19.
- Cortizo, E. C. (2007), “*Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: ênfase em edificações do patrimônio histórico*”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, p. 178.

- Cortizo, E. C., Barbosa, M. P., Souza, L. A. C. (2008), *Estado da Arte da Termografia*. Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável. 2(2):158-193.
- Domingues, A. D. (2015), “*Identificação de manifestações patológicas em fachadas prediais com revestimento cerâmico, utilizando a técnica de termografia de infravermelho*”, Monografia de Graduação, Universidade Católica de Brasília, p. 29.
- 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(1):187-197. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.085>
- Ellenberg, A., Kotsos, A., Moon, F., Bartoli, I. (2016), *Bridge deck delamination identification from unmanned aerial vehicle infrared imagery*. Automation in Construction. 72(1):155-165. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.024>
- Entrop, A. G., Vasenev, A. (2017), *Infrared drones in the construction industry: designing a protocol for building thermography procedures*. Energy Procedia. 132(1):63-68. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.636>
- Farrag, S., Yehia, S., Qaddoumi, N. (2016), *Investigation of Mix-Variation Effect on Defect-Detection Ability Using Infrared Thermography as a Nondestructive Evaluation Technique*, J. Bridge Eng. 21(3):1-15. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0000779](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000779)
- Ferreira, J. B., Lobão, V. W. N. (2018). *Manifestações patológicas na construção civil*. Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas. 5(1):71-80. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoxatas/article/view/5853>
- Freimuth, H., König, M. (2018), *Planning and executing construction inspections with unmanned aerial vehicles*. Automation in Construction. 96(2):540–553. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.024>
- Freitas, J. G., Carasek, H., Cascudo, O. (2014), *Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura*. Ambiente Construído. 14(1):57-73. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000100006>
- Freitas, S. S., Freitas, V. P., Barreira, E. (2014), *Detection of façade plaster detachments using infrared thermography – A nondestructive technique*. Construction and Building Materials. 70(1):80-87. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.094>
- Grinzato, E. (2011), “*State of the art and perspective of infrared thermography applied to building science*” in: Meola C, editor. Infrared thermography recent advances and future trends. Bentham Books. ISBN: 978-1-60805-521-0, <http://dx.doi.org/10.2174/97816080514341120101>
- Grinzato, E., Ludwig, N., Cadelano, G., Bertucci, M., Gargano, M., Bison, P. (2011), *Infrared Thermography For Moisture Detection: a laboratory study and in-situ test*. Materials Evaluation. 69(1):97-104.
- Harvey, M. C., Rowland, J. V., Luketina, K. M. (2016), *Drone with thermal infrared camera provides high resolution georeferenced imagery of the Waikite geothermal area, New Zealand*. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 325(1):61-69. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.06.014>
- Hiasa, S., Catbas, F., Matsumoto, M., Mitani, K. (2016), *Monitoring concrete bridge decks using infrared thermography with high speed vehicles*. Structural Monitoring and Maintenance, 3(3): 277-296. <https://doi.org/10.12989/smm.2016.3.3.277>
- Infrared Training Center – ITC. (2014). *Manual do usuário – Certificação Nível 1*. Sorocaba.
- Jorge, L. A. C., Inamasu, R. Y., “*Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão*” in: A. Bernadi, J. Naime, A. Resende, L. Bassoi, Y. Inamasu (Ed.) (2014), Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, pp. 109-134.
- Kayan, H., Eslampanah, R., Yeganli, F., Askar, M. (2018), “*Heat leakage detection and surveillance using aerial thermography drone*” in: 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Izmir, Turkey, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/SIU.2018.8404366>

- Labat, M., Garnier, G., Woloszyn, M., Roux, J. J. (2011), “*Infrared measurements on ventilated cladding for assessing its surface temperature and insulated part of the envelope using a simulation tool*” in: NBS 2011 – 9th Nordic Symposium on Building Physics, Tampere, Finland, pp. 315-322.
- Lavars, N. (2015), “*How drones are poised to help build the cities of tomorrow*”, acesso em 1 de julho de 2019, disponível em: <http://www.gizmag.com/drones-building-constructionindustry/36306/>
- Lerma, J. L., Cabrelles, M., Portalés, C. (2011), *Multitemporal thermal analysis to detect moisture on a building façade*. Construction and Building Materials. 25(1):2190-2197. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.10.007>
- Mal dague, X., Marinetti, S. (1996), *Pulse phase infrared thermography*. Journal Applied Physics. 79(1):2694-2698. <https://doi.org/10.1063/1.362662>
- Mavromatidis, L. E., Dauvergne, J. L., Saleri, R., Batsale, J. C. (2014), *First experiments for the diagnosis and thermophysical sampling using impulse IR thermography from Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. Quantitative InfraRed Thermography. <http://dx.doi.org/10.21611/qirt.2014.213>
- Melo, R. R. S., Costa, D. B. (2015), “*Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para inspeção de logística em canteiros de obra*”. in: SIBRAGEC-ELAGEC, São Carlos, pp. 674-681.
- Meola, C., Carlomagno, G. (2004), *Recent advances in the use of infrared thermography*. Measurement Science and Technology. 15(9):27-58. <http://dx.doi.org/10.1088/0957-0233/15/9/R01>
- Mistry, B. D. (2009), “*A Handbook of Spectroscopic Data*” (Oxford, England: Oxford Book Company), p. 247.
- Muñoz, C. Q. G., Marquez, F. P. G., Lev, B., Arcos, A. (2017), *New pipe notch detection and location method for short distances employing ultrasonic guided waves*. Acta Acustica united with Acustica. 103(5):772-781. <https://doi.org/10.3813/AAA.919106>
- Nascimento, M. L. M. (2014), “*Utilização de drone e termografia na detecção de manifestações patológicas em edificações*”, Monografia de Graduação, Universidade Católica de Brasília, p. 21.
- O. T. Takeda, W. Mazer (2018), *Potencial da análise termográfica para avaliar manifestações patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas*. Revista ALCONPAT. 8(1):38-50 <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.181>
- Ocaña, S., Guerrero, I., Requena, I. (2004), *Thermographic survey of two rural buildings in Spain*. Energy Build, 36(6):515-523. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.12.012>
- Pajares, G. (2015), *Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs)*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 81(1):281-329. <https://doi.org/10.14358/PERS.81.4.281>
- Ramírez, I. S., Marugán, A. P., Márquez, F. P. G. (2018), “*Remotely Piloted Aircraft System and Engineering Management: A Real Case Study*” in: Xu J., Cooke F., Gen M., Ahmed S. (eds) Proceedings of the Twelfth International Conference on Management Science and Engineering Management. Springer, Cham. pp. 1173-1185. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93351-1_92
- Rehman, S., Ibrahim, Z., Memon, S., Jameel, M. (2016), *Nondestructive test methods for concrete bridges: A review*. Construction and Building Materials. 107(15):58-86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.011>
- Rocha, J. H. A., Póvoas Y. V. (2017), *Infrared thermography as a non-destructive test for the inspection of reinforced concrete bridges: A review of the state of the art*. Revista ALCONPAT. 7(3):200-214. <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.223>
- Rocha, J. H. A., Santos, C. F., Oliveira, J. B., Albuquerque, L. K. S., 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>

- Sham, J., Lo, T., Memon, S. (2012), *Verification and application of continuous surface temperature monitoring technique for investigation of nocturnal sensible heat release characteristics by building fabrics.* Energy Build. 53:108–116. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.018>
- Siebert, S., Teizer, J. (2014), *Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using na Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system.* Automation in Construction. 41:1-14. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.01.004>
- Silva, A. F. (2007), “*Manifestações patológicas em fachadas com revestimento argamassado: Estudo de caso em edifícios em Florianópolis*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, p. 190.
- Topdrone. (2020), “*DJI Mavic 2 Enterprise Dual*”, acesso em 25 de setembro de 2020, disponível em: <https://www.topdrone.com.br/dji-mavic-2-enterprise-dual/p>
- Uemoto, T. (2000), “*Maintenance of concrete structure and application of nondestructive inspection in Japan*”, in: T. Uemoto (Ed.), Proc. Non-Destructive Testing in Civil Eng., ELSEVIER, 2000, Kidlington: OX (UK), pp. 1–11.
- Viana, L. A., Zambolim, L., Sousa, T. V., Tomaz, D. C. (2018), *Potencial uso de câmera termal acoplada a VANT para monitoramento de culturas.* Brazilian Journal of Biosystems Engineering. 12(3):286-298. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2018v12n3p286-298>
- Viégas, D. J. A. (2015), “*Utilização da termografia infravermelha em fachadas para verificação de descolamento de revestimento*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Pernambuco, p. 165.
- Watase, A., Birgul, R., Hiasa, S., Matsumoto, M., Mitani, K., Catbas, F. (2015), *Practical identification of favorable time windows for infrared thermography for concrete bridge evaluation.* Construction and Building Materials. 101(1):1016-1030. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.156>
- Witczuk, J., Pagacz, S., Zmarz, A., Cypel, M. (2017), *Exploring the feasibility of unmanned aerial vehicles and thermal imaging for ungulate surveys in forests - preliminary results.* International Journal of Remote Sensing. 39:5504-5521. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1390621>
- Yehia, S., Adudayyeh, O., Nabulsi, S., Abdelqader, I. (2007), *Detection of common defects in concrete bridge decks using nondestructive evaluation techniques.* Journal of Bridge Engineering, 12, (2):215-225. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702\(2007\)12:2\(215\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2007)12:2(215))
- Zhang, J., Jung, J., Sohn, G., Cohen, M. (2015), “*Thermal Infrared Inspection of Roof Insulation Using Unmanned Aerial Vehicles*” in: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics, Toronto, Canada, pp. 1-6. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-381-2015>